

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

EFEITO DE BORO E ZINCO NA CULTURA DO MILHO

NESTOR JAMAMI

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll
Co-orientador: Prof. Dr. João Domingos Rodrigues

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia, Área de Concentração
em Agricultura.

BOTUCATU – SP
Julho - 2001

AGRADEÇO

“AO SENHOR POR SEMPRE ILUMINAR E GUIAR OS MEUS PASSOS”

OFEREÇO

Aos meus pais Seisin (in memorian) e Thereza

Que foram o esteio da minha formação

e os meus passos sempre orientaram

com muita luta, amor e dedicação

possibilitando esta realização

DEDICO

À Marilda, Cynthia e Gabriel

que norteiam minhas buscas

e me fazem enfrentar os desafios

querendo ultrapassar os limites

tornando possíveis minhas

realizações pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll pela firme e dedicada orientação e a amizade que proporcionaram a realização e conclusão deste trabalho;
- Ao Prof. Dr. João Domingos Rodrigues que muito contribuiu com grande empenho e amizade para o desenvolvimento desta tese;
- À Prof. Dra. Sheila Zambello de Pinho pelas sugestões para a análise dos dados;
- Ao Prof. Dr. Euclides Caxambu Alexandrino de Souza, pela amizade e pela colaboração na realização deste trabalho;
- Aos Professores Doutores João Nakagawa, José Ricardo Machado, Silvio José Bicudo, Maurício Dutra Zanotto, Leandro Borges Lemos e demais professores do Departamento de Agricultura pela amizade e colaboração e ensinamentos dentro do curso e na realização deste presente trabalho;
- Aos funcionários do Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal em especial à Vera Lúcia Rossi, Maurílio A. de Oliveira e Rosemeire Aparecida B. Ballestero pelo auxílio direto e indireto no trabalho;
- Aos funcionários e professores do Departamento de Ciência do Solo, em especial aos funcionários Antonia de Fátima Heliodoro, José Garcia H. Pires, Adilson K. Pires, Maurício Canavarro, José Carlos Coelho e Sonia Regina Siono pela colaboração na realização deste trabalho;
- Aos amigos Antonio Lopes, Manoel Lopes, André Shinzato e a Pedro Jamami e Marcelo Jamami que auxiliaram na condução do experimento;
- Aos engenheiros agrônomos Maria Claudete Viesi Rezende e Fernando Tannuri pelo convívio e amizade e pela colaboração neste trabalho;

- À bibliotecária Célia Regina Inoue pela revisão das Referências Bibliográficas;
- Aos funcionários da Biblioteca “Paulo de Carvalho Mattos” pela atenção e carinho no atendimento;
- Às funcionárias da Seção de Pós-graduação nas pessoas de Marilena C. Santos, Marlene R. Freitas e Jaqueline M. Gonçalves;
- Ao Eng^o Agr^o João Alberto da Cunha e pela amizade e colaboração neste trabalho;
- Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado, possibilitando a realização deste trabalho;
- À Coordenadoria de Assistência Integral – CATI, da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo pela oportunidade concedida para frequentar o curso;
- Aos alunos de pós-graduação do Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal principalmente à Rita de Cássia Félix Alvares, Flávio, Josiane, José Roberto Santos, José Roberto Melo, Celso Luis Cardoso, Antonio Costa e José Antonio Esteves pela amizade, convívio e troca de experiências;
- A todos que direta ou indiretamente colaboraram e tornaram possível a realização deste presente trabalho.

SUMÁRIO

1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	07
4.1 Disponibilidade de boro e zinco no solo.....	07
4.2 Boro e zinco na cultura do milho.....	11
4.3 Resposta do milho à aplicação de boro e zinco.....	13
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
5.1 Localização e características do solo utilizado no experimento.....	17
5.2 Calagem e adubação.....	19
5.3 Descrição da planta.....	20
5.4 Tratamentos e delineamento experimental.....	20
5.5 Instalação e condução do experimento.....	21
5.6 Parâmetros avaliados.....	22
5.6.1 Componentes biométricos	22
5.6.2 Componentes fisiológicos.....	26
5.7 Análise química do solo.....	27
5.8 Diagnose nutricional.....	28
5.7 Estatísticas.....	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6.1 Resultados da análise química do solo.....	30
6.2 Análise aos trinta dias da emergência	34

6.2.1 Teores foliares de nutrientes.....	34
6.2.2 Análise de componentes vegetativos.....	40
6.3 Análise aos sessenta dias da emergência.....	44
6.3.1 Teores foliares de nutrientes.....	44
6.3.2 Análise de componentes vegetativos.....	49
6.4 Análise aos noventa dias da emergência.....	53
6.4.1 Teores foliares de nutrientes.....	53
6.4.2 Análise dos componentes vegetativos.....	58
6.5 Análise conjunta das três épocas de desenvolvimento.....	63
6.6 Dados da produção de grãos milho.....	74
7 CONCLUSÕES.....	79
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadros	página
1 Características químicas do solo utilizado no experimento.....	18
2 Teores de micronutrientes do solo na área experimental.....	18
3 Dados climáticos da região durante o período experimental.....	19
4 Características químicas do solo aos sessenta dias após a emergência do milho, em função da aplicação do boro e do zinco.....	31
5 Teores foliares de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre aos trinta dias após a emergência em função da aplicação de doses de boro e zinco na cultura do milho.....	35
6 Teores foliares de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em função das aplicações de boro e zinco no solo aos trinta dias após a emergência.....	36
7 Dados de análises para diâmetro de colmo, altura de plantas, matéria seca das folhas e matéria seca total de plantas aos trinta dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.....	41
8 Dados de análises para área foliar, área foliar específica, razão de área foliar e razão de peso foliar aos trinta dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.....	43
9 Teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre aos sessenta dias da emergência em função das aplicações de diferentes doses de boro e de zinco.....	45
10 Teores foliares de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em função das aplicações de boro e zinco no solo aos sessenta dias após a emergência.....	47

- 11 Dados de análises para diâmetro de colmo, altura de plantas, matéria seca de folhas e matéria seca total aos sessenta dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.....50
- 12 Dados de análises de área foliar, área foliar específica, razão de área foliar e razão de peso foliar aos sessenta dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.....52
- 13 Teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre aos noventa dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e zinco.....54
- 14 Teores foliares de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em função das aplicações de boro e zinco no solo aos noventa dias após a emergência.....57
- 15 Dados de análises de diâmetro de colmo, altura de plantas, matéria seca de folhas, matéria seca total da planta aos noventa dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.....59
- 16 Dados de análises de área foliar, área foliar específica, razão de área foliar e razão de peso foliar aos noventa dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.....62
- 17 Dados de análises de produção de grãos, peso de cem grãos, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, diâmetro de sabugo em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.....74
- 18 Dados de análises de número total de grãos por espiga, peso de palha sem sabugo, número de fileiras por espiga e peso de sabugo em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.....77

LISTA DE FIGURAS

Figura	página
1 Teores foliares de boro em plantas de milho em função de variações nas doses de boro e zinco em três diferentes épocas de avaliação.....	64
2 Teores foliares de zinco em plantas de milho em função das variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação.....	65
3 Teores foliares de fósforo em plantas de milho em função das variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação.....	66
4 Teores foliares de potássio em plantas de milho em função das variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação.....	67
5 Matéria seca total de planta de milho em função das variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação	68
6 Área foliar de planta de milho em função das variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação.....	69
7 Área foliar específica de planta de milho em função das variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação.....	70
8 Razão de peso foliar de planta de milho em função das variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação	71

1 RESUMO

O presente trabalho foi conduzido em condições de campo com o objetivo de estudar os efeitos de boro e zinco sobre o crescimento e produção da cultura do milho. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho-Amarelo no município de São Carlos - SP, utilizando-se delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 3, sendo os tratamentos constituídos de três doses de boro (0, 1 e 2 kg/ha) e três doses de zinco (0, 2 e 4 kg/ha). Foi utilizado o híbrido comercial de milho AG-1043. As fontes de boro e zinco foram, respectivamente, o ácido bórico e o sulfato de zinco, aplicados ao solo juntamente com a adubação com N, P e K por ocasião do plantio.

A semeadura foi realizada em 07 de dezembro de 1999, com densidade populacional de 55.000 plantas por hectare. Aos trinta dias após a emergência foram realizadas medidas para a comprimento de planta, diâmetro de colmo, área foliar,

matéria seca das folhas e de toda a planta e a partir destes foram calculadas a área foliar específica, razão de peso foliar e razão de área foliar. Também foram feitas análises químicas para os teores foliares dos nutrientes. Aos sessenta e aos noventa dias após a emergência foram realizadas as mesmas análises, determinando-se os resultados para os respectivos períodos.

A aplicação de boro e de zinco não resultou em elevação dos teores foliares destes nutrientes nas épocas analisadas e também não resultou em ganhos no rendimento de grãos, verificando-se a interação entre boro e zinco quando da análise para a matéria seca de folhas e peso total das plantas aos noventa dias.

Concluiu-se que as aplicações de boro e zinco ao solo não resultaram ganhos de produtividade, sendo que os teores encontrados inicialmente no solo foram considerados suficientes para a produtividade atingida.

EFFECT OF BORON AND ZINC ON CORN. Botucatu, 2001. 92 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: NESTOR JAMAMI

Adviser: LEONARDO THEODORO BÜLL

Co-Adviser: JOÃO DOMINGUES RODRIGUES

2 SUMMARY

The objective of this research was to study the effects of boron and zinc on growth and yield corn. The experiment was carried out in São Carlos, São Paulo State, Brazil. The experimental design was randomized block with 3 x 3 factorial distribution of the treatments and four replications . The treatments were three doses of boron (0, 1 and 2 kg/ha) and three doses of zinc (0, 2 and 4 kg/ha). It was utilized a commercial hybrid corn “AG 1043”. The source for boron was boric acid and the source for zinc was sulfate of zinc applied together N, P and K in the sowing.

The sowing occurred in December 07 of 1999, with density of 55000 plants by hectare. In the thirty, sixty and ninety days of emergency were measured the plant height, culm, diameter, leaf area, dry matter weight and calculated other factors and they were realized chemical analyses to verify the content of nutrients in the leaves. At the harvest was determined the yield and data of the ear.

The application of boron and zinc didn't increase the content of both nutrients in the leaves and neither resulted in increase of yield of kernel.

It was concluded that it didn't interaction between boron and zinc to corn productivity. The appliance of boron and zinc don't result in increase of productivity because the content in the soil before of the experiment installation were enough to yield reached.

Keywords: boron, zinc, corn, yield, dry matter, leaf area index, interaction.

3 INTRODUÇÃO

O milho é uma das plantas cultivadas de maior importância para o Brasil, sendo plantado nas mais diversas regiões com diferentes tipos de clima e solo e é amplamente utilizado tanto na alimentação animal como na humana.

Embora a área ocupada pelo milho seja uma das maiores entre as culturas de maior importância, sua produtividade é baixa quando comparada com as médias obtidas por países com agricultura mais desenvolvida.

Estudos realizados sugerem que práticas culturais como seleção de híbrido, manejo da água e de nutrientes são primordialmente responsáveis pelo aumento da produtividade do milho.

Vários fatores contribuem para que a produtividade do milho seja baixa, entre os quais deve-se citar necessariamente aspectos relacionados com a nutrição mineral. Inserida nela está a adubação com micronutrientes, entre os quais o boro e zinco cujas deficiências podem ser limitantes para obtenção de melhores rendimentos.

Trabalhos conduzidos no Brasil relatando sintomas de deficiência de zinco na cultura do milho têm sido freqüentes devido à pobreza dos solos neste elemento, principalmente devido às interações negativas entre fósforo e zinco e redução de disponibilidade do zinco em solos com a acidez corrigida. Com relação ao boro, além da gênese, os baixos teores no solo devem-se aos baixos teores de matéria orgânica em grande parte de nossos solos.

A utilização de maiores quantidades desses micronutrientes deve ser realizada criteriosamente, pois deve haver equilíbrio nutricional de acordo com as necessidades da planta e em função do potencial produtivo.

Esta pesquisa teve por objetivo a avaliação conjunta do efeito de zinco e boro na cultura do milho em condições de campo, com a aplicação de diferentes doses de cada nutriente, utilizando-se de um híbrido de alto potencial produtivo, tendo como parâmetros teores de nutrientes no solo, composição química da planta, componentes vegetativos e produtivos da cultura.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Disponibilidade de boro e zinco no solo

De maneira geral a disponibilidade dos micronutrientes no solo é afetada por diversos fatores, entre os quais a textura do solo, valor pH, teor de matéria orgânica, teores de óxidos de ferro, alumínio, manganês e por espécies e constituintes da solução do solo (Camargo, 1991; Dantas, 1991).

O boro pode ocorrer no solo na forma de numerosos complexos compostos orgânicos e inorgânicos. Os borossilicatados são os minerais primários mais importantes, liberando o boro para diversos compostos para com o próprio solo. Os vegetais absorvem boro do solo e os restos vegetais são importantes fontes do elemento (Catani et al, 1971).

De acordo com Alleoni & Camargo (2000) a adsorção de boro é explicada principalmente pela concentração da solução do boro no solo e pela textura, sendo que a recomendação para fertilização com boro pode ser baseada nestes dois fatores, que já

são aplicadas para as culturas do algodão e do café. Okazaki & Chao (1968), Bingham et al. (1971), Catani et al. (1971) e Cruz et al. (1987) relataram que o aumento de pH provoca aumento da adsorção de boro. A quantidade de boro adsorvido pelo solo aumenta com a aplicação crescente do elemento ao solo.

Valladares et al. (1999) observaram correlação linear e positiva entre teores de boro e argila e também de boro com o C orgânico e relataram que a correlação entre teores de boro e valores pH em água são negativas e não lineares, sendo a disponibilidade bastante variável em valores abaixo de 5,0 e acima de 7,0 e dentro deste intervalo não há variação. Além de pH e textura do solo, Goldberg (1997) cita como fatores que influenciam na disponibilidade de boro no solo a umidade e temperatura do solo.

Dwivedi et al. (1992) relataram que sintomas de deficiência de boro na ausência da calagem, ficam mais evidentes quando comparados com tratamentos em que foi realizado a calagem na cultura do milho e por outro lado, a aplicação de calcário minimiza os problemas ocasionados pela aplicação do boro em excesso na nutrição da cultura de ervilha.

Alguns trabalhos indicam um provável antagonismo entre nitrogênio e boro no solo, bem como altas concentrações de potássio no solo concorrem para aumentar a adsorção do boro. Offiah & Axley (1993) relataram que a matéria orgânica é capaz de adsorver o boro no solo, afetando a sua disponibilidade às plantas. Em solos ácidos a disponibilidade de boro está provavelmente correlacionado com o teor de matéria orgânica.

De todos os micronutrientes, o zinco é o que apresenta as maiores respostas de produção de grãos na cultura do milho em solos brasileiros, devido à deficiência generalizada presente principalmente em solos de cerrado (Büll, 1993).

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 quelados (Souza & Ferreira, 1991). Desta maneira a disponibilidade do zinco vai depender dos componentes do solo.

A adição de fósforo aumenta a adsorção de zinco, com redução da solubilidade do zinco. A capacidade de aumentar a adsorção também depende da mineralogia do solo, está correlacionada com pH, com a capacidade de troca catiônica e com maior adsorção em solos argilosos que em arenosos (Thorne, 1957; Saeed & Fox, 1979; Machado & Pavan, 1987; Oliveira et al., 1999). Deve ser sempre levado em consideração para uma adubação fosfatada a interação do fósforo com o zinco e calagem.

Por outro lado Camargo et al. (1997) relataram que não houve alterações nos teores de zinco, ferro e manganês em função da correção do solo.

De acordo com Büll (1993) relações elevadas de P/Zn provocam severos sintomas da deficiência de zinco e decréscimo na produção de grãos, enquanto que baixas relações de P/Zn no tecido, em solos com baixos níveis de fósforo, as produções são baixas e compatíveis com sintomas da deficiência de fósforo.

Segundo Stukenholtz et al. (1966) a ação negativa de fósforo sobre zinco é de natureza fisiológica, ocorrendo na superfície ou nas células das raízes, com a inibição da translocação do zinco das raízes para a parte aérea em altas concentrações, com conseqüente redução de zinco nos tecidos foliares.

Entretanto Souza et al. (1998) relataram que em condições de campo não ocorre efeito negativo do fósforo sobre os teores de zinco nas folhas.

De acordo com Singh et al.(1995), a disponibilidade de zinco no solo foi reduzida com aplicação contínua de nitrogênio de forma isolada ou combinado com potássio em cultivos de milho e trigo em experimento de longa duração, enquanto que a aplicação conjunta de nitrogênio e fósforo ou nitrogênio, fósforo e potássio favoreceu a disponibilidade de zinco, que segundo os autores poderia ser devido à presença deste elemento nas fontes de fósforo.

