

Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de boro e de zinco no solo

Nestor Jamami¹, Leonardo Theodoro Büll^{1*}, Juliano Corulli Corrêa¹ e João Domingos Rodrigues²

¹Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Fazenda Lageado, Cx. Postal 237, 18603-970, Botucatu, São Paulo, Brasil. ²Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Cx. Postal 510, 18618-000, Botucatu, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: bull@fca.unesp.br

RESUMO. O presente trabalho foi conduzido em Latossolo Vermelho amarelo sob condições de campo, com milho híbrido AG 1043, utilizando-se 3 doses de boro (0, 1 e 2 kg ha⁻¹) e 3 doses de zinco (0, 2 e 4 kg ha⁻¹). Foram feitas avaliações aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do conteúdo foliar de nutrientes, características químicas do solo aos 60 DAE e rendimento de grãos. Os resultados indicaram que a aplicação de boro e de zinco não resultou em elevação dos teores foliares desses nutrientes, nem em ganhos de produtividade, sendo os teores iniciais de B e Zn do solo suficientes para a produtividade atingida.

Palavras-chave: boro, zinco, teores foliares, produção de grãos, *Zea mays* L.

ABSTRACT. Corn (*Zea mays* L.) culture response to boron and zinc soil application. The present work was carried out on Oxisol under field conditions, with hybrid corn (AG 1043), using three doses of boron (0, 1 and 2 kg/ha) and three doses of zinc (0, 2 and 4 kg/ha). On the thirtieth, sixtieth and ninetieth days of emergency, chemical analysis was performed to verify the content of nutrients in the leaves and also analysis to verify chemical characteristics in the soil in the sixtieth day after emergency. The results of the application of boron and zinc showed that there was an increase neither in the content of both leaves' nutrients, nor in productivity, being the initial content of boron and zinc in the soil before the experiment enough to the yield reached.

Key words: boron, zinc, leaf content, yield, *Zea mays* L.

Introdução

Vários fatores contribuem para a baixa produtividade da cultura de milho, entre os quais podem-se citar aspectos relacionados à nutrição mineral, na qual se insere a adubação com micronutrientes, tais como boro e zinco, cujas deficiências podem limitar a produtividade.

As deficiências nutricionais de micronutrientes mais frequentes, na cultura do milho, estão relacionadas ao B e ao Zn. A baixa fertilidade de alguns solos, a exportação pelas colheitas, o uso crescente de calcário e de adubos fosfatados são fatores que contribuem para a maior insolubilização destes micronutrientes (Bataglia e Rajj, 1989).

Diversos autores relacionam a carência do boro na planta às características do solo que limitam sua disponibilidade. Bingham *et al.* (1971) e Cruz *et al.* (1987) observaram que o aumento de pH provoca aumento da adsorção de boro. Offiah e Axley (1993) relataram que a matéria orgânica é capaz de adsorver

o boro no solo, afetando a sua disponibilidade às plantas.

Segundo Gupta (1993), a concentração de boro nos tecidos das plantas pode ser relacionada a diversos fatores que incluem variação genotípica, estágio de desenvolvimento e fatores ambientais. A deficiência de boro é mais importante para o desenvolvimento reprodutivo que para o crescimento vegetativo (Dell e Huang, 1997). Em condições de severas deficiências de boro, ocorre má formação de espigas e também redução na produção do milho (Mozafar, 1987).

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 que ocorre principalmente em solos sob vegetação de cerrado (Bull, 1993). O zinco é essencial para diferentes sistemas enzimáticos da planta, controlando a produção de importantes reguladores de crescimento. A sua função básica está relacionada ao metabolismo de carboidratos,

proteínas, fosfatos e também à formação de auxinas, RNA (ácido desoxiribonucleico) e ribossomos (Thorne, 1957; Dechen *et al.*, 1991).

Da mesma forma que ocorre para o boro, a disponibilidade de zinco no solo depende das características químicas e físicas do solo e das práticas de calagem e de adubação com fósforo. A adição de fósforo aumenta a adsorção de zinco, reduzindo sua solubilidade. A adsorção também depende da mineralogia, pH e CTC (capacidade de troca catiônica) do solo, havendo maior adsorção em solos argilosos que em arenosos (Thorne, 1957; Oliveira *et al.*, 1999).