Em solos ácidos os níveis de zinco são muito baixos, sendo que os teores são mais elevados nas camadas superficiais, o que pode ser devido à deposição e incorporação de restos vegetais (Malavolta, 1976). Em solos de cerrado, Horowitz & Dantas (1976) encontraram valores totais de zinco entre 31 e 138 mg.dm^{-3} , enquanto que Lopes (1983) encontrou valores entre 8 e 210 mg.dm^{-3} . De modo geral, os teores variam de acordo com o tipo de solo e segundo Valadares & Catani (1975), teores mais baixos são encontrados em solos derivados de sedimentos modernos arenosos. Nestes tipos de solos ocorre também maior lixiviação do nutriente.

Segundo Leite & Skogley (1977), a retenção de zinco em alguns solos está diretamente relacionada à matéria orgânica, havendo portanto maior retenção na camada de 0 a 20 cm que na camada de 20-40 cm.

Segundo Peck et al. (1969), o nível crítico de um nutriente em particular varia de acordo com os níveis foliares de outros nutrientes e respostas a micronutrientes, para a produção de grãos, podem ocorrer mesmo sem aparentes sintomas de deficiência.

4.2 Boro e zinco na cultura do milho

Segundo Gupta (1993) a concentração de boro nos tecidos das plantas pode ser relacionada a diversos fatores que incluem a variação genotípica das plantas, o estágio de desenvolvimento das plantas e também fatores ambientais.

O boro é essencial para o crescimento das células, principalmente nas partes mais novas da planta, ou seja, nas gemas e extremidades das raízes. A presença deste nutriente influi na polinização, na formação da parede celular, no florescimento e pegamento da florada e também na formação de proteínas. De acordo com Gupta et al. (1985) e Goldberg (1997), apesar da essencialidade, o intervalo de concentração de boro entre a deficiência e a toxidez é muito menor que para os outros nutrientes.

A deficiência de boro afeta de forma mais aguda o desenvolvimento reprodutivo do que o crescimento vegetativo, com a planta apresentando grande diversidade de efeitos com a deficiência (Dell & Huang, 1997). Segundo Agarwala et al. (1981), na ausência de boro a viabilidade, o tamanho e a germinação do grão de pólen é afetada. Em condições de severas deficiência de boro no solo ocorre má formação de espigas e também redução na produção (Mozafar, 1987).

Embora seja móvel no solo, o boro é praticamente imóvel na planta, (Brown & Hu, 1998), e em função disto, os sintomas de deficiência aparecem nas folhas mais novas e nos pontos de crescimento (Gupta, 1993).

Segundo Touchton & Boswell (1975) o nível crítico de boro em folhas de milho tem sido relatado para uma amplitude de 4 a 100 mg.dm⁻³, níveis devido

provavelmente aos diferentes híbridos ou variedades, população, técnicas de amostragem e diferenças ambientais.

O zinco é essencial para sistemas enzimáticos da planta, controlando a produção de importantes reguladores de crescimento. A função básica está relacionada ao metabolismo de carboidratos e proteínas, de fosfatos e também na formação de auxinas, RNA e ribossomos (Thorne, 1957; Dechen et al. 1991).

Os sintomas da deficiência deste elemento estão relacionados com o crescimento raquítico das plantas, como consequência da diminuição dos reguladores, e também com o aparecimento de faixas brancas em cada lado da nervura central, típicas em milho e sorgo (Dechen et al., 1991).

Terman & Allen (1974) relataram que o nitrogênio tem efeitos positivos sobre os teores foliares de zinco enquanto que fósforo e potássio tem efeitos negativos. Já Resende et al. (1997) relataram que adubações nitrogenadas e potássicas proporcionam maiores acúmulos de zinco na parte aérea de plantas de milho.

Segundo Sumner (1978) as relações de nutrientes da planta têm sido amplamente relatadas por diversos pesquisadores e ajudado no balanço mineral nas culturas, sendo que alguns pesquisadores conseguem resultados positivos relacionando a interação entre os nutrientes dentro das plantas, enquanto que outros autores não têm alcançado o mesmo resultado com os mesmos estudos.

4.3 Respostas do milho à aplicação de boro e zinco

A maioria dos trabalhos encontrados é com o zinco, cuja importância tem sido comprovada ao longo dos anos, desde o primeiro relato de sintomas de deficiência para a cultura do milho no Brasil. Muitos autores têm encontrado efeitos positivos pela aplicação do zinco e outros autores não encontraram os mesmos resultados, possivelmente devido às diferentes condições experimentais e também pelo fato das dificuldades de aplicação, pela pequena quantidade aplicada.

Grande parte dos trabalhos que envolvem boro e zinco na cultura do milho é realizada conjuntamente com outros micronutrientes, visto que existem diversos produtos comerciais que contêm os microelementos essenciais. Existem muitos trabalhos só com zinco devido aos sintomas de deficiência que o milho costuma apresentar, principalmente devido aos solos brasileiros. Com relação ao boro, o número de trabalhos encontrados na literatura é menos freqüente.

Clark (1975) relatou que a concentração de boro na folha de milho presumivelmente se altera com a idade da planta em diferentes genótipos. A concentração aumenta com a idade, alcançando um pico e decrescendo a seguir, porém neste experimento os teores observados foram maiores nesta fase do que nas posteriores.

Pereira et al. (1973) trabalhando com sulfato de zinco aplicado ao solo, em Latossolo Vermelho-Escuro, constataram que a cultura do milho teve alta resposta à sua aplicação; com a dose de 10 kg/ha de sulfato de zinco, a produtividade em grãos foi superior à testemunha, passando de valores próximos a 700 kg/ha para valores acima de 2000 kg/ha.

Igue et al. (1962) observaram sintomas visuais de deficiências de zinco em tratamentos que não receberam sulfato de zinco no solo em fase inicial da cultura, entretanto não obtiveram diferenças significativas na produtividade de grãos e no teor de zinco nas folhas.

Decaro et al. (1983) relataram aumento de produção de grãos, com aplicação de doses de zinco a partir de 5,0 kg/ha, nas formas de sulfato e óxido em Latossolo Vermelho-Escuro – fase arenosa. Não foram obtidas respostas para peso de cem sementes.

Souza et al. (1998) relataram que, em condições de campo, em um Latossolo Vermelho-Escuro cujo teor extraído com DTPA – TEA pH 7,3 foi de 0,39 mg.dm⁻³, a aplicação de zinco na forma de sulfato elevou os teores foliares e a produtividade de grãos com dose de 5,0 kg/ha.

Ritchey et al. (1986) trabalharam com doses de 0, 1, 3, 9 e 27 kg/ha obtiveram máxima produtividade com aplicação de 3 kg/ha de zinco na forma de sulfato e em Latossolo Vermelho-Escuro, no primeiro ano de cultivo.

Resende et al. (1997) observaram que o acúmulo de boro, com aumento de forma linear, na parte aérea é significativo com aumento de doses de nitrogênio, enquanto que para doses de potássio não há significância para acúmulo deste micronutriente na parte aérea.

Com relação ao zinco, Shukla & Mukhi (1979) relataram que aumento de doses de potássio na cultura do milho faz aumentar a concentração de zinco.

Buzetti et al. (1990), trabalhando em condições de campo, com doses de 0; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0 e 40,0 kg/ha, não obtiveram respostas para zinco na cultura do milho em

solos contendo $3,20 \text{ mg.dm}^{-3}$ para uma produtividade média de 6,6 t/ha e $0,36 \text{ mg.dm}^{-3}$ para uma produtividade média obtida entre 3,8 e 5,0 t/ha.

Forestieri & De-Polli (1990) não observaram diferença significativa no peso da matéria seca para diferentes doses de micronutrientes na forma de “fritas” para a cultura do milho.

Britto et al.(1971) observaram que a aplicação dos micronutrientes B, Mo, Mn e Zn juntamente com NPK proporcionam melhores resultados na produtividade de grãos de milho, verificando que dos micronutrientes estudados para o milho a ausência de zinco na formulação foi o mais limitante para a cultura. Com relação ao zinco eles observaram que a melhor dose é de 10 kg/ha de sulfato de zinco aplicados no solo.

A adição de potássio reduz a concentração de zinco enquanto a aplicação de nitrogênio na forma NH_4^+ eleva a concentração de zinco e manganês (Terman & Allen, 1974).

Souza et al. (1985) e Barbosa Filho et al. (1990) relataram que a deficiência de zinco condicionou o mau crescimento das plantas devido à formação de internódios curtos e folhas pequenas.

Galvão (1994) estudando a cultura do milho em solo de cerrado, em Latossolo Vermelho-Escuro, com teor inicial de $0,3 \text{ g/dm}^3$ de zinco e extraído pela solução de Mehlich (HCl 0,05 N e H_2SO_4 0,025N), concluiu que a aplicação de 1,2 kg /ha de Zn, como sulfato de zinco aplicada a lanço foi suficiente para se obter maior rendimento de grãos. Barbosa Filho et al. (1990) obtiveram resposta da cultura do milho com relação ao efeito residual do Zn, aplicado na cultura do arroz, para a matéria seca produzida e comprimento médio de internódios do colmo.

O zinco e o boro interagem com outros elementos dentro da planta. As interações com zinco, ferro e cobre no nível nutricional das plantas têm se intensificado negativamente com adubações suplementares de fósforo, no entanto, as interações com o fósforo não são sempre negativas pois este nutriente tem efeitos positivos sobre os teores de molibdênio, boro e manganês (Dibb et al., 1990).

Trabalho realizado por Woodruff et al. (1987) demonstrou a necessidade de boro em função da elevação das doses aplicadas de potássio na cultura do milho para evitar redução na produção, sugerindo efeito da interação boro e potássio sobre a produção de milho.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e características do solo utilizado no experimento

O presente experimento foi conduzido em condições de campo na Chácara Espriado, propriedade localizada no município de São Carlos, estado de São Paulo, com as seguintes coordenadas geográficas, latitude 21^o 59' S e longitude 47^o 52' W. O solo onde foi conduzido o experimento foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura arenosa (Oliveira & Prado, 1984), cujas características químicas iniciais se encontram nos Quadro 1 e 2.

O solo apresentava como características 75 % de areia e 25 % de argila, de acordo com análise realizada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Recursos Naturais, área de Ciência do Solo da FCA-UNESP – Botucatu – SP.

Quadro 1. Características químicas do solo utilizado no experimento*.

Profundidade	pH	M.O.	P	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
			resina							
cm	CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	-----mmol.dm ⁻³ -----						%
0-20	4,4	11	4	21	0,6	4	2	6	37	17
20-40	4,3	11	1	29	0,3	3	1	4	33	12

* Análises realizadas seguindo metodologia descrita por Raij & Quaggio(1983), no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciência do Solo da FCA-UNESP – Botucatu - SP

Quadro 2. Teores de micronutrientes no solo da área experimental*

Profundidade	B	Cu	Fe	Mn	Zn
cm	-----mg.dm ⁻³ -----				
0-20	0,07	1,5	45	1,5	0,3
20-40	0,03	1,5	29	1,1	0,5

* Análises realizadas seguindo metodologia descrita por Camargo et al. (1986), no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciência do Solo da FCA-UNESP – Botucatu - SP

Quadro 3. Dados climáticos da região durante o período experimental.

Ano	Mês	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitação Pluviométrica	Umidade relativa média	Temperatura média	Déficit hídrico
		°C	°C	mm	%	°C	mm
1999	novembro	27,7	15,1	77	71	21,4	98
	dezembro	28,4	17,5	287	85	23,0	0
2000	janeiro	28,7	18,2	278	78	23,5	0
	fevereiro	27,6	19	337	85	23,3	0
	março	28,1	18,4	175	81	23,3	0
	abril	28	15,8	6	63	21,9	47
	maio	24,6	12,8	18	72	18,7	65

Dados do CPPSE - EMBRAPA, localizada a cerca de 5 km da área experimental.

5.2 Calagem e adubação

A calagem e a adubação foram realizadas de acordo com os resultados obtidos na análise química de amostras do solo, coletadas antes da implantação do experimento na profundidade 0-20 cm (Quadro 1).

A calagem foi realizada visando elevar a saturação por bases para 70 %, aplicando-se um calcário dolomítico, que tinha como características 95 % de PRNT, com 39 % de CaO e 12 % de MgO em toda a área experimental. A aplicação foi realizada manualmente trinta dias antes da semeadura.

A adubação de semeadura foi realizada de acordo com Raij et al.(1996), com a aplicação de 30 kg/ha de N, na forma de sulfato de amônio, 60 kg/ha de P_2O_5 , como superfosfato triplo e 40 kg/ha de K_2O , na forma de cloreto de potássio.

A adubação de cobertura foi realizada de forma manual, com sulfato de amônio aos 30 dias na dose de 50 kg/ha de N e com cloreto de potássio como fonte de potássio na dose de 20 kg/ha de K_2O e aos 50 dias uma segunda aplicação na dose de 20 kg/ha de N.

5.3 Descrição da planta

Foi utilizado um híbrido comercial de milho (AG 1043), que tem como finalidade a produção de grãos e com a semeadura recomendada para a época da safra e adequado para a região onde se localiza o experimento.

5.4 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados, obedecendo um esquema fatorial, 3 X 3, sendo três doses de zinco (0, 2 e 4 kg/ha) na forma de sulfato de zinco (230 g/kg de Zn) e três doses de boro (0, 1 e 2 kg/ha) na forma de ácido bórico (170 g/kg de B), perfazendo um total de 9 tratamentos com quatro repetições, em um total de 36 parcelas.

As fontes de zinco e boro foram misturadas com a adubação N, P e K e aplicados manualmente por ocasião da semeadura, utilizando-se de 43,8 g e 87,6 g por parcela, de sulfato de zinco para as doses os tratamentos com 2 e 4 kg de zinco, respectivamente. Para

os tratamentos contendo boro, foram aplicados 29,6 e 59,2 g de ácido bórico por parcela, nos tratamentos contendo 1 e 2kg/ha, respectivamente.

Foi utilizado o esquema fatorial 3 x 3 no delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições para cada tratamento conforme segue:

Causas de variação	Graus de Liberdade
Boro	2
Zinco	2
Interação Boro x Zinco	4
(Tratamentos)	8
Blocos	3
Resíduo	24
Total	35

5.5 Instalação e condução do experimento

A área foi preparada com 30 dias de antecedência à semeadura, com a aplicação a lanço do calcário, sendo incorporada metade antes de uma aração e o restante aplicado antes de uma gradagem.

A semeadura manual foi realizada no dia 07/12/1999, juntamente com a adubação. As fontes de boro e zinco misturadas aos macronutrientes foram aplicados nas linhas de plantio de acordo com os tratamentos.

Cada parcela apresentava 7 linhas de 8 metros, considerando-se como área útil as 5 linhas internas, descartando 1 metro de cada lado das linhas. O espaçamento foi de 0,90 m x 0,20 m para uma população de 55.000 plantas por hectare e totalizando 280 plantas por parcela.

Foram realizados tratos culturais durante o ciclo da cultura, para manter a área livre de infestação de plantas daninhas foram realizadas duas capinas manuais, aos vinte dias após emergência e aos cinquenta dias após a emergência e para controlar incidência de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), foi feita uma aplicação com paration metílico, com a planta apresentando aproximadamente de quatro a seis plantas. A colheita foi realizada manualmente no dia 20 de maio de 2000.

5.6 Parâmetros avaliados

5.6.1 Componentes biométricos

As avaliações de comprimento de planta, diâmetro de colmo, matéria seca da parte aérea, área foliar e teores foliares de nutrientes foram realizadas aos 30, 60 e 90 dias da emergência, em três diferentes fases de desenvolvimento.

a) Área foliar (cm²)

A área foliar foi obtida com a utilização aparelho de medição de área foliar portátil, medindo-se as folhas de duas plantas coletadas aleatoriamente em cada parcela.

b) Matéria seca das folhas (g)

Foram feitas amostragens em cada parcela, com a coleta ao acaso de duas plantas. Foi determinada conforme o método descrito por Benincasa (1988), expresso em gramas. A matéria seca foi definida como o peso da matéria seca obtida através da secagem em estufa com circulação forçada de ar e temperatura de 60⁰ C até atingir peso constante.

c) Matéria seca das plantas (g)

A amostragem foi realizada com a coleta de duas plantas ao acaso dentro de cada parcela. O peso foi determinado pela pesagem após a secagem em estufa e temperatura de 60⁰ C até atingir peso constante, seguindo o método anteriormente descrito.

d) Comprimento de planta (cm)

Foi obtida com os dados de cinco plantas, utilizando-se de uma régua graduada para a obtenção dos dados dentro de cada parcela.

e) Diâmetro do colmo (mm)

Avaliação foi feita por meio de um paquímetro, realizada no 2º entrenó, contado a partir do nível do solo, amostrando-se ao acaso cinco plantas por parcela.

f) Comprimento médio da espiga (mm)

Medida entre a inserção e a extremidade da espiga sem palha, feita com paquímetro e sendo amostradas cinco espigas por parcela.

g) Diâmetro médio da espiga (mm)

Mensuração realizada na parte mediana de cinco espigas sem a palha de cada parcela e utilizando como instrumento o paquímetro.

h) Diâmetro do sabugo (mm)

Medida efetuada com paquímetro na parte mediana do sabugo desprovido de palha e grãos. Foram feitas cinco amostragens por parcela.

i) Peso de sabugo (g)

Determinado pela pesagem do sabugo sem palha e sem grãos. Foram pesados cinco sabugos em cada parcela.

j) Peso de palha sem sabugo (g)

Determinado pela pesagem da palha desprovida do sabugo. Foram utilizados cinco amostras de cada parcela.

k) Peso de 100 grãos (g)

Determinado pela pesagem de 100 grãos coletados ao acaso, através de quatro repetições por parcela.

l) Número de grãos por espiga

Foi determinada pela contagem de todos os grãos da espiga, amostrando-se quatro espigas por parcela.

m) Número de fileiras por espiga

Determinado pela contagem de fileiras de grãos no sentido longitudinal da espiga. O procedimento foi repetido cinco vezes em cada parcela.

n) Produção de grãos (kg/ha)

Foi obtida por ocasião da colheita, 160 dias após o plantio, pesando-se o material coletado dentro da área útil de cada parcela e transformando os dados obtidos em kg/ha.

5.6.2 Componentes fisiológicos

Foram determinados também os seguintes índices fisiológicos, calculados a partir de dados anteriormente coletados:

a) Área foliar específica (AFE)

Quociente entre a área foliar (AF) e a matéria seca das folhas expressa em $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ e expresso pela seguinte fórmula:

$$\text{AFE} = \text{AF}/\text{PSF}$$

b) Razão de peso foliar (RPF)

Quociente entre a massa seca das folhas (PSF) e a massa seca total (PST) expressa em g/g e representada pela seguinte fórmula:

$$\text{RPF} = \text{PSF}/\text{PST}$$

c) Razão da área foliar (RAF)

É o quociente entre a área foliar (AF) e a massa seca total (PST) e expresso em $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$.

$$\text{RAF} = \text{AF} / \text{PST}$$

5.7 Análise química do solo

Os resultados para este experimento, cujos teores iniciais de boro e zinco no solo estavam baixos, estão relacionados com as características da área experimental que anteriormente ao desenvolvimento das atividades encontrava-se sem nenhum tipo de manejo ou cultivo.

Foi realizada uma amostragem do solo aos 60 DAE do ciclo da cultura para verificar as características químicas do solo, seguindo metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983) para macronutrientes e Camargo et al. (1986) para micronutrientes.

Os dados são representativos de amostragens realizadas na área integral, com análise em cada parcela, efetuando-se dez sub amostragens, retiradas de solo tanto na linha como na entrelinha de forma equitativa e misturadas para posterior análise no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciência do Solo da FCA-UNESP – Botucatu - SP

5.8 Diagnose nutricional

Para a análise foliar de macronutrientes e micronutrientes foram coletadas folhas compreendendo três diferentes estádios de crescimento da planta. As amostras foram analisadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciência do Solo da FCA-UNESP - Botucatu-SP.

Aos trinta dias após a emergência, com a planta apresentando cerca de oito folhas desdobradas e caracterizadas pela aceleração do processo de formação da inflorescência masculina. Foram coletadas folhas fisiologicamente recém maduras de cinco plantas por parcela e retirando para análise o terço médio das folhas.

Aos sessenta dias, estágio em que se visualizava o aparecimento de pendão, foram amostradas cinco plantas por parcela, coletando-se amostras de folhas fisiologicamente maduras e retirando-se o terço médio de cada folha para análise nutricional.

Aos noventa dias, fase em que as espigas apresentavam-se na fase de formação de grãos, coletou-se a folha oposta à espiga e fazendo-se a análise química do terço médio, representativo de cinco plantas de cada parcela.

As amostragens para componentes vegetativos da planta foram realizadas concomitantes às amostras para análises químicas.

A análise química realizada para determinação da concentração de nutrientes seguiu a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

5.9 Estatísticas

As análises estatísticas foram executadas através do programa de computador ESTAT, segundo Banzato & Kronka (1989), executando-se a análise de variância e teste de Tukey.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados das análises químicas do solo e das folhas e também do desenvolvimento da planta, por meio de dados retirados em três fases de desenvolvimento procurou-se verificar os comportamentos quanto ao aspecto nutricionais, dos parâmetros biométricos e parâmetros calculados em função destes para os tratamentos com boro e zinco e suas possíveis interações.

Além da análise do comportamento durante a fase de desenvolvimento, análises efetuadas sobre componentes produtivos procuraram mostrar possíveis influências que estes nutrientes poderiam ter na cultura do milho.

6.1 Resultados da análise química do solo

Os resultados das análises químicas das amostras de solo são apresentados no Quadro 4 e verifica-se que a calagem proporcionou elevação de pH e da

Quadro 4. Características químicas do solo aos sessenta dias após a emergência do milho, em função da aplicação do boro e do zinco.

Doses de Zn	pH	M.O. CaCl ₂	P resina	H +Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	-----mmol _c .dm ⁻³ -----					-----mg.dm ⁻³ -----						
0 kg/ha de boro															
0	4,8	17	12	24	0,7	14	4	18	42	41	0,10	1,1	53	0,9	0,4
2	4,9	17	12	18	0,6	13	4	21	39	52	0,09	0,8	42	0,9	1,2
4	4,9	15	13	22	0,6	18	5	23	45	51	0,11	0,8	35	1,0	1,8
1 kg/ha de boro															
0	4,9	18	14	27	0,5	14	4	17	44	40	0,11	0,9	41	1,1	0,4
2	5,1	16	17	22	0,6	16	4	21	44	45	0,12	0,8	38	1,1	1,7
4	4,9	17	14	27	0,6	13	3	26	43	38	0,14	0,7	33	1,1	1,8
2 kg/ha de boro															
0	4,9	16	12	25	0,5	14	3	17	42	41	0,11	0,7	39	0,9	0,4
2	5,0	15	14	25	0,7	15	4	22	48	45	0,14	0,9	43	0,9	1,1
4	4,8	14	13	28	0,5	12	3	15	43	37	0,14	1,1	38	1,1	2,2

saturação por bases assim como houve redução da acidez potencial. Apesar de ocorrer efeito da calagem a correção não atingiu a saturação desejada.

Os valores observados para a saturação por bases (Quadro 4), apesar da realização da calagem para atingir 70 % dentro de toda a área experimental, ficaram abaixo do esperado. Caires & Rosolem (1999) em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, com saturação por bases inicial de 8 %, também não atingiram a saturação por bases desejada. Segundo relato de Weirich Neto et al. (2000) este fato está relacionado ao modo de incorporação de calcário e da dificuldade existente para incorporação de forma eficiente em camadas mais profundas do solo.

O aumento dos níveis de fósforo foi considerável (Quadro 4) em relação aos níveis encontrados por ocasião da análise química inicial (Quadro 1), porém os valores ainda inserem-se em classe de teores mais baixos segundo Raij et al. (1996). De maneira geral os valores encontrados para fósforo no solo foram semelhantes entre si.

Analogamente para o potássio, os valores alcançados com a adubação se elevaram, mas são considerados baixos para culturas anuais (Raij et al., 1996); em toda a área experimental os valores são próximos entre si.

Os teores de fósforo e potássio encontrados no solo podem ter contribuído para que a produtividade alcançada não fosse mais elevada, mesmo considerando que a amostragem realizada englobasse a área total, enquanto que a adubação tenha sido realizada apenas na linha de plantio.

Houve elevação dos teores de cálcio (Quadro 4) com a calagem, inclusive com valores elevados no solo, conforme Raij et al.(1996). O mesmo não ocorreu para o magnésio, que dentro da área experimental teve elevação nos teores e atingiu valores

duas vezes superiores ao inicialmente encontrado; entretanto os valores ainda se encontravam em classe de teores baixos do nutriente para a cultura.

Os valores encontrados para os teores de zinco no solo mostraram que a aplicação desse micronutriente nas duas doses elevou os teores iniciais no solo, sendo que os valores médios encontrados para a dose de 2 kg/ha se enquadram na classe de teor médio, enquanto que para a dose de 4 kg/ha, os teores no solo atingiram valores superiores e considerados altos para as culturas anuais (Quadro 6). Os valores atingidos para as doses de 2 e 4 kg/ha de zinco foram superiores ao nível crítico estabelecido por Buzetti et al. (1993), que estabeleceram um nível crítico de $0,8 \text{ mg.dm}^{-3}$ e Galvão (1995) que estabeleceu um nível crítico de $0,4 \text{ mg.dm}^{-3}$, utilizando como extrator o DTPA.

Com relação aos teores iniciais, houve relativo aumento nos teores de boro no solo, dentro de toda a área, devido provavelmente à contribuição da matéria orgânica para disponibilizar este nutriente no solo. Embora não tivesse ocorrido variação nos níveis de boro no solo, as baixas concentrações encontradas estavam dentro dos limites para produção de milho, relatados por Touchton & Boswell (1975), com variação $0,11$ a $0,20 \text{ mg.dm}^{-3}$ e segundo Raij et al. (1996), valores entre 0 e $0,20 \text{ mg.dm}^{-3}$ de boro no solo são baixos.

A aplicação de boro ao solo deve ser feita de maneira cuidadosa levando-se em consideração o solo e as exigências da planta, procurando corrigir as deficiências, porém evitando-se o excesso.

6.2 Análise aos trinta dias da emergência

6.2.1 Teores foliares de nutrientes

O material coletado aos trinta dias para a realização da análise foliar para nitrogênio foi insuficiente e não houve condições para comparar os tratamentos. As comparações em que se considera o nitrogênio foram feitas nas amostragens feitas aos sessenta e noventa dias da emergência.

Análises estatísticas para os teores foliares de macro e micronutrientes aos trinta dias da emergência (Quadros 5 e 6), mostraram que neste estágio de crescimento não houve interação entre os nutrientes analisados. Segundo Furlani et al. (1977), este é um período crítico da exigência nutricional da cultura, com maior taxa diária de absorção de elementos e maior acúmulo de matéria seca. De acordo com Andrade et al. (1975b) entre trinta e cinquenta dias é o período de maior absorção de zinco e conforme Karlen et al. (1987), o período da definição do potencial produtivo da cultura.

Os relatos apresentados por estes autores evidenciam a importância das plantas estarem bem supridas em nutrientes minerais e também em água, pois durante esta fase do ciclo do milho é que ocorre a definição da produção de grãos. Os dados do Quadro 3 mostram que não ocorreu déficit hídrico para a cultura.

Barbosa Filho et al.(1990) relataram interação entre zinco e cobre na cultura do milho; também são conhecidas interações entre outros nutrientes na cultura do milho, como entre fósforo e zinco (Büll, 1993). Com relação à esta última interação, que é relatada como negativa, neste trabalho não se verificou nenhuma relação entre ambos os

Quadro 5. Teores foliares de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre aos trinta dias após a emergência em função da aplicação de doses de boro e zinco na cultura do milho.

Doses de Zn	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
kg/ha	g/kg				
0 kg/ha de B					
0	2,1	23	3,2	1,2	1,8
2	2,0	24	3,5	1,2	1,6
4	2,2	22	3,2	1,2	1,7
Média	2,1	23	3,4	1,2	1,7 B
1 kg/ha de B					
0	2,1	22	3,2	1,1	1,5
2	2,1	23	3,2	1,1	1,5
4	2,2	24	3,5	1,2	1,8
Média	2,1	23	3,3	1,1	1,6 B
2 kg/ha de B					
0	2,0	24	3,2	1,2	2,0
2	1,9	21	3,2	1,2	1,7
4	2,2	24	3,5	1,2	1,9
Média	2,0	23	3,3	1,2	1,9 A
Médias das doses de Zn					
0	2,1	23	3,3	1,2	1,7 ab
2	2,0	22	3,3	1,1	1,6 b
4	2,2	24	3,4	1,2	1,8 a
CV %	8	8	16	15	10

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

Quadro 6. Teores foliares de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em função das aplicações de boro e zinco no solo aos trinta dias após a emergência.

Doses de Zn	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
kg/ha	-----mg/kg-----				
0 kg/ha de B					
0	19	12	655	19	20
2	31	12	837	21	18
4	22	12	945	20	18
Média	24	12 A	812 B	20 B	18
1 kg/ha de B					
0	30	13	1428	20	22
2	24	11	837	21	20
4	28	12	1347	25	20
Média	27	12 A	1204 AB	22 AB	21
2 kg/ha de B					
0	28	9	1430	26	21
2	24	10	1784	25	22
4	26	10	1240	24	23
Média	26	10 B	1485 A	25 A	22
Médias das doses de Zn					
0	26	11	1171	22	2
2	26	11	1152	22	20
4	26	11	1177	23	20
CV %	35	10	35	14	11

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

nutrientes. É necessário salientar que neste caso os teores de fósforo encontrados na área experimental não eram elevados de tal forma que pudessem influir depressivamente nos teores de zinco das plantas.

Na análise de teores foliares de macronutrientes (Quadro 5), considerando-se os resultados obtidos para fósforo, potássio, cálcio e magnésio, não foram encontradas diferenças significativas que pudessem representar algum efeito da aplicação do boro. De acordo com Resende et al. (1997) não existe relação direta do potássio com o boro; apesar dos baixos teores no solo, os valores observados para potássio foram superiores aos obtidos por Terman & Allen (1974). Análises para avaliar o conteúdo foliar de fósforo, potássio, cálcio e magnésio não mostraram que a aplicação de zinco tenha promovido variação destes nutrientes nas folhas.

Os teores foliares encontrados para potássio e fósforo não mostraram relações com teores de zinco. De acordo com Terman & Allen (1974) existe correlação negativa de potássio e fósforo com o zinco.

Ainda com relação ao fósforo, os resultados médios obtidos neste trabalho para os teores foliares foram equivalentes aos obtidos por Miola et al. (1999) em tratamentos que receberam fósforo para época semelhante de amostragem.

Dentre os macronutrientes analisados, somente para o enxofre ocorreu variação significativa nos teores foliares em função das doses de boro (Quadro 5). Com a maior dose, de 2 kg/ha, os teores de enxofre foram significativamente maiores quando comparados com tratamentos que não receberam a aplicação do elemento e com a aplicação de dose intermediária de 1kg/ha.

Variação nas diferentes doses de zinco também proporcionaram diferenças significativas nos teores foliares de enxofre entre as doses 2 e 4 kg/ha, sendo os maiores teores observados na dose de 4 kg/ha (Quadro 5). Apesar das respostas obtidas nos níveis foliares de enxofre, tanto para zinco como para boro, não foi observada interação entre os nutrientes.

Verificou-se que os teores foliares de ferro foram significativamente mais elevados na maior dose quando comparado ao tratamento sem boro (Quadro 6); os valores foram bastante elevados, havendo grande variação nos dados obtidos. Entre ferro e boro não há conhecimento de que existe correlação, provavelmente a maior concentração de ferro pode ser atribuída à pouca idade da planta.

Neste estágio de crescimento, observou-se também que os resultados para manganês assemelharam-se aos obtidos para o ferro, com as folhas apresentando conteúdo foliar maior na dose de 2 kg/ha de boro (Quadro 6).

Com relação ao cobre, o resultado obtido foi diferente dos demais micronutrientes. O teor foliar de cobre foi significativamente menor no tratamento com a mais alta dose de boro quando comparado ao tratamento que não recebeu boro (Quadro 6).

Com relação ao boro na folha, as análises efetuadas neste estágio de crescimento mostraram que os teores não variaram, independentemente dos tratamentos que receberam ou não boro conforme os resultados expressos no Quadro 6.

A ausência de resposta para teores de boro na folha pode estar associada ao fato de que os teores do nutriente no solo permaneceram baixos em todos os tratamentos (Quadro 6). Pode ser também devido aos relatos de nível crítico para boro variando entre 4 e

100 mg.dm⁻³ (Touchton & Boswell, 1975), pois os teores foliares encontrados estavam dentro deste intervalo.

Clark (1975) relatou que a concentração de boro na folha de milho presumivelmente se altera com a idade da planta em diferentes genótipos. A concentração aumenta com a idade, alcançando um pico e decrescendo a seguir, porém neste experimento os teores observados foram maiores nesta fase do que nas posteriores.

Com relação à aplicação de doses de zinco e analisando os teores foliares nesta fase de crescimento, constatou-se que além de não haver interação entre boro e zinco, não houve efeito da aplicação do zinco sobre teores foliares do mesmo. Diferentemente deste experimento, Igue et al. (1962) constataram diferenças visuais em fase inicial de plantas de milho com a aplicação de zinco, tratamentos sem aplicação de zinco resultaram em plantas com menor crescimento, apresentando sintomas de deficiência, indicando resposta da cultura ao zinco. Amaral et al. (1996) relataram resposta à aplicação do zinco nos teores foliares. Apesar dos valores iniciais de zinco no solo serem baixos, os valores observados para a testemunha com relação ao conteúdo foliar foram superiores aos níveis críticos estabelecidos para a planta por Couto et al. (1992), de 18,9 mg.dm⁻³ e 18,3 mg.dm⁻³ em solos com 20 e 30 % de argila, respectivamente.

Tendo importante função de regulador de crescimento (Thorne, 1957; Dechen et al., 1991), o zinco tem papel relevante durante esta fase do ciclo da cultura do milho. Era de se esperar que a aplicação do mesmo proporcionasse diferenças nos teores do tecido foliar (Quadro 6); no entanto não se observou diferenças e provavelmente níveis abaixo do esperado no solo de outros nutrientes tenham limitado o desenvolvimento da planta e induzido a ausência de resposta ao zinco.