Andreotti *et al.* (2001) relataram que a aplicação de zinco incrementou os teores do elemento na matéria seca, enquanto que Ferreira *et al.* (2001) verificaram que a aplicação de zinco resultou em aumento do seu teor nos grãos. Souza *et al.* (1998) trabalhando com a cultura do milho sob condições de campo, em um Latossolo Vermelho escuro, verificaram que a aplicação de zinco na forma de sulfato elevou os teores foliares e a produtividade de grãos.

Este trabalho teve por objetivo avaliar respostas da cultura do milho à adição de boro e de zinco no solo, bem como a interação entre os micronutrientes.

Material e métodos

Este trabalho foi realizado em condições de campo no município de São Carlos, Estado de São Paulo, latitude 21° 59' S e longitude 47° 52' W, em área de Latossolo Vermelho amarelo, textura arenosa, que apresenta as seguintes características físicas: 60% de areia, 15% de silte e 25% de argila. Análises químicas do solo antes da instalação do experimento, para camada de 0-20 cm: pH em CaCl₂ = 4,4; Matéria Orgânica = 11 g dm⁻³; P resina = 4 mg dm⁻³; K = 0,6 mmol_c dm⁻³, Ca = 4 mmol_c dm⁻³, Mg = 2 mmol_c dm⁻³, H+Al = 21 mmol_c dm⁻³, CTC = 37 mmol_c dm⁻³ e V = 17 %, seguindo metodologia de Raij e Quaggio (1983). A análise de micronutrientes, com base em Camargo *et al.* (1986) apresentou teores de 0,07 mg dm⁻³ de B, 1,5 mg dm⁻³ de Cu, 45 mg dm⁻³ de Fe, 1,5 mg dm⁻³ de Mn e 0,3 mg dm⁻³ de Zn.

A calagem foi realizada visando elevar a saturação por bases a 70%, aplicando-se calcário dolomítico em toda área, com 95% de PRNT, 390 g kg⁻¹ de CaO e 120 g kg⁻¹ de MgO. O calcário foi incorporado metade antes da aração e outra metade antes da gradagem, 30 dias antes da semeadura. A adubação de semeadura constou da aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅,

como superfosfato triplo e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio. A adubação de cobertura foi realizada de forma manual, com sulfato de amônio aos 30 DAE na dose de 50 kg ha⁻¹ de N e com cloreto de potássio na dose de 20 kg ha⁻¹ de K₂O. Aos 50 DAE, realizou-se a segunda adubação aplicando 20 kg ha⁻¹ de N. As fontes de boro e de zinco foram misturadas com os adubos na adubação de plantio e aplicada manualmente por ocasião da semeadura. A semeadura foi realizada manualmente em 07 de dezembro de 1999, em sistema de preparo convencional, em área na qual foram realizados dois anos de pastagem com *Brachiaria sp.*, utilizado-se o híbrido comercial AG 1043, no espaçamento de 0,7 m entre linha e densidade de 7 sementes por metro. Durante o período de condução da lavoura, observou-se o acúmulo hídrico de 600 mm.

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 3 com 4 repetições, sendo 3 doses de zinco (0, 2 e 4 kg ha⁻¹) na forma de sulfato de zinco (230 g kg⁻¹ de Zn) e 3 doses de boro (0, 1 e 2 kg ha⁻¹) na forma de ácido bórico (170 g kg⁻¹ de B).

Cada parcela experimental era constituída por 7 linhas de 8 m, considerando-se como área útil as 5 linhas internas, descartando 1 m de cada extremidade das linhas. O espaçamento foi de 0,90 m x 0,20 m para uma população de 55.000 plantas por hectare. Foram realizados tratos culturais durante o ciclo da cultura. Para manter a área livre de infestação de plantas daninhas, foram realizadas capinas manuais e, no caso da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), utilizou-se o controle químico. A colheita foi realizada manualmente em 20 de maio de 2000.