6.2.2 Análise de componentes vegetativos

Os dados obtidos para comprimento de planta e diâmetro de colmo (Quadro 7) não mostraram significância pela aplicação do boro e do zinco, e sem interação entre ambos. Os resultados obtidos neste experimento são discordantes de Barbosa Filho et al. (1990), que verificaram maior comprimento de internódio devido ao zinco e de Thorne (1957) e Dechen et al. (1991), que relacionaram o zinco com o desenvolvimento da planta, pelo controle da produção de importantes reguladores de crescimento.

Os dados obtidos para a matéria seca das folhas e matéria seca total das plantas não revelaram efeitos significativos dos tratamentos (Quadro 7). Com relação a matéria seca total das plantas, os dados são concordantes com De-Polli et al. (1992), que não obtiveram respostas da aplicação de zinco para matéria seca do milho e com Buzetti et al. (1993), que não encontraram diferenças na produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho com diferentes doses de zinco no período de 15 a 30 dias após emergência em solo com teor inicial de $0,4 \text{ mg.dm}^{-3}$ de zinco, cujos valores encontrados se aproximam dos observados neste experimento. Por outro lado Barbosa Filho et al. (1990), Couto et al. (1992).

Quadro 7. Dados de análises para diâmetro de colmo, comprimento de planta, matéria seca das folhas e matéria seca total de plantas aos trinta dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.

Doses de Zn	Diâmetro de colmo	Comprimento de plantas	Matéria seca das folhas	Matéria seca total
kg/ha	mm	cm	g/planta	g/planta
0 kg/ha de B				
0	11	140	3,0	8,9
2	11	139	2,8	8,5
4	11	143	3,3	9,9
Média	11	140	3,0	9,1
1 kg/ha de B				
0	12	144	3,7	11,5
2	12	138	2,7	8,3
4	11	150	2,6	7,6
Média	11	144	3,0	9,1
2 kg/ha de B				
0	12	150	3,8	11,6
2	13	158	3,6	10,6
4	12	150	2,9	8,9
Média	12	153	3,4	10,4
Média das doses de Zn				
0	12	144	3,5	10,7
2	12	145	3,0	9,1
4	11	148	2,9	8,8
CV %	10	15	28	31

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

e Amaral et al. (1996) relataram aumento na produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho com o aumento das doses de zinco.

Com relação à área foliar, razão de área foliar e razão de peso foliar (Quadro 8) não foram encontradas diferenças significativas dos tratamentos em todos os parâmetros analisados.

Estes resultados estão relacionados aos dados biométricos, para os quais não foram obtidas respostas.

De modo geral, tanto para parâmetros biométricos como para fisiológicos não ocorreu resposta à aplicação de boro e do zinco. A não obtenção de resposta provavelmente seja devido à nutrição da cultura. Não se encontrou diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria dos nutrientes analisados e desta forma também não se refletiu em diferenças no desenvolvimento do milho.

Quadro 8. Dados de análises para área foliar, área foliar específica, razão de área foliar e razão de peso foliar aos trinta dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.

Doses de Zn	Área foliar	Área foliar específica	Razão de peso foliar	Razão de área foliar
kg/ha	cm ²	cm ² .g ⁻¹	g.g ⁻¹	cm ² .g ⁻¹
0 kg/ha de B				
0	748	247	0,67	169
2	693	250	0,66	165
4	795	243	0,66	161
Média	745	247	0,67	165
1 kg/ha de B				
0	890	246	0,65	160
2	914	343	0,65	218
4	766	286	0,69	196
Média	857	292	0,66	191
2 kg/ha de B				
0	1.051	286	0,67	191
2	977	267	0,68	181
4	765	267	0,67	178
Média	931	273	0,67	183
Médias das doses de Zn				
0	896	260	0,67	174
2	861	287	0,66	188
4	775	265	0,67	178
CV %	31	23	5	21

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

6.3 Análise aos sessenta dias da emergência

6.3.1 Teores foliares de nutrientes

Os resultados para a análise dos teores foliares de nitrogênio nesta fase de desenvolvimento da cultura mostraram que nas condições em que foi conduzido este experimento, as concentrações de nitrogênio nas folhas não foram afetadas; também não se verificou a ocorrência de interação pela aplicação de boro e zinco (Quadro 9). Resende et al. (1997) relataram que o nitrogênio tem efeito positivo sobre o acúmulo de zinco na parte aérea e também que há interação entre N e K sobre os teores foliares de zinco.

A etapa de desenvolvimento da planta caracterizada pelo aparecimento de órgãos reprodutivos não se caracterizou por diferenças significativas para teores de fósforo (Quadro 9), da mesma forma do ocorrido com os resultados na fase anterior, aos trinta dias após a emergência. Segundo Andrade et al. (1975a) o ponto de exigência máxima ocorre em torno dos sessenta dias após a germinação e próxima a época de pendoamento. Os valores encontrados foram superiores aos obtidos por Souza et al. (1998).

Os teores de potássio também não variaram dentro dos tratamentos, não ocorrendo interação devido a este parâmetro entre os nutrientes estudados (Quadro 9). Segundo Shukla & Mukli (1979) existe relação entre o potássio e o zinco pois doses elevadas de potássio promovem aumento da concentração de zinco. Apesar dos baixos teores de potássio no solo, os valores médios deste nutriente, para o experimento, foram semelhantes aos obtidos por Vilela & Büll (1999).

Os teores foliares de cálcio não sofreram efeitos da aplicação do boro e

Quadro 9. Teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre aos sessenta dias da emergência, em função das aplicações de diferentes doses de boro e de zinco.

Doses de Zn	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
kg/ha	-----g/kg-----					
	0 kg/ha de B					
0	28	2,7	18	4,5	2,3	2,7
2	30	3,1	19	4,8	1,8	3,1
4	29	2,8	18	4,2	2,3	3,3
Média	29	2,9	19	4,5	2,1A	3,0
	1 kg/ha de B					
0	29	2,9	19	4,5	1,8	3,2
2	29	2,8	17	4,2	1,8	3,2
4	30	2,8	19	3,8	1,6	3,1
Média	29	2,8	18	4,2	1,7 B	3,2
	2 kg/ha de B					
0	31	2,9	18	5,0	2,1	3,3
2	29	2,8	17	4,8	2,3	3,6
4	29	2,9	20	4,0	1,8	3,0
Média	30	2,9	18	4,6	2,1 A	3,2
	Médias das doses de Zn					
0	29	2,8	19	4,7	2,0	3,1
2	30	2,9	18	4,6	1,9	3,3
4	29	2,8	19	4,0	1,9	3,2
CV %	6	6	8	16	18	20

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

zinco sobre os teores deste elemento na cultura do milho (Quadro 9). Entretanto os teores de magnésio nas folhas se diferenciaram, ocorrendo valores menor valor no tratamento que recebeu a dose intermediária de boro em relação às duas doses extremas (Quadro 9). O conteúdo foliar de cálcio se assemelha aos resultados obtidos por Vilela & Büll (1999), enquanto que os teores de magnésio são inferiores.

Não foi verificada interação entre boro e zinco quando considerado os teores foliares de enxofre para a cultura do milho (Quadro 9). No período anterior de desenvolvimento encontrou-se diferenças significativas nos níveis de boro. Não foram encontrados relatos sobre a relação de efeitos de boro e zinco sobre os teores foliares de enxofre na cultura do milho.

Nos resultados obtidos para teores foliares de enxofre dentro dos níveis de zinco, não ocorreram diferenças significativas (Quadro 9).

Durante este estágio de crescimento, como ocorrera também na análise anterior, não houve aumento do teor foliar de boro, independentemente dos tratamentos com variação nas doses aplicadas de boro ou de zinco (Quadro 10). Apesar da aplicação de doses diferentes de boro no solo, pode-se dizer que os níveis de boro encontrados no solo anteriormente à montagem do experimento, provavelmente oriundo de matéria orgânica, tenham sido suficientes para manter adequado o nível nutricional da planta, mesmo naqueles tratamentos que não receberam boro no solo.

Com relação aos teores foliares de zinco, não se observou diferenças significativas com a aplicação no solo do zinco; resultado diferente foi obtido por Souza et al. (1985) que relataram aumento no teor foliar com a aplicação deste nutriente. Também não ocorreu interação significativa entre o boro e zinco para os teores foliares. Os teores foliares

Quadro 10. Teores foliares de boro, cobre, ferro, manganês e zinco aos sessenta dias da emergência em função das aplicações de boro e zinco no solo aos sessenta dias após a emergência.

Doses de Zn	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
kg/ha	-----mg/kg-----				
0 kg/ha de B					
0	13	11	140	44	29
2	14	13	232 b	48	36
4	14	12	128	49	34
Média	13	12	167	47	33
1 kg/ha de B					
0	11	12	162 B	44	37
2	12	12	193 AB	46	39
4	11	12	308 Aa	43	34
Média	11	12	221	45	37
2 kg/ha de B					
0	12	11	175	46	36
2	11	12	154	50	36
4	11	11	161 b	44	34
Média	11	11	163	47	35
Médias das doses de Zn					
0	12	11	159	45	34
2	12	12	193	48	37
4	12	12	199	45	34
CV %	20	10	37	14	14

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

de zinco se assemelharam aos valores obtidos por Souza et al.(1998), para a mesma época do ciclo de desenvolvimento.

Pode-se inferir que, de forma semelhante ao observado para o boro, que os teores de zinco no solo tenham sido suficientes para manter adequado o nível nutricional da planta (Quadro 10). De acordo com Couto et al. (1992) o nível crítico de zinco na parte aérea da planta de milho varia de acordo o tipo de solo trabalhado, sendo que o aproveitamento de zinco do solo depende das características e da constituição do solo.

Dentro das doses de boro (Quadro 10), não foi verificada diferença significativa para os teores de cobre na folha e por ocasião desta amostragem. Os resultados não se mostraram diferentes, não havendo dentro desta fase de desenvolvimento, efeitos negativos da aplicação do boro sobre os teores de cobre nas folhas, como ocorrera no estágio anterior. Também não foram encontrados relatos discorrendo sobre algum tipo de relação do boro com o cobre.

Não foram encontradas diferenças significativas pela aplicação de boro sobre os teores foliares de manganês (Quadro 10), ao contrário da análise realizada anteriormente (30 dias após a emergência), ocasião em que houve diferenças significativas e positivas nos níveis foliares de manganês pela aplicação de boro ao solo. Provavelmente com o desenvolvimento da planta diferenças que ocorreram anteriormente se reduziram e os teores de manganês, tornaram-se equivalentes em todos os tratamentos.

Ocorreu interação entre o boro e zinco, para a análise dos teores foliares de ferro. Com os desdobramentos dos graus de liberdade, verificou-se que a aplicação de 1 kg/ha de boro e 4 kg/ha de zinco diferenciou significativamente dos demais tratamentos

(Quadro 10). Entretanto este resultado não se repetiu nas demais épocas em que foram efetuadas as outras amostragens.

Ao contrário dos resultados obtidos por Ritchey et al. (1986) e Galvão (1984), os teores de ferro na época do embonecamento não se reduziram com o aumento nas doses de zinco, não sendo caracterizado um antagonismo entre estes dois cátions, conforme relatos destes autores.

6.3.2 Análise de componentes vegetativos

Não houve resposta pela aplicação de boro e zinco com relação a diâmetro do colmo, comprimento de planta e matéria seca das folhas (Quadro 11), não sendo observado interação entre os nutrientes sobre o crescimento da planta. Comparando-se as doses de boro, não foi verificado efeito sobre o desenvolvimento da planta. Da mesma forma, os resultados não foram significativos com a variação de zinco no solo devido aos tratamentos. Era de se esperar plantas mais altas pela função desempenhada pelo zinco na planta.

Com relação à matéria seca total das plantas, foram verificadas diferenças significativas entre a aplicação de 2 kg/ha de boro com tratamento que não recebeu este micronutriente (Quadro 11). Para os tratamentos com variação de zinco não ocorreram diferenças para a matéria seca, discordando dos resultados obtidos por Galvão & Mesquita Filho (1981) e Amaral et al. (1996) que obtiveram efeito positivo com todas as doses de zinco trabalhadas.

Quadro 11. Dados de análises para diâmetro de colmo, comprimento de planta, matéria seca de folhas e matéria seca total aos sessenta dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.

Doses de Zn	Diâmetro de colmo	Comprimento de planta	Matéria seca das folhas	Matéria seca total da planta
	mm	cm	g/planta	g/planta
kg/ha				
		0 kg/ha de B		
0	20	173	26	99
2	19	182	31	128
4	19	180	28	112
Média	19	178	28	113 B
		1 kg/ha de B		
0	19	183	31	131
2	19	180	31	130
4	20	180	32	132
Média	19	181	31	131 AB
		2 kg/ha de B		
0	20	185	30	129
2	20	180	33	151
4	20	175	31	124
Média	20	180	32	135 A
		Médias das doses de Zn		
0	19	180	29	120
1	19	181	32	136
2	20	178	31	123
CV %	6	6	12	14

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

O uso de fontes de boro e zinco de forma conjunta não evidenciaram aumento da matéria seca das folhas ou mesmo da matéria seca total da planta, não ocorrendo diferenças entre os tratamentos e nem interação entre os nutrientes. Discordando de Buzetti et al. (1993), que observaram diferenças significativas entre doses de zinco para matéria seca da parte aérea do milho somente após dez cultivos, aos 55 dias da emergência, quando o zinco disponível no solo foi bastante diminuído por sucessivos cultivos.

A área foliar da planta, área foliar específica e razão de peso foliar não sofreram alterações em função dos tratamentos, o boro e o zinco não levaram a um resultado que proporcionasse interação entre ambos e também não ocorreu acréscimos na área foliar da cultura pela utilização de boro e também pela utilização de zinco (Quadro 12).

A partir dos dados obtidos pela medição e pesagem de material recolhido no campo, foram obtidas outras informações afim de verificar efeitos dos micronutrientes sobre o desenvolvimento da cultura do milho em relação a índices fisiológicos (Quadro 12). Os resultados para área foliar específica não indicaram interferências dos diferentes tratamentos.

A análise dos dados calculados para razão de área foliar resultou em diferença significativa entre as doses de boro, sendo que o tratamento sem boro diferiu da dose de 2 kg/ha, não ocorrendo o mesmo resultado para o zinco (Quadro 12), ou seja, observou-se maior relação entre a área foliar e a matéria seca total para o tratamento sem boro.

Quadro 12 . Dados de análises de área foliar, área foliar específica, razão de área foliar e razão de peso foliar aos sessenta dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.

Doses de Zn	Área foliar	Área foliar específica	Razão de peso foliar	Razão de área foliar
	cm ²	cm ² .g ⁻¹	g.g ⁻¹	cm ² .g ⁻¹
kg/ha				
		0 kg/ha de B		
0	5.068	196	0,52	102
2	5.565	179	0,49	88
4	5.534	196	0,51	99
Média	5.389	190	0,51	96 A
		1 kg/ha de B		
0	5.208	170	0,47	80
2	5.456	174	0,49	85
4	5.478	172	0,49	84
Média	5.381	172	0,48	83 AB
		2 kg/ha de B		
0	4.843	160	0,47	75
2	5.705	172	0,44	76
4	5.645	181	0,51	92
Média	5.398	171	0,47	81 B
		Médias das doses de Zn		
0	5.039	175	0,49	86
2	5.575	175	0,47	83
4	5.552	183	0,50	91
CV %	17	12	8	16

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

6.4 Análise aos noventa dias da emergência

6.4.1 Teores foliares de nutrientes

Os resultados obtidos pelas análises foliares nesta época mostraram o efeito da interação entre boro e zinco para os teores foliares de nitrogênio e manganês (Quadros 13 e 14).

Neste período, com as plantas dentro da fase reprodutiva, desdobrando-se os graus de liberdade para o nitrogênio, verificou-se que os teores diferiram significativamente dentro da dose zero de zinco, e na dose zero de boro. E dentro da dose zero de boro, comparando-se os três níveis de zinco, a dose de 2 kg/ha de zinco diferenciou-se significativamente da dose zero (Quadro 13). Resende et al. (1997) verificaram efeito significativo da interação entre N e K para as concentrações de zinco na parte aérea e Souza et al. (1985) relataram correlação entre nitrogênio e zinco.

Diferentemente dos resultados para as amostragens anteriores, houve efeito negativo com a aplicação de 2 kg/ha de boro sobre os teores foliares de fósforo (Quadro 13), resultado não esperado, visto que não se relatou este tipo de efeito pelos resultados obtidos por Touchton & Boswell (1975). Também pelo fato de Dibb et al. (1990) terem relatado efeitos positivos da aplicação de fósforo nos teores de boro na planta.

Os teores foliares de potássio também foram afetados pela aplicação de boro. Observou-se que em dose de até 1 kg/ha não ocorreu diminuição nos teores de potássio nas folhas, mas com dose de 2 kg/ha, obteve-se teores significativamente menores (Quadro

Quadro 13. Teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre aos noventa dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e zinco

Doses de Zn	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
kg/ha	g/kg					
0 kg/ha de B						
0	20 Bb	1,8	17	8,5	3,7	2,4
2	25 A	2,0	17	8,0	2,8	2,6
4	23 AB	1,9	17	8,8	3,5	2,5
Média	23	1,9 A	17 A	8,4	3,3 A	2,5
1 kg/ha de B						
0	27 a	1,8	17	7,8	2,2	2,8
2	23	1,7	16	8,0	3,0	2,7
4	23	1,8	17	8,2	2,1	2,7
Média	25	1,8 AB	17 A	8,0	2,4 B	2,7
2 kg/ha de B						
0	22 b	1,4	14	9,0	3,3	2,4
2	24	1,7	15	9,0	3,5	2,6
4	23	1,5	16	8,2	2,6	2,3
Média	23	1,5 B	15 B	8,8	3,1 AB	2,5
Médias das doses de Zn						
0	23	1,7	16	8,4	3,1	2,5
2	24	1,8	16	8,3	3,1	2,6
4	23	1,7	16	8,4	2,8	2,5
CV %	10	14	10	10	24	17

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

13). Segundo Woodruff et al. (1987) quanto maior a quantidade de potássio aplicada, ocorre um aumento da necessidade de boro.

Com a aplicação de boro, os resultados encontrados para o magnésio mostraram também um efeito negativo e significativo para os teores foliares, diminuindo-se a concentração de magnésio nas folhas com a dose de 2 kg/ha (Quadro 13). A aplicação de dose até 1 kg/ha proporcionou efeito significativo e negativo sobre os teores de magnésio nas folhas.

Com relação aos teores foliares de cálcio no milho, não foram verificadas diferenças significativas em função das doses de boro e zinco, mas pode-se notar que neste período a cultura, de maneira geral, tem maior concentração de cálcio, conforme os valores mostrados no Quadro 13, em relação aos períodos analisados anteriormente. Shukla & Mukhi (1979) relataram que o zinco neutraliza efeito adverso de potássio sobre o cálcio e vice-versa, ocorrendo fato similar também com relação ao antagonismo existente entre potássio e magnésio e da existência de sinergismo entre magnésio e zinco.

Ocorreu interação significativa entre boro e zinco para os teores foliares de manganês. Com os desdobramentos dos graus de liberdade, observou-se que as plantas apresentavam maiores teores foliares em manganês dentro do nível zero de zinco e do nível de 2 kg/ha de boro (Quadro 14). Pode ter ocorrido antagonismo entre o manganês e zinco por estes dois cátions competirem pelos mesmos sítios de absorção.

Observou-se que neste estágio de desenvolvimento, como nas amostragens anteriores, não houve diferenciação significativa para os níveis de boro nas folhas. A aplicação de boro neste experimento não implicou no aumento do seu teor foliar.

Segundo Touchton & Boswell (1975) a concentração nas folhas variou entre 4 e 25 mg.dm^{-3} e foram suficientes para a cultura do milho e de acordo com estes autores, na literatura há relatos de amplitude para nível crítico no solo variando de 4 a 100 mg.dm^{-3} . Peck et al. (1969) encontraram variação entre 8 e 30 mg.dm^{-3} no teor foliar de boro em milho.

Este resultado indica que os teores de boro existentes no solo foram suficientes para a cultura para estas condições, observando-se inclusive que os teores foliares de boro em todos os tratamentos estavam dentro dos níveis exigidos pela cultura.

Diferentemente dos dados obtidos para cobre neste trabalho (Quadro 14), Galvão (1984) e Souza et al. (1985) relataram maiores teores de cobre nas folhas sem a aplicação de zinco devido à inibição competitiva entre os dois nutrientes.

Com relação ao ferro, durante este período, não foi observado a interação entre os dois nutrientes ou efeito do boro ou do zinco individualmente (Quadro 14).

Considerando as doses de zinco, não se verificou os efeitos sobre os teores foliares dos nutrientes e sobre o teor foliar de zinco nas folhas. Os resultados da análise foliar para o zinco (Quadro 14) mostram que em todos os tratamentos, os níveis foram equivalentes aos obtidos por Ritchey et al. (1986) e Galvão (1995).

Dentro da literatura alguns autores também não encontraram diferenças nos teores foliares de zinco em milho como é o caso de Igue et al. (1962), apesar destes notarem sintomas de deficiência em uma das fases de desenvolvimento da cultura. Fageria & Baligar (1997) não encontraram diferenças significativas com omissão na aplicação de zinco, embora o teor médio encontrado (9 mg/kg) pelos autores ser bem inferior aos teores médios encontrados na literatura.

Quadro 14. Teores foliares de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em função das aplicações de boro e zinco no solo aos noventa dias após a emergência.

Doses de Zn	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
kg/ha	-----mg/kg-----				
0 kg/ha de B					
0	19	8,8	146	27 b	18
2	19	10,2	154	32	22
4	18	8,8	162	30	19
Média	19	9,2 AB	154	30	20
1 kg/ha de B					
0	16	10,2	153	26 b	21
2	15	10,0	169	29	25
4	18	11,0	147	32	21
Média	16	10,4 A	156	29	22
2 kg/ha de B					
0	16	8,0	154	36 Aa	23
2	16	9,0	174	28 B	24
4	16	8,5	174	26 B	20
Média	16	8,5 B	167	30	22
Médias das doses de Zn					
0	17	9,0	151	30	21
2	17	9,8	166	30	24
4	17	9,4	161	29	20
CV %	20	14	19	14	23

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

Fageria & Baligar (1997) analisaram a concentração de nutrientes na parte aérea do milho e não encontraram diferenças de teor de zinco com sua não aplicação e com teores menores do que os preconizados pela literatura em ambos os casos.

6.4.2 Análise dos componentes vegetativos

Os resultados obtidos durante este estágio de desenvolvimento da planta mostraram a interação significativa entre o boro e o zinco aplicados ao solo por ocasião do plantio tanto para a matéria seca das folhas como para a matéria seca total de plantas (Quadro 15). Na análise foi verificado o efeito significativo e de forma positiva da aplicação de zinco, na dose de 4 kg/ha, em relação à matéria seca das folhas.

Com o desdobramento dos graus de liberdade, observou-se que dentro da dose zero de boro, utilizando-se a 2 kg/ha ou 4 kg/ha de zinco, a matéria seca de folhas teve efeito significativo e positivo, assim como na dose de 1 kg/ha de boro, ocorreu diferenças significativas entre a dose zero e 4 kg/ha de zinco em relação à dose intermediária.(Quadro 15). E dentro dos níveis de zinco, a combinação entre 2 kg/ha de boro e 4 kg/ha de zinco, resultou em menor peso da matéria seca de folhas.

O comportamento da planta em relação à matéria seca total da planta assemelhou-se aos resultados obtidos com o peso das folhas. Com níveis de 1 kg/ha de boro e 4 kg/ha de zinco, resultou em maior peso em relação aos outros níveis de zinco. Dentro do nível 2 kg/ha de boro, observou diferenças significativas entre os tratamentos 0 e 2 kg/ha com relação ao tratamento 4 kg/ha de zinco (Quadro 15).

Quadro 15. Dados de análises de diâmetro de colmo, comprimento de planta, matéria seca de folhas, matéria seca total da planta aos noventa dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.

Doses de Zn	Diâmetro de colmo mm	Comprimento de planta cm	Matéria seca total g/planta	Matéria seca das folhas g/planta
kg/ha				
0 kg/ha de B				
0	19	202	122	33 B
2	21	201	149	42 A
4	20	203	162 a	43 Aa
Média	20,1 AB	202	144	40
1 kg/ha de B				
0	21	190	117 B	38 AB
2	21	202	114 B	37 B
4	21	191	159 Aa	44 Aa
Média	21,1 A	194	130	40
2 kg/ha de B				
0	20	194	141	37
2	21	193	124	36
4	19	192	107 b	34 b
Média	20,0 B	193	124	36
Médias das doses de Zn				
0	20 b	195	143	36 b
2	21 a	199	129	38 ab
4	20 ab	195	127	41 a
CV %	5	7	17	11

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

Fageria & Baligar (1997) compararam níveis adequados de fertilidade do solo para todos os nutrientes com a ausência de cada um deles; relataram que não ocorreu redução no peso de matéria seca com supressão da aplicação de zinco.

Em nenhuma das três épocas avaliadas foi verificado efeito da aplicação de zinco na produção de matéria seca da planta, concordando com o resultado obtido por De-Polli et al. (1992) quando da aplicação individual de zinco. Estes autores obtiveram resultados positivos e significativos quando da aplicação do zinco conjuntamente com outros micronutrientes. Korndörfer et al. (1995) também não obtiveram respostas para a produção de matéria seca, apesar de trabalharem em solo com baixo teor de zinco.

Entretanto resultados obtidos por Galvão & Mesquita Filho (1981) e Korndörfer et al. (1987) foram positivos quanto à produção de matéria seca em ensaio de casa de vegetação com a aplicação do zinco. Barbosa Filho et al. (1990) relataram aumento da produção de matéria seca em função do efeito residual de zinco aplicado para a cultura do arroz.

Para o comprimento de planta, não se verificou interação entre boro e zinco neste período analisado (Quadro 15), assim como também não tinham ocorrido interações nos períodos analisados anteriormente. Possivelmente deveria ocorrer diferenças na comprimento de planta ou na área foliar, ou mesmo com relação ao diâmetro de colmo, devido às interações para matéria seca das folhas e das plantas (Quadro 15), no entanto as análises não indicaram possíveis alterações naqueles parâmetros. Enquanto que Souza et al. (1985) obtiveram plantas mais altas com a aplicação de zinco.

Dentro dos tratamentos com zinco não ocorreu diferenças para o comprimento de planta, concordando com os resultados obtidos por Igue et al. (1962).

Os resultados obtidos neste experimento para área foliar, quando da análise, neste período de desenvolvimento, mostraram o efeito da aplicação de 2 kg/ha de boro quando comparado com os outros tratamentos (Quadro 16). Os resultados não mostraram o efeito do zinco sobre a área foliar.

Da mesma forma que houve influência do boro sobre a área foliar, observou-se diferenças devidas aos tratamentos com o boro para a área foliar específica, que considera a relação entre a área foliar e seu peso em matéria seca (Quadro 16). E os resultados também não expressaram diferenças significativas em função da variação das doses de zinco.

Considerando-se um outro parâmetro fisiológico analisado, a razão de área foliar (Quadro 16), relação entre a área foliar mensurada e a matéria seca total da planta, verificou-se semelhanças com os resultados da área foliar e área foliar específica, inclusive com diferenças significativas distintas entre as três diferentes doses de boro. Como nos demais parâmetros em que houve efeito do boro, o mesmo ocorreu quando da análise devido ao zinco, e também sem ocorrer interações.

Ao contrário dos resultados obtidos para os índices fisiológicos, quanto da análise da razão de área foliar, aos trinta (Quadro 8), houve efeito da aplicação do boro aos sessenta dias (Quadro 12) e diferentemente destes resultados, aos noventa dias (Quadro 16) a aplicação de boro resultou em efeito significativo da dose de 2 kg/ha de boro em relação aos outros tratamentos e também mostrou significância da dose de 1 kg/ha com a dose zero .

Em nenhum dos períodos analisados a aplicação de boro constituiu em efeito sobre o comprimento de planta (Quadros 7, 10 e 15) e também o zinco não teve efeitos sobre este parâmetro, embora este elemento seja considerado importante para o crescimento e desenvolvimento da planta, pelas funções que desempenha.

Quadro 16. Dados de análises de área foliar, área foliar específica, razão de área foliar e razão de peso foliar aos noventa dias da emergência em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.

Doses de Zn	Área foliar	Área foliar específica	Razão de peso foliar	Razão de área foliar
kg/ha	cm ²	g.cm ⁻²	g.g ⁻¹	cm ⁻² .g ⁻¹
0 kg/ha de B				
0	5849	167	0,29	50
2	7197	176	0,28	49
4	6346	148	0,27	40
Média	6464 B	163 B	0,28	46 C
1 kg/ha de B				
0	7299	198	0,32	64
2	7031	192	0,34	65
4	7831	178	0,28	51
Média	7386 B	189 B	0,32	60 B
2 kg/ha de B				
0	12336	332	0,27	79
2	8569	231	0,30	69
4	9271	270	0,33	88
Média	10059 A	278 A	0,30	78 A
Médias das doses de Zn				
0	8495	232	0,30	64
2	7599	199	0,31	61
4	7816	199	0,29	59
CV %	23	23	16	19

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

Resultados diferentes foram obtidos por Furlani & Furlani (1996) em solução nutritiva, que constataram plantas mais altas com o uso de fontes de zinco.

Observou-se para diâmetro de colmo (Quadro 15) diferença significativa entre as doses 1 e 2 kg/ha de boro. Quando se faz a comparação entre as doses de zinco verifica-se que o diâmetro da planta é estatisticamente maior na dose intermediária.

6.5 Análise conjunta das três épocas de desenvolvimento

Nas análises foliares realizadas em função dos tratamentos e também das épocas de amostragem procurou-se verificar o comportamento dos teores de boro. As curvas tiveram as mesmas tendências de inclinação (Figura 1), foram maiores no início, decrescendo e se elevando no final. Ao contrário dos resultados obtidos neste experimento, Gupta (1993) relatou que a concentração de boro na folha de milho presumivelmente se altera com a idade da planta em diferentes genótipos, com aumento da concentração em função do aumento da idade, alcançando um pico e posteriormente decrescendo.

Com relação às doses de zinco aplicadas ao solo, não se verificou dentro dos diversos períodos analisados (Quadros 6, 10 e 14), efeitos da adição sobre os teores foliares de zinco nos níveis estudados. De maneira geral, os dados obtidos foram menores no segundo período analisado em relação ao primeiro e terceiro períodos, apresentando diferenças significativas quanto a este parâmetro (Figura 2). Entretanto relato de Andrade et al. (1975b) indicou que a maior concentração de zinco em folha mais colmo é maior no início do desenvolvimento da cultura. De maneira geral os valores obtidos neste experimento para os

teores foliares de zinco foram mais elevados que o nível crítico de 18,5 mg/kg estabelecido por Galvão (1995).

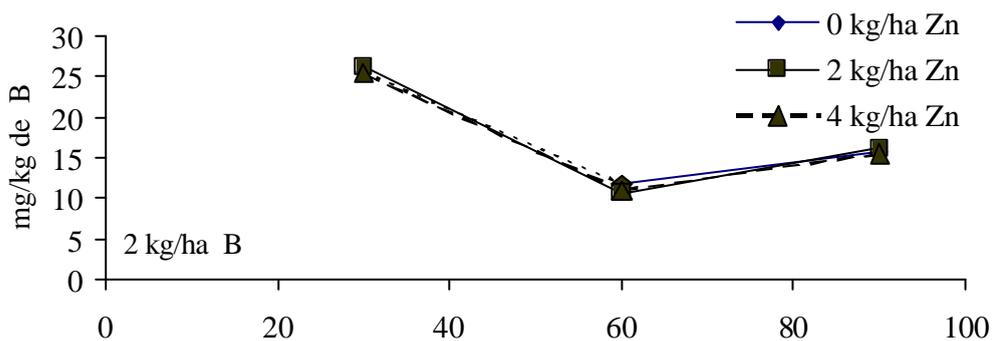
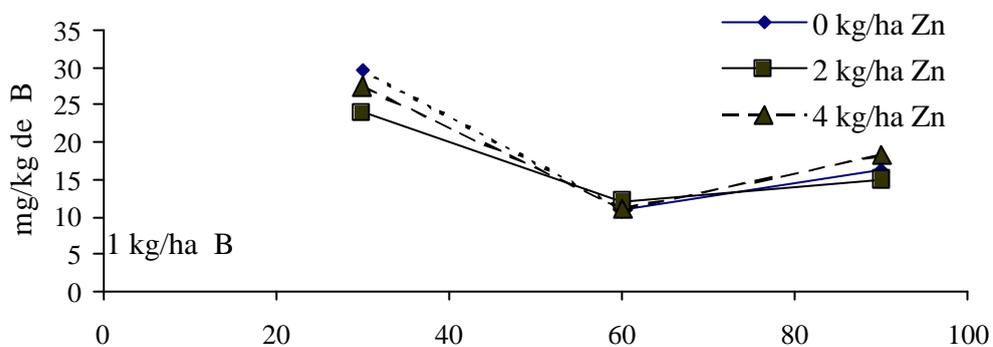
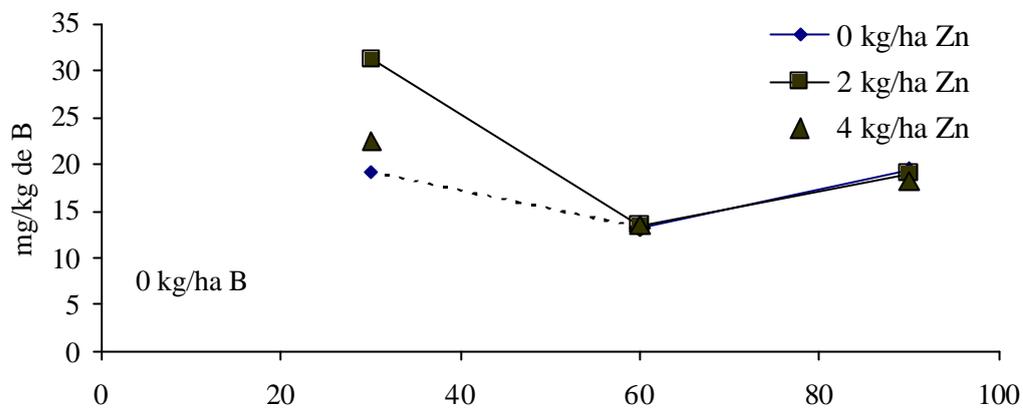
As curvas para os teores de fósforo seguiram a mesma tendência de resposta para todos os tratamentos (Figuras 3), com maiores valores alcançados aos sessenta dias da emergência e próxima à época de pendramento e de acordo com Andrade et al. (1975a) é o período de maior exigência da cultura do milho por este nutriente. Possivelmente a redução posterior nos teores esteja relacionado à mobilização para os grãos.