Aos 60 DAE, foram feitas avaliações para teores de boro e de zinco no solo, amostrando-se 10 pontos por parcela na profundidade de 0,20 m, para formação de uma amostra composta, com trados do tipo sonda. Na análise de Zn no solo, seguiu-se a metodologia proposta por Camargo *et al.* (1986), realizada por DTPA e, na análise de B no solo, foi empregada a metodologia de Abreu *et al.* (1998) em microondas. Na avaliação para altura de planta, foi adotada a distância entre o solo e o ponto mais alto da planta; já para diâmetro de colmo, os resultados foram medidos na região abaixo da inserção do primeiro nó; também foram analisadas as variáveis área foliar, determinadas por medidor de área foliar, teores foliares de nutrientes, amostrando-se 5 plantas por parcela, coletando-se amostras de folhas fisiologicamente maduras aos 30 e 60 DAE e a folha oposta à espiga aos 90 DAE, retirando-se o terço médio de cada folha e matéria seca das folhas

também aos 30, 60 e 90 DAE. A matéria seca das folhas e matéria seca total foram determinadas conforme o método descrito por Benincasa (1977). A partir dos dados biométricos obtidos foram calculados os seguintes parâmetros: Área foliar específica (AFE) = quociente entre a área foliar e a matéria seca das mesmas em $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$; Razão de peso foliar (RPF) = quociente entre a massa seca das folhas e a massa seca total; Razão da área foliar (RAF) = quociente entre a área foliar e a massa seca total e expresso em $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$. Também foram avaliados os seguintes parâmetros: comprimento médio da espiga, diâmetro médio da espiga, diâmetro do sabugo, peso de sabugo (g), número de grãos por espiga, número de fileiras por espiga e produção de grãos.

As análises estatísticas foram executadas através do programa de computador ESTAT, segundo Banzato e Kronka (1989), sendo a análise individualizada para cada época, pelo teste de Tukey a 1% e 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

O aumento das doses de zinco proporcionou elevação nos teores no solo, sendo que a dose de 2 kg ha^{-1} condiciona teores considerados médios, enquanto a dose de 4 kg ha^{-1} resultou em teores com valores considerados altos para culturas anuais (Tabela 1), quando comparados com valores de trabalhos realizados por Buzetti *et al.* (1993), que estabeleceram um nível crítico de 0,8 mg dm^{-3} e Galvão (1995), que estabeleceu um nível crítico de 0,4 mg dm^{-3} , utilizando como extrator o DTPA.

A aplicação de boro não proporcionou diferença de teores no solo, em razão de esse elemento ser fracamente adsorvido aos colóides, fato que favorece sua lixiviação no solo. Outra hipótese para o não-aumento no teor de B no solo foi consequência de as doses aplicadas terem sido pequenas para esse tipo de solo. A pequena contribuição de boro no solo em toda a área experimental foi devido provavelmente à contribuição da matéria orgânica. Os valores médios encontrados estão de acordo com Touchton e Boswell (1975), que consideram a variação de 0,11 a 0,20 mg dm^{-3} , dentro dos limites para a cultura do milho. Entretanto, para o estado de São Paulo, Raij *et al.* (1996) consideram valores de 0 a 0,20 mg dm^{-3} de solo baixos.

Não houve diferenças nos teores foliares de boro (Figura 1) entre os tratamentos, em nenhuma época analisada, embora os teores tenham sido menores no segundo estágio de desenvolvimento, o

que pode ser justificado pelo efeito de diluição. A pequena absorção de boro pela planta de milho é razão de não ter ocorrido aumento nos níveis de B no solo, embora tenham sido aplicadas doses crescentes desse nutriente (Tabela 1). A curva obtida foi diferente da descrita por Gupta (1993), segunda o qual a concentração aumenta com a idade da planta e decresce a seguir. Provavelmente os níveis iniciais de boro no solo tenham sido suficientes para alcançar os teores normais na planta de milho, valores obtidos pela folha fisiologicamente madura aos 30 e 60 DAE e pela folha diagnose aos 90 DAE. Para os teores de boro fica difícil afirmar se são ideais ou não para a cultura, pois segundo Touchton e Boswell (1975), existem diversos relatos de nível crítico para boro, com variação bastante ampla, entre 4 e 100 mg kg^{-1} .