Os dados obtidos para potássio mostram a diminuição nos teores foliares conforme a idade da planta; isto deve estar ligado à translocação de nutrientes para os órgãos reprodutivos e também pela lavagem do íon com o amadurecimento das folhas e aumento da idade, concordando com Andrade et al. (1975a). Notou-se um decréscimo generalizado nos teores foliares de potássio com relação aos períodos anteriores, quando as concentrações, independentemente de tratamentos, foram superiores (Figuras 4), concordando com os dados de Furlani et al. (1977).

Em função da idade da planta, a velocidade de produção de matéria seca é maior entre trinta e sessenta dias (Figura 5), acumulando-se com mais lentidão posteriormente, concordando com os dados de Furlani et al. (1977).

O aumento da área foliar é contínuo durante o ciclo da cultura em que foi analisado e a maior velocidade na expansão da área foliar ocorreu entre trinta e sessenta dias após a emergência, seguindo a mesma tendência do acúmulo de matéria seca (Figura 6).

A análise conjunta para razão de peso foliar mostrou diminuição com o aumento da idade da planta, concordando com os dados obtidos por Vilela & Büll (1999). O decréscimo neste índice fisiológico já era esperado em virtude da translocação de carboidratos



Dias após emergência

Figura 1. Teores foliares de boro em plantas de milho em função de variações nas doses de boro e zinco em três diferentes épocas de avaliação.

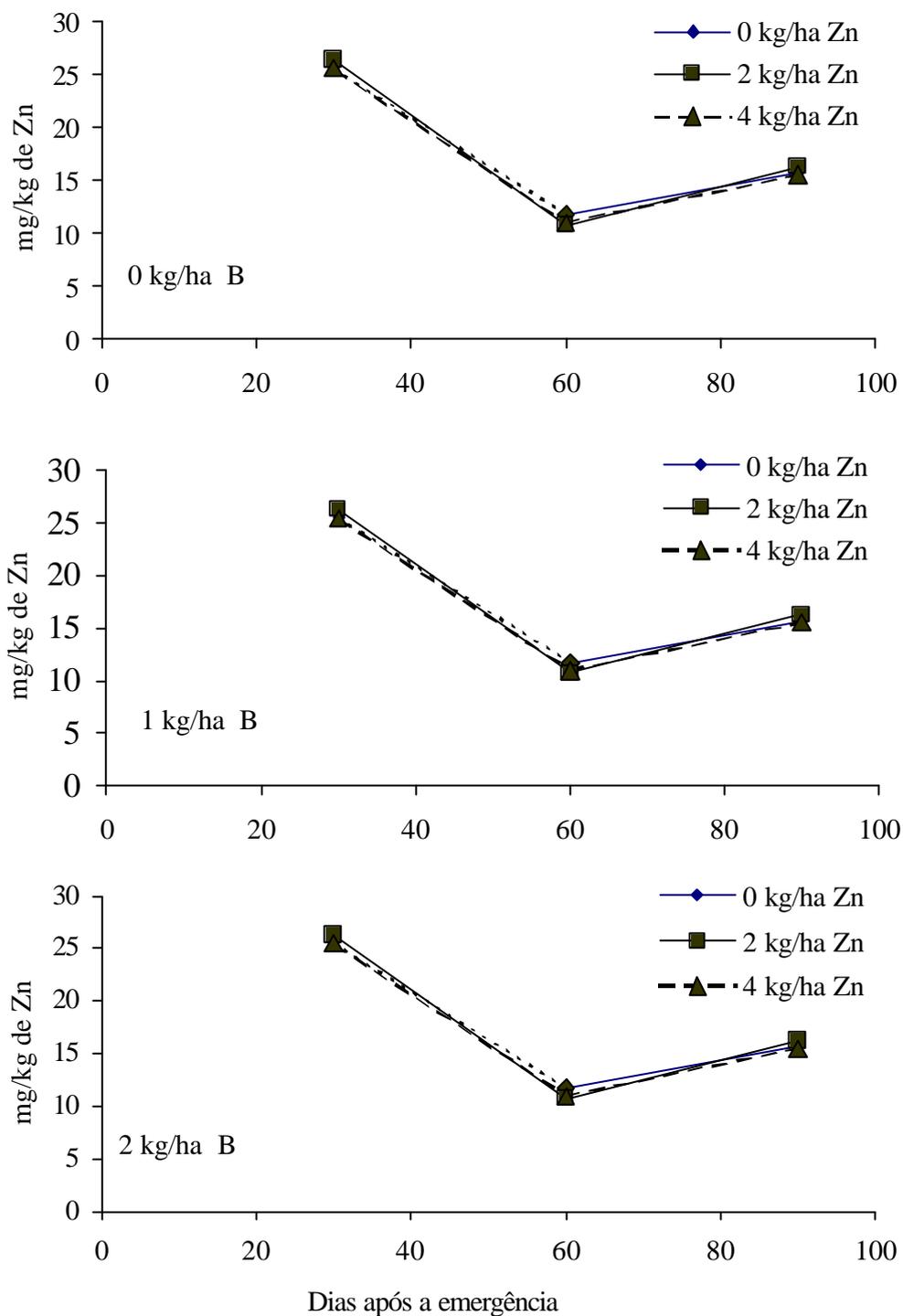


Figura 2. Teores foliares de zinco em plantas de milho em função de variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação.

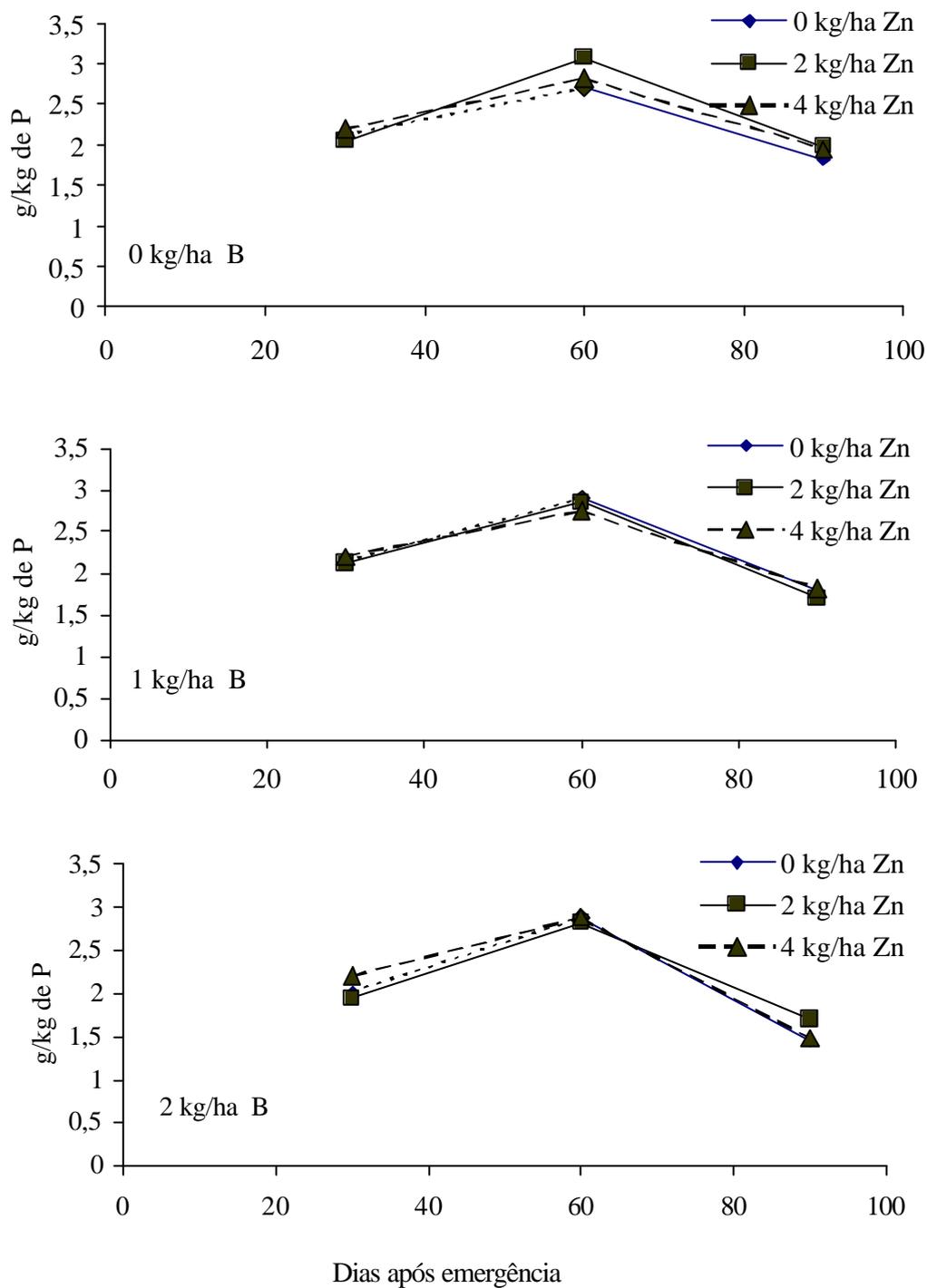


Figura 3. Teores foliares de fósforo em plantas de milho em função de variações nas doses de boro e zinco em três diferentes épocas de avaliação.

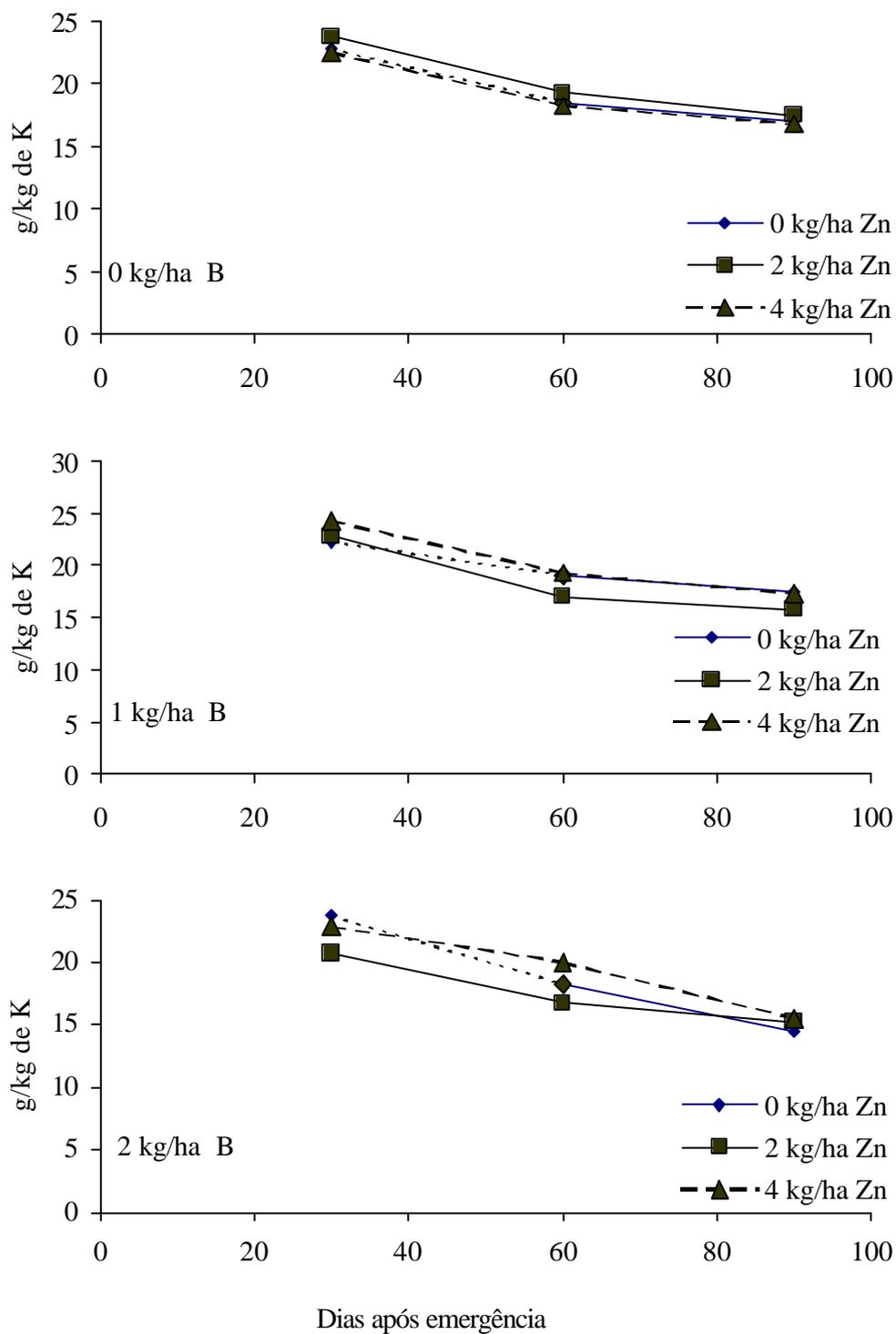


Figura 4. Teores foliares de potássio em plantas de milho em função de variações nas doses de boro e zinco em três diferentes épocas de avaliação

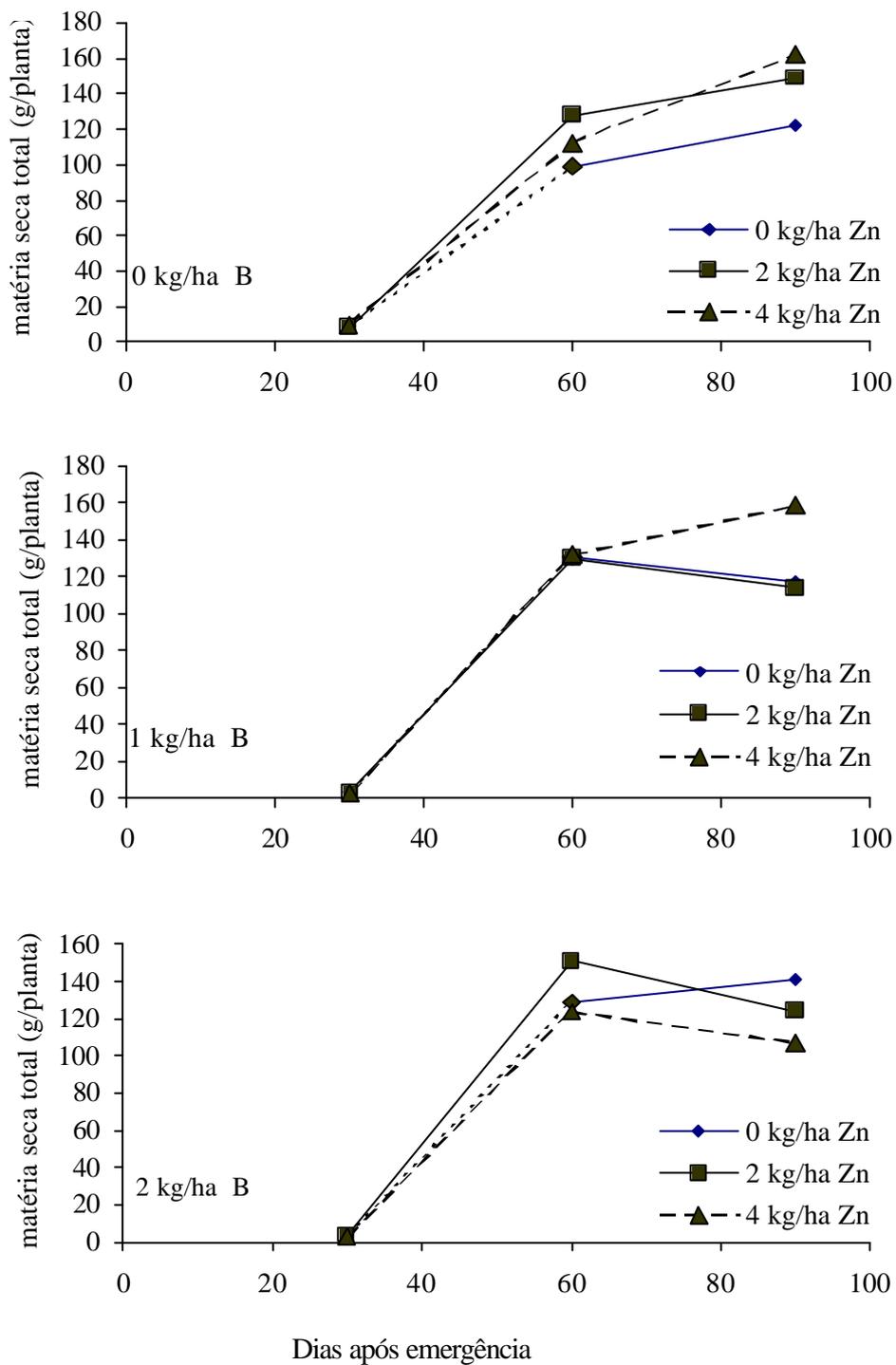


Figura 5. Matéria seca total de plantas de milho em função de variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação

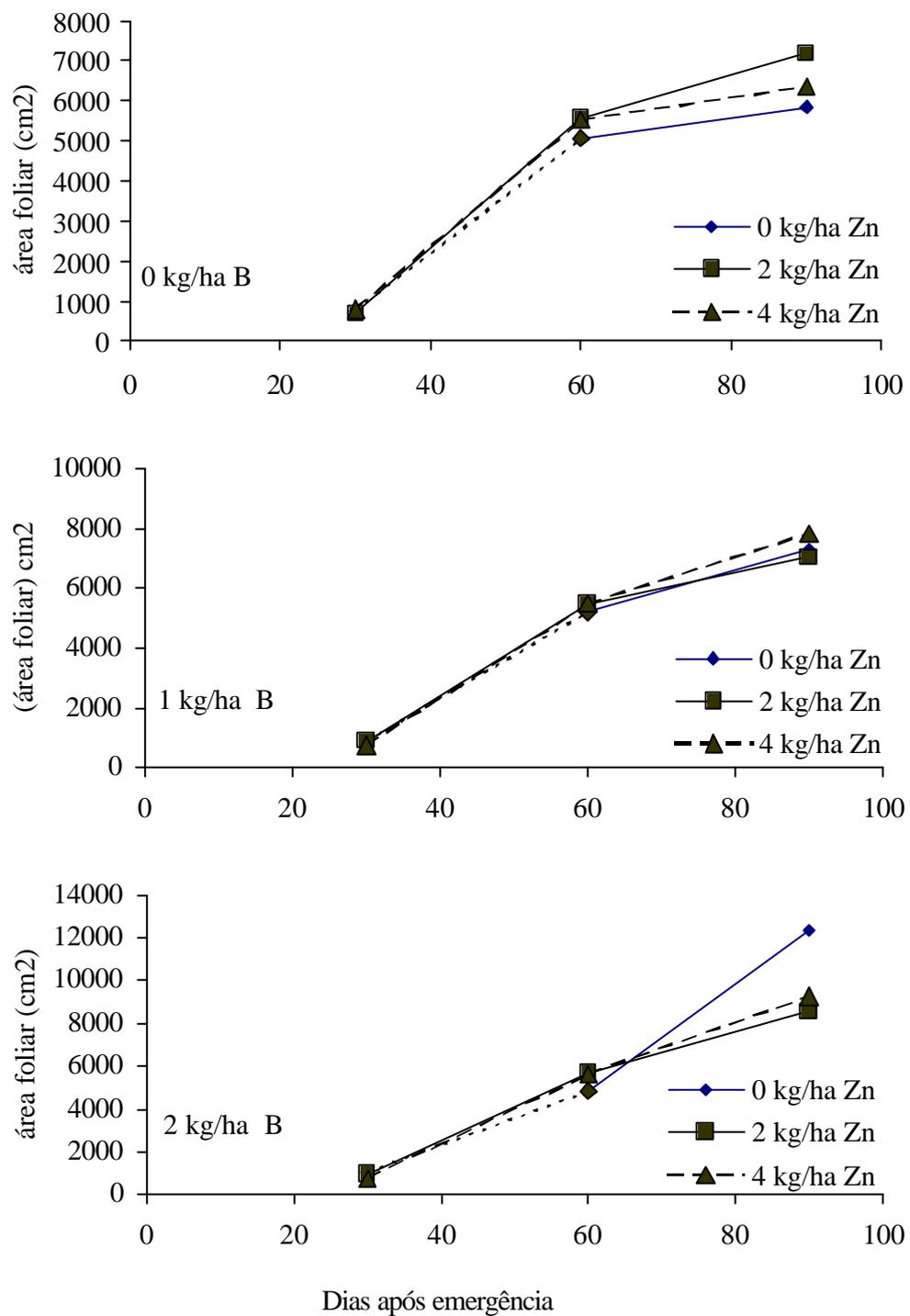


Figura 6. Área foliar de plantas de milho em função de variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação

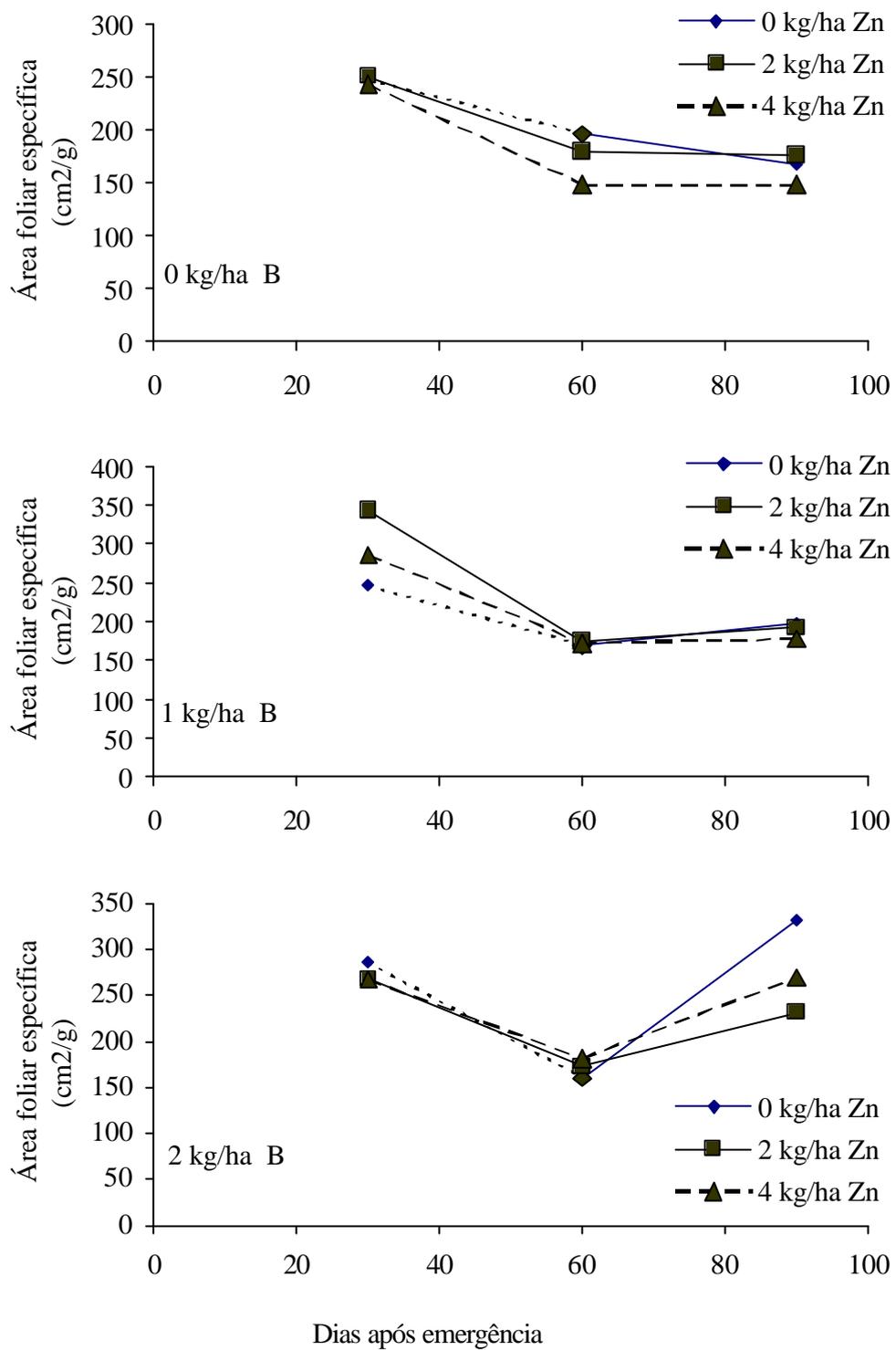


Figura 7. Área foliar específica de plantas de milho em função de variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação

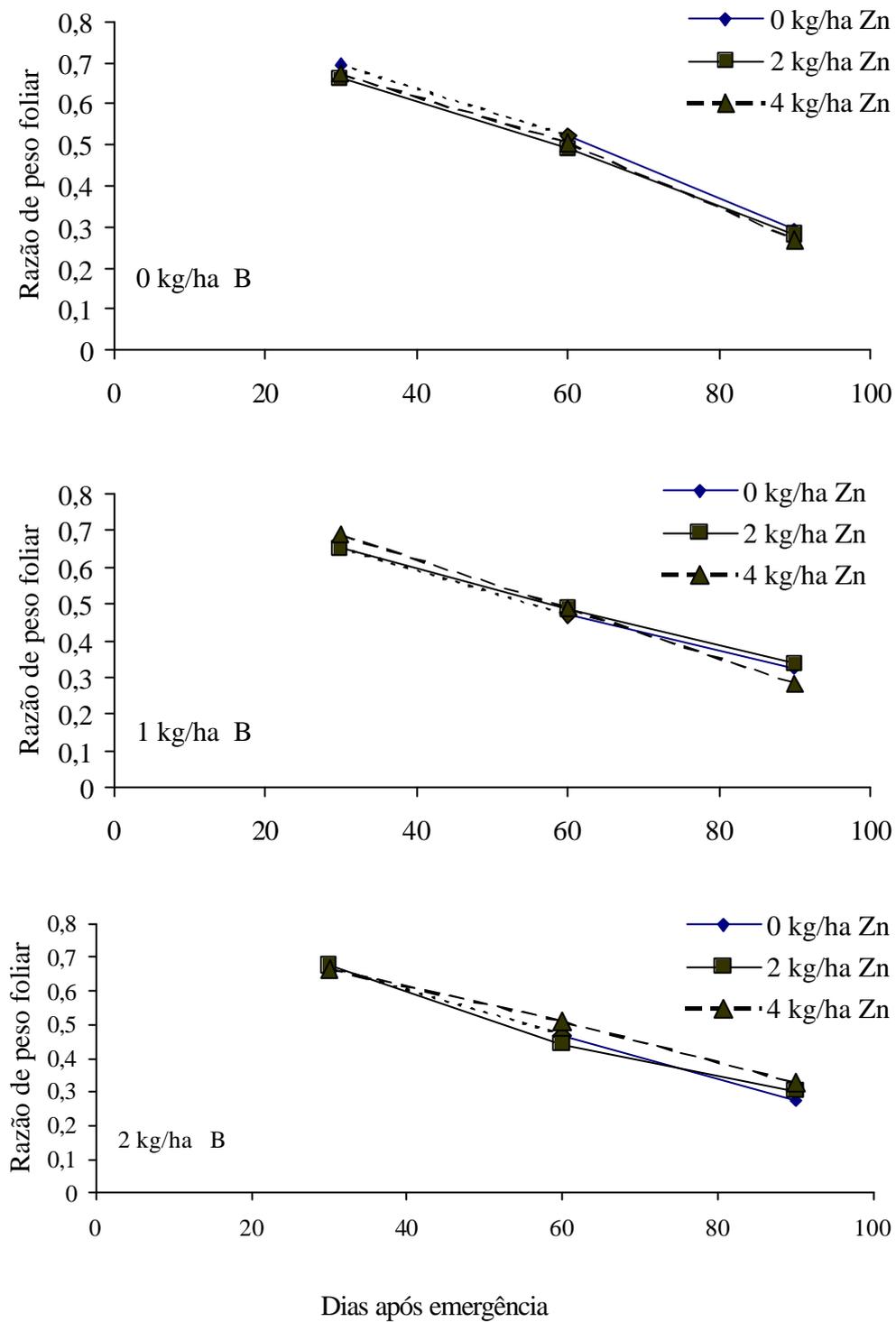


Figura 8. Razão de peso foliar de plantas de milho em função de variações nas doses de boro e zinco, em três diferentes épocas de avaliação

para outros órgãos da planta. (Figura 8). Assim como ocorreu também o decréscimo da razão da área foliar em função da idade. As curvas obtidas para estes dois parâmetros e para área foliar específica (Figuras 7) são comparáveis às tendências obtidas por Vilela & Büll (1999).

6.6 Dados de produção de grãos de milho

A aplicação de boro e zinco não proporcionou efeito significativo sobre o rendimento de grãos para a cultura do milho, nas condições em que foi realizado este experimento, não ocorrendo interação entre o boro e o zinco sobre a produção de milho (Quadro 17). Peck et al (1969) não observaram efeito da interação entre níveis foliares de boro e zinco sobre a produção de grãos.

Não ocorreu o efeito dos tratamentos com boro sobre a produção de grãos neste experimento, concordando com os resultados obtidos por Ritchey et al. (1986), Britto et al (1971); Touchton & Boswell (1975) e Galvão (1984) que também não verificaram a influência do boro sobre a produção de grãos, embora outros relatos dentro da literatura indiquem a importância do boro sobre o desenvolvimento reprodutivo da cultura do milho (Agarwala, 1981; Dell & Huang, 1997). Peck et al. (1969) relataram correlação negativa entre níveis de boro e produção de grãos, mesmo com baixo teores de boro no tecido.

A produção de grãos de milho também não foi afetada pelos tratamentos com zinco, ou seja, não se verificou incremento de produção devido a este nutriente, concordando com resultados obtidos por Igue et al. (1962), Buzetti et al. (1990) e Korndörfer et al. (1995) e discordando dos resultados obtidos por Britto et al (1971), Pereira et al. (1973); Decaro et al. (1983) e Souza et al (1998) que verificaram acréscimos na produtividade da

Quadro 17. Dados de análises de produção de grãos, peso de cem grãos, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, diâmetro de sabugo em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.

Doses de Zn	Produção de grãos kg/ha	Peso de cem grãos g	Comprimento de espiga mm	Diâmetro de espiga mm	Diâmetro de sabugo mm
kg/ha					
0 kg/ha de B					
0	4.500	28	138	46	24 Bb
2	5.236	33	154	50	25 A
4	4.527	31	149	48	25 A
Média	4.755	31	147	48	24,9 B
1 kg/ha de B					
0	4.318	32	149	48	26 a
2	4.845	31	145	49	25
4	4.945	33	157	48	26
Média	4.703	32	150	48	25,9 A
2 kg/ha de B					
0	4.664	33	151	49	25 a
2	4.427	32	141	48	25
4	4.473	32	145	47	25
Média	4.521	32	146	48	25,3 AB
Médias das doses de Zn					
0	4.494	31	146	48	25
2	4.836	32	147	49	25
4	4.648	32	150	48	25
CV %	14	9	7	3	3

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

cultura em experimentos com zinco e Shukla & Mukhi (1979) que relataram um aumento de produção da ordem de 10 a 15% com a aplicação de 5 a 10 mg.dm⁻³ zinco ao solo.

Ritchey et al. (1986) observaram que em tratamentos que não receberam zinco a produtividade foi bem superior em anos subseqüentes ao ano em que foi montado o experimento, sugerindo que cultivo contínuo de milho provoca transformações no solo e disponibilize zinco para a cultura.

A calagem realizada não elevou o valor da saturação por bases para o nível desejado e este fato pode ter contribuído para a não ocorrência de diferenças entre os tratamentos com zinco, tratando-se da produção de grãos, pois para os níveis de saturação de bases alcançados os relatos da literatura indicam que não há influência sobre os teores de zinco no solo. De acordo com Thorne, 1957; Saeed & Fox (1979) e Machado & Pavan (1987), existe correlação negativa entre o pH e o zinco e neste trabalho os valores pH não apresenta variação expressiva, dificultando a avaliação dos efeitos sobre os teores de zinco presentes no solo nos diversos tratamentos.

Para os níveis de produção obtida, pode ser que os teores iniciais de boro e zinco presentes no solo tenham sido suficientes, lembrando que tanto os teores foliares de boro como o de zinco estão dentro da faixa estipulada para a cultura e que a aplicação de ambos ao solo não aumentou seus teores na planta e tampouco promoveu uma elevação de produção..

Foram analisados dados referentes aos componentes produtivos e dentre os itens analisados houve efeito da interação boro e zinco para diâmetro de sabugo (Quadro 17). Os dados do desdobramento para este parâmetro mostram que dentro de níveis 0 de boro, a aplicação de 2 ou 4 kg de zinco proporcionaram diferenças significativas em relação ao

tratamento que não recebeu zinco (Quadro 18). E também com nível 0 de zinco, o diâmetro de sabugo variou, apresentando diferenças significativas dos tratamentos com 1 e 2 kg/ha em relação ao tratamento sem boro.

Ainda se observa que a dose de 1 kg/ha de boro proporcionou maiores diâmetros de sabugo, diferindo significativamente dos tratamentos que não receberam boro.