Tabela 1. Teores médios de boro e de zinco no solo, em função de doses aplicadas aos 60 dias após a emergência do milho.

Doses de Zn Kg ha^{-1}	B (microondas) -----mg dm^{-3} -----	Zn (dtpa)
	0 kg ha^{-1} de boro	
0	0,10	0,4
2	0,09	1,2
4	0,11	1,8
	1 kg ha^{-1} de boro	
0	0,11	0,4
2	0,12	1,7
4	0,14	1,8
	2 kg ha^{-1} de boro	
0	0,11	0,4
2	0,14	1,1
4	0,14	2,2

Em relação aos teores foliares de zinco, os dados obtidos foram menores no segundo período analisado, em relação ao primeiro e terceiro períodos, apresentando diferenças significativas entre as épocas amostradas (Figura 1). Esses resultados corroboram os de Andrade *et al.* (1975), demonstrando que a maior concentração de zinco no milho ocorre no início do desenvolvimento da cultura. A maior absorção de Zn no início da cultura deve-se a esse elemento fazer parte de sistemas enzimáticos, regulando o metabolismo de carboidratos, fosfatos e proteínas além da formação de auxinas, RNA e ribossomos, fatores essenciais na regulação do crescimento da planta (Dechen *et al.*, 1991). No entanto, de acordo com Couto *et al.* (1992), o nível crítico de zinco na parte aérea da planta de milho varia de acordo com o tipo de solo trabalhado, levando-se em consideração suas características físicas e a constituição química.