Para os outros parâmetros avaliados não se verificou efeito da interação do boro e zinco para a cultura do milho. Não houve diferenças significativas dentro das doses de boro com relação a peso de cem grãos, não houve também diferenças para as doses de zinco, concordando com o resultado obtido por Decaro et al. (1983).

Com relação ao peso de sabugo, verificou-se que do mesmo modo que ocorreu com os resultados para o diâmetro de sabugo, houve uma interação significativa pela aplicação de boro e zinco (Quadro 18). Dentro dos tratamentos sem zinco ocorreu efeito do boro com as doses de 1 e 2 kg/ha de boro no solo E dentro dos tratamentos sem boro houve efeito do zinco nas doses de 2 e 4 kg/ha e nos tratamentos com 2 kg/ha de boro e 4 kg/ha de zinco os efeitos foram negativos.

Quadro 18. Dados de análises de número total de grãos por espiga, peso de palha sem sabugo, número de fileiras por espiga e peso de sabugo em função da aplicação de diferentes doses de boro e de zinco.

Doses de Zn	Número total de grãos por espiga	Peso de palha sem sabugo	Número de fileiras por espiga	Peso de sabugo
		g		g
kg/ha				
		0 kg/ha de B		
0	396	24	14	19 Bb
2	436	23	14	23 A
4	417	23	13	23 AB
Média	416	23	14	22 B
		1 kg/ha de B		
0	364	25	13	24 a
2	416	25	13	25
4	395	23	14	26
Média	392	24	13	25 A
		2 kg/ha de B		
0	379	27	14	25 Aa
2	471	26	14	24 A
4	392	25	13	23 B
Média	414	26	14	24 A
		Médias das doses de Zn		
0	380 b	25	14	23
2	441 a	25	14	24
4	401 ab	24	13	24
CV %	10	14	5	7

⁽¹⁾ Letras maiúsculas comparam doses de zinco dentro de cada dose de boro e médias de boro. Letras minúsculas comparam doses de boro dentro de cada dose de zinco e médias de zinco. Comparação pelo Teste de Tukey a 5 %.

7 CONCLUSÕES

- os teores foliares de boro e zinco não variaram em função dos tratamentos nas épocas em que as folhas foram analisadas e pelas concentrações obtidas, nas análises tanto o boro como o zinco, não foram elementos limitantes na nutrição mineral das plantas;
- houve interação entre boro e zinco para a matéria seca das folhas e a matéria seca total das plantas nas análises efetuadas aos noventa dias, entretanto, não se traduziu em ganhos de produção para a cultura;
- não houve efeito da interação do boro com o zinco ou mesmo do efeito individual para a produção de grãos com as quantidades aplicadas, sendo que as produtividades atingidas pelos tratamentos serem possivelmente decorrentes das condições gerais de fertilidade do solo do campo experimental;

- os teores iniciais de boro e zinco no solo foram suficientes para a produtividade atingidas, apesar de teores mais elevados de zinco no solo quando da análise aos sessenta dias;
- os resultados obtidos neste experimento para área foliar, quando da análise neste período de desenvolvimento, mostraram o efeito da aplicação de 2 kg/ha de boro quando comparado com os outros tratamentos e não mostraram o efeito do zinco sobre a área foliar.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

AGARWALA, P. N., SHARMA, C., CHATTERJEE, C., SHARMA, C.P. Development and enzymatic changes during pollen development in boron deficient maize plants. *J. Plant Nutr.*, v. 3, n.1/4, p. 329-36, 1981.

ALLEONI, L.R.F., CAMARGO, O.A. Boron adsorption in soils from state of São Paulo, Brazil. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v. 35, p. 413-21, 2000.

AMARAL, R. D., BARROS, N.F., COSTA, L.M., FONTES, M.P.F. Efeito de um resíduo da indústria de zinco sobre a química de amostras de solo e plantas de milho. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* v. 20, n. 433-40, 1996.

ANDRADE, A.G., HAAG, H.P., OLIVEIRA, G.D., SARRUGE, J.R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) I – acumulação de macronutrientes. *An. Esc. Super. Agric. - “Luiz de Queiróz” - Univ. São Paulo*, v. 32, p. 115-49, 1975a.

ANDRADE, A.G., HAAG, H.P., OLIVEIRA, G.D., SARRUGE, J.R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) II- acumulação de micronutrientes. *An. Esc. Super. Agric. - “Luiz de Queiróz” - Univ. São Paulo*, v. 32, p. 151-71, 1975b.

BANZATTO, D.A., KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: Funep, 1989. 247 p.

BARBOSA FILHO, M.P., DYNIA, J.F., ZIMMERMANN, F.J.P. Resposta do arroz de sequeiro ao zinco e ao cobre com efeito residual para o milho. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.14, p. 333-8, 1990.

BENINCASA, M. M.P. *Análise de crescimento (noções básicas)*. Jaboticabal: Funep, 1988. 42 p.

BINGHAM, F.T., PAGE, A.L., COLEMAN, N.T., FLACH, K. Boron adsorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v. 35, p. 546, 50, 1971.

- BRITTO, D.P.P.S., CASTRO, A.F., MENDES, W., JACCOUD, A., RAMOS, D.P., COSTA, F.A. Estudo das reações a micronutrientes em Latossolo Vermelho-Escuro sob vegetação de cerrado. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, Ser. Agron., v. 6, p. 17-22, 1971.
- BROWN, P.H., HU, H. Boron mobility and consequent management in different crops. *Better Crops Plant Food*, v. 82, n. 2, p. 28-32, 1998.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T., CANTARELLA, H. *Cultura do milho; fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 64-145.
- BUZETTI, S., RODERO, A. R.Q., LOURENÇO, J.R., ARF, O. Doses de zinco na cultura do milho. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 2, Botucatu, 1990. *Resumos...* Botucatu: Universidade Estadual Paulista. Pró-Reitoria de Graduação, 1990. p. 150.
- BUZETTI, S., MURAOKA, T., SÁ, M.E., ARF, O. Estabelecimento de nível crítico do zinco no solo para a cultura do milho utilizando-se de três extratores químicos. *Cult. Agron.*, v. 2, n.1, p. 27-47, 1993.
- CAIRES, E.F. ROSOLEM, C.A. Efeito da calagem, cobalto e molibdênio sobre a concentração de clorofila nas folhas de amendoim. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 23, p. 79-84, 1999.

- CAMARGO, O.A. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. (Coord.) *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato, 1991. p. 243-72.
- CAMARGO, O.A., MONIZ, A.C., JORGE, J.A., VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física do Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas: Instituto Agronômico, n. 106. 94 p. 1986.
- CAMARGO, O.A., CASTRO, O.M., VIEIRA, S.R., QUAGGIO, J.A. Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um latossolo e um podzólico com a calagem. *Sci. Agri.*, v. 54, n.1 /2, p. 1-8, 1997.
- CATANI, R.A., ALCARDE, J.C., KROLL, F.M. A adsorção de boro pelo solo. *An. Esc. Super. Agri – Luis de Queiróz – Univ. São Paulo*, v.28, p. 189-98, 1971.
- CLARK, R.B. Mineral element concentrations in corn leaves by position on the plant and the age. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v. 6, n. 4, 439-50, 1975.
- COUTO, C., NOVAIS, R.F., TEIXEIRA, J.L., BARROS, N.F., NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco e no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 16, p. 79-87, 1992.

CRUZ, M.C.P., NAKAMURA, A.M., FERREIRA, M.E. Adsorção de boro pelo solo: efeito da concentração e do pH. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.22, p. 621-6, 1987.

DANTAS, J.P. Micronutrientes no solo - boro. In: FERREIRA, M.E, CRUZ, M.C.P. (Coord.) *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato, 1991. p. 113-30.

DECARO, S.T., VITTI, G.C., FORNASIERI FILHO, D., MELO, W.J. Efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays* L.). *Rev. Agric.*, v. 58, p. 25-36, 1983.

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

DELL, B. HUANG, L. Physiological response of plants to low boron. *Plant Soil*, v. 193, p. 103-20, 1997.

DE-POLLI, H., FORESTIERI, E.F., ALMEIDA, D.L., SOUZA, R.L.P. Adubação e crescimento do milho oriundo de experimento de campo de longa duração. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 16, p. 343-8, 1992.

DIBB, D.W., FIXEN, P.E., MURPHY, L.S. Balanced fertilization with particular reference to phosphates: interactions of phosphorus with other inputs and management practices. *Fertil. Res.*, v. 26, p. 29-52, 1990.

DWIVEDI, B.S., MUNNA RAM, B.P., SINGH, M., PRASAD, R.N. Effect of liming on boron nutrition of pea (*Pisum sativum* L.) and corn (*Zea mays* L.) grown in sequence in na acid Alfisol. *Fertil. Res.*, v. 31, p. 257-62, 1992.

FAGERIA, N.K., BALIGAR, V.C. Response of common bean, upland rice, corn, wheat, and soybean to soil fertility of na oxisol. *J. Plant Nutr.*, v. 20, 1279-89, 1997.

FORESTIERI, E.F., DE-POLLI, H. Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e da mucuna preta num podzólico vermelho amarelo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.14, p. 167-72, 1990.

FURLANI, P.R., HIROCE, R., BATAGLIA, O.C. Acúmulo de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. *Bragantia*, v.36, n.22, p. 223-9, 1977.

FURLANI, A.M.C., FURLANI, P.R. Resposta de cultivares de milho a zinco em solução nutritiva. *Bragantia*, v. 55, n. 2, p. 365-9, 1996.

GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz, milho, e soja em solo de cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 8, p. 811-6, 1984.

- GALRÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo de milho num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.18, p. 229-33, 1994.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em latossolo vermelho amarelo, fase cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 19, p. 255-60, 1995.
- GALRÃO, E.Z., MESQUITA FILHO, M.V. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 5, p. 167-70, 1981.
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. *Plant Soil*, v. 193, p. 35-48, 1997.
- GUPTA, U.C. Deficiency, sufficiency and toxicity levels of boron in crops. In: GUPTA, U.C.(Ed.). *Boron and its role in crop production*. Boca Raton: CRC, 1993. p. 147-55.
- GUPTA, U.C., JAME, Y.W., CAMPBELL, C.A., LEISHON, A.J. NICHOLAICHUK, W. Boron toxicity and deficiency: a review. *Can. J. Soil Sci.*, v. 65, p. 381-409, 1985.
- HOROWITZ, A., DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV. Zinco na zona litoral-mata. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.11, p. 27-35, 1976.
- IGUE, K., BLANCO, J.G., ANDRADE SOBRINHO, J. Influência do zinco na produção do milho. *Bragantia*, v. 21, n. 16, 263-9. 1962.

- KARLEN, D.L., FLANERY, R.L., SADLER, E.J. Nutrient and dry matter accumulation rates for high yielding maize. *J. Plant Nutr.*, v. 10, n. 9/16, 1409-17, 1987.
- KORNDÖRFER, G.H., EIMORI, I.E., TELLECHEA, M.C.R. Efeito de técnicas de adição do zinco a fertilizantes granulados na produção de matéria seca do milho. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 11, p. 329-32, 1987.
- KORNDÖRFER, G. H., ALCANTARA, C.B. HOROWITZ, N., LANA, R.M.Q. Formas de adição zinco e seu efeito sobre a produção de milho. *Sci. Agric.*, v. 52, p. 555-60, 1995.
- LEITE, J.P., SKOGLEY, E.O. Retention and leaching of copper and zinc in "Tabuleiro" soils as influenced by nutrient carrier. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.12, p. 27-34, 1977.
- LOPES, A.S. *Solos sob cerrado, características, propriedades e manejo*. Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa.1983. 192 p.
- MACHADO, P. L. O., PAVAN, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. *Rev. Bras. Cienc. Solo*. v. 11, p. 253-6, 1987.
- MALAVOLTA, E. *Manual de Química Agrícola. adubos e adubações*. Agronômica Ceres: São Paulo, 1976. 528 p.

- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- MIOLA, G. R., TEDESCO, M. J., BISSANI, C.A., GIANELLO, C., CAMARGO, F. A. O. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para a cultura do milho. *Pesqui. Agropecu. Bras.* v. 34, n. 5, p. 813-9, 1999.
- MOZAFAR, A. Effect of boron on ear formation and yield components of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. *J. Plant Nutr.* v.10, n. 3, p. 319-32, 1987.
- OFFIAH, O.O., AXLEY, J.H. Soil testing for boron on acid soils. In: GUPTA, U.C.(Ed.). *Boron and its role in crop production*. Boca Raton: CRC, 1993. p.105-23.
- OKAZAKI, E., CHAO, T.T. Boron adsorption and desorption by some hawaiian soils. *Soil Sci.*, v. 105, p. 255-9, 1968.
- OLIVEIRA, J.B., PRADO, H. Levantamento pedológico semidetalhado do estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos. II memorial descritivo. *Bol. Tec. Inst. Agron.* (Campinas), n. 98, p. 1-188, 1984.
- OLIVEIRA, M.F.G., NOVAIS, R.F., NEVES, J.C.L., ALVES, V.M.C., VASCONCELLOS, C.A. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 23, p. 609-615, 1999.

PECK, T.R., WALKER, W.M., BOONE, L.V. Relationship between corn (*Zea mays* L.) and leaf levels of ten elements. *Agron. J.*, v. 61, p. 299-301, 1969.

PEREIRA, J., VIEIRA, I.F., MORAES, A. E., RÊGO, A.S. Níveis de sulfato de zinco em milho (*Zea mays* L.) em solos de campo de cerrado. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v. 8, p. 187-91, 1973.

RAIJ, B.V., QUAGGIO, J.A. Método de análise para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983, 31 p. (Boletim Técnico)

RAIJ, B.V., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas, Instituto Agrônomo-Fundação IAC, 1996. 2. ed. 285 p.

RESENDE, G.M., SILVA, G.L., SILVA, G.L., PAIVA, L.E., DIAS, P.F., CARVALHO, J.G. Resposta do milho (*Zea mays* L.) a doses de nitrogênio e potássio em solo da região de Lavras- MG. III. Micronutrientes na parte aérea. *Cienc. Agrotec.*, v. 21, n. 1, p. 71-6, 1997.

RITCHEY, K. D.M., COX, F.R., GALRÃO, E.Z., YOST, S.R. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em latossolo vermelho-escuro argiloso. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v. 21, p. 215-25, 1986.

- SAEED, M., FOX, R.L. Influence of phosphate fertilization on zinc adsorption by tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 43, p. 683-6, 1979.
- SHUKLA, U.C., MUKHI, A.K. Sodium, potassium and zinc relationship in corn. *Agron. J.* v.71, p. 235-7, 1979.
- SINGH, H., SHARMA, K.N., ARORA, B.S. Influence of continuous fertilization to a maize-wheat system on the changes in soil fertility. *Fertil. Res.*, v. 40, p. 7-19, 1995.
- SOUZA, E.A., SANTIAGO, G., OLIVEIRA, L.C.L, COUTINHO, E.L.M, LIMA, L.A. Resposta de milho (*Zea mays* L.) à adubação com fósforo e zinco. *Científica*, v. 13 n.1/2, p. 39-49, 1985.
- SOUZA, E.A., FERREIRA, M.E. Micronutrientes no solo: zinco. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. (Coord.) *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 1991. p. 219-42.
- SOUZA, E.C.A., COUTINHO, E.L.M., NATALE, W., BARBOSA, J.C. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. *Pesqui. Agropecu. Bras*, v. 33, p. 1998.
- STUKENHOLTZ, D.D., OLSEN, R.J., GOGAN, G., OLSON, R.A. On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v. 30, p. 759-63, 1966.

- SUMNER, M.E. Interpretation of nutrient ratios in plant tissue. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.*, v. 9, p. 335-45, 1978.
- TERMAN, G.L., ALLEN, S.E. Accretion and dilution of nutrients in young corn, as affected by yield response to nitrogen, phosphorus, and potassium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v. 38, n. 3, p. 455-60, 1974.
- THORNE, N. Zinc deficiency and its control. *Adv. Agron.*, v.9, p. 31-61, 1957
- TOUCHTON, J.T., BOSWELL, F.C. Boron application for corn grown on selected southeastern soils. *Agron. J.*, v. 67, n.2, p. 197-200, 1975.
- VALADARES, J.M.A.S., CATANI, R.A. Zinco em solos do Estado de São Paulo. Zinco total. *Bragantia*, v.4, p. 133-9, 1975.
- VALLADARES, G.S., PEREIRA, M.G., SOUZA, J.M.P.F., PÉREZ, D.V., ANJOS, L.H.C. Disponibilidade de boro e correlação com propriedades dos solos do estado do Rio de Janeiro. *Pesqui. Agropecu. Bras*, Brasília, v. 34, p. 493-8, 1999.
- VILELA, E.F., BÜLL, L.T. Avaliação do crescimento de plantas de milho em função de doses de potássio e estresse hídrico. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.23, p. 281-9, 1999.

WEIRICH NETO, P.H., CAIRES, E.F., JUSTINO, A., DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. *Cienc. Rural*, v. 30, n. 2, p. 257-61, 2000.

WOODRUFF, J.R., MOORE, F.W., MUSEN, H.L. Potassium, boron, nitrogen, and lime effects on corn yield and earleaf nutrient concentrations. *Agron. J.*, v. 79, p. 520-4, 1987.