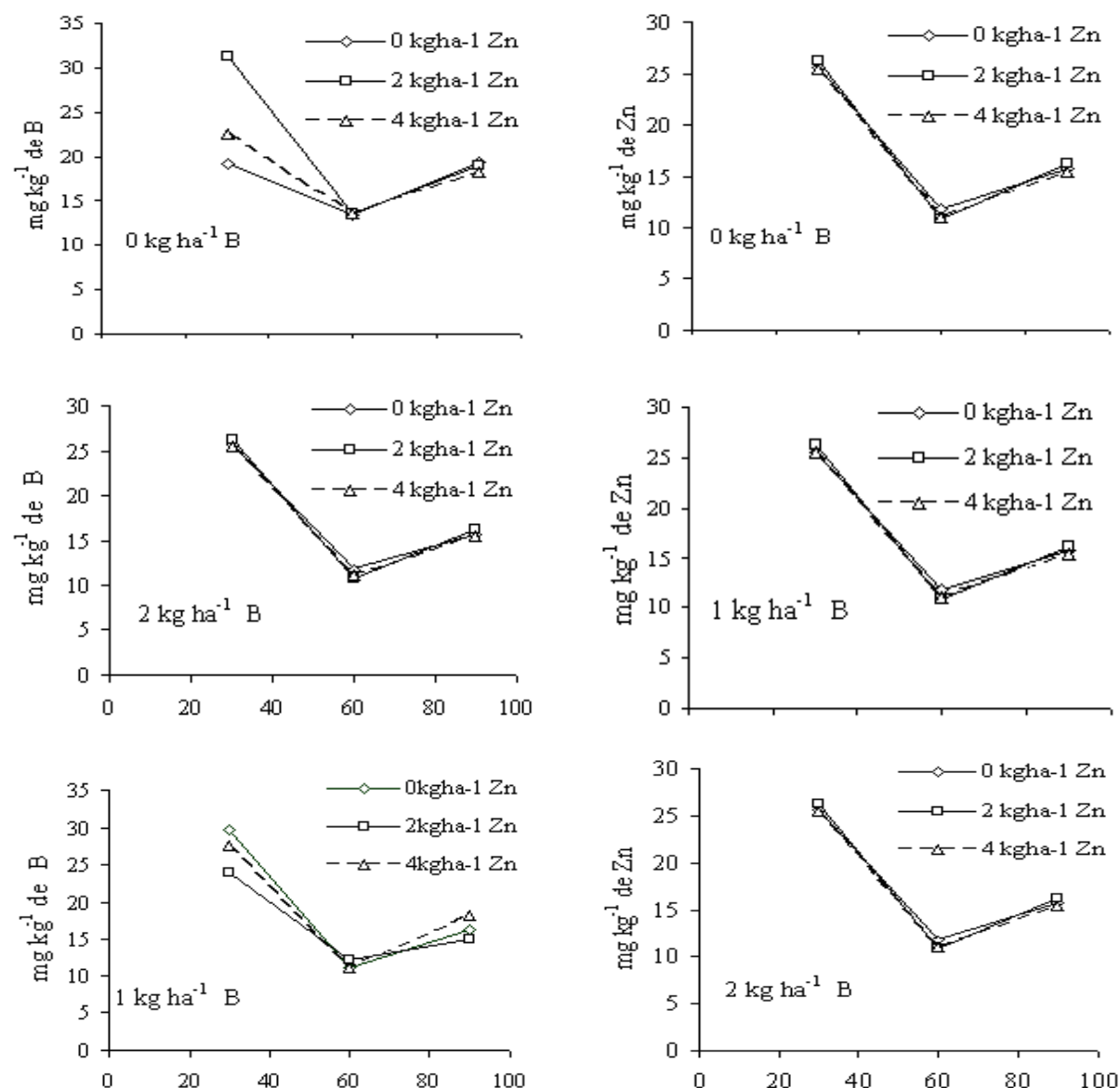


Figura 1. Teores foliares de boro e de zinco em folhas diagnose de milho nas épocas 30, 60 e 90 DAE, em função de doses desses micronutrientes aplicadas ao solo.

As variáveis altura da planta e diâmetro de colmo não apresentaram diferenças (Tabela 2), nas épocas analisadas, mesmo considerando que o zinco está diretamente ligado ao desenvolvimento da planta, controlando a produção de importantes reguladores de crescimento (Thorne, 1957; Dechen, 1991), provavelmente os teores de Zn disponíveis no solo tenham minimizado possíveis efeitos da sua aplicação.

De acordo com o Tabela 2, houve interação com resposta negativa apenas entre as doses de 2 kg ha⁻¹ de boro e 4 kg ha⁻¹ de zinco, resultando em menor peso para matéria seca total da planta aos 90 DAE.

Essa resposta confirma a hipótese que as maiores doses de boro e de zinco aplicados no solo prejudicam a produção de carboidratos pela fotossíntese, que é o principal componente da matéria seca total da planta, propiciando menor desenvolvimento fisiológico da planta, levando ao menor crescimento desse tipo de híbrido, nessas condições de trabalho, permitindo inferir que não se devem aplicar doses muito altas desses dois micronutrientes juntas.

O aumento das doses de zinco favoreceu a matéria seca da planta na ausência e na presença de 1 kg de B dm⁻³ (Tabela 2). Esses resultados, utilizando-

se 4 kg ha⁻¹ de Zn, aos 90 DAE, concordam com os obtidos por Barbosa Filho *et al.* (1990) e por.

Tabela 2. Efeito de boro e de zinco sobre o diâmetro de colmo, altura de plantas e matéria seca total em razão de três épocas de amostragem.

Diâmetro de colmo mm					Altura de plantas mm				Matéria seca total g planta ⁻¹			
Doses (kg ha ⁻¹)	B kg ha ⁻¹				B kg ha ⁻¹				B kg ha ⁻¹			
30 DAE												
Zn	0	1	2	Méd	0	1	2	Méd	0	1	2	Méd
0	11	12	12	12	140	144	150	144	9	11	12	11
2	11	12	13	12	139	138	158	145	9	8	11	9
4	11	11	12	11	143	150	150	148	10	8	9	9
Média	11	11	12		140	144	153		9	9	10	
60 DAE												
	0	1	2		0	1	2		0	1	2	
0	20	19	20	19	173	183	185	180	99	131	129	120
2	19	19	20	19	182	180	180	181	128	130	151	136
4	19	20	20	20	180	180	175	178	112	132	124	123
Média	19	19	20		178	181	180		113b	131ab	135a	
90 DAE												
	0	1	2		0	1	2		0	1	2	
0	19	21	20	20	202	190	194	195	122B	117Bb	141Aa	143
2	21	21	21	21	201	202	193	199	149Ba	114Bb	124A	129
4	20	21	19	20	203	191	192	195	162Aa	159Aa	107B	127
Média	20b	21a	20b		202	194	193		144	130	124	

Letras maiúsculas comparam doses de zinco na coluna e letras minúsculas comparam doses de boro na linha pelo Teste Tukey a 5%.

Couto *et al.* (1992), os quais relataram aumento na produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho com o aumento das doses de zinco. Houve também maior aumento da matéria seca da planta de milho com o aumento das doses de boro na ausência de aplicação de zinco.

A massa de matéria seca das folhas de milho foi incrementada com a aplicação de 2 kg de Zn ha⁻¹ no solo na ausência do boro e aumento também dessa variável na dose de 4 kg de Zn ha⁻¹ no solo na presença de 1 kg de B ha⁻¹. Já na última dose B, não houve resposta do Zn ao favorecimento da matéria seca de folha (Tabela 3). A resposta do B à matéria seca de folha aconteceu na última dose de Zn (4 kg ha⁻¹), sendo essa variável favorecida até à dose de 1 kg de B ha⁻¹, em razão da aplicação de Zn. Entretanto, entre as doses 2 kg de B ha⁻¹ e a dose de 4 kg de Zn ha⁻¹, pode-se verificar resposta negativa do micronutriente B, pois a cultura de interesse, no caso o milho, demonstrou redução à matéria seca de folha. Portanto consegue-se aumento da matéria seca da folha de milho, aplicando-se até 4 kg de Zn ha⁻¹ e 1 kg de B ha⁻¹ para esse híbrido nessas condições.

As análises de solo aos 60 DAE mostraram que a aplicação de boro não resultou em elevação dos teores no solo (Tabela 1). Devido a isso, não se verificou grande variação de teores de boro na parte aérea,

explicando a não-ocorrência de efeitos dos tratamentos com boro sobre a produção de grãos neste experimento (Tabela 4), confirmando os resultados obtidos por Touchton e Boswell (1975) e Ritchey *et al.* (1986).

Para área foliar e área foliar específica, com relação à média dos resultados de B aos 90 DAE, verificou-se aumento de respostas em razão da adubação com 2 kg ha⁻¹ de boro (Tabela 3). Nesse período, os carboidratos são mobilizados para a parte reprodutiva e índices fisiológicos mais elevados poderiam indicar maior eficiência na fotossíntese e, conseqüentemente, haveria maior atividade fisiológica, resultando em maior produtividade.

Ocorreram algumas diferenças pela adubação com zinco e por boro em alguns componentes da produção avaliados (Tabela 4), como efeito de zinco sobre número total de grãos por espiga e efeito de boro sobre diâmetro e peso de espiga, além de interações entre boro e zinco. Entretanto, em outros parâmetros, não houve efeito conjunto ou individual dos elementos estudados e não sendo possível obter maiores conclusões.

Os resultados obtidos para a produção de grãos assemelham-se aos de Korndörfer *et al.* (1995) e discordam dos de Souza *et al.* (1998), os quais verificaram acréscimos na produtividade da cultura com aplicação de zinco. Não houve interação entre o boro e o zinco sobre a produção de milho, do mesmo modo que Peck *et al.* (1969) também não observaram efeito da interação entre níveis foliares de boro e de zinco sobre a produção de grãos.

Tabela 3. Efeito de boro e de zinco sobre a área foliar, matéria seca das folhas e área foliar específica em razão de três épocas de amostragem.

	Área foliar cm ² planta ⁻¹				Matéria seca das folhas g planta ⁻¹				Área foliar específica cm ² g ⁻¹			
Doses (kg ha ⁻¹)	B				B				B			
30 DAE												
Zn	0	1	2	Médi	0	1	2	Médi	0	1	2	Méd
0	748	890	1051	896	3,0	3,7	3,8	3,5	247	246	286	260
2	693	914	977	861	2,8	2,7	3,6	3,0	250	343	267	287
4	795	766	765	775	3,3	2,6	2,9	2,9	243	286	267	265
Média	745	857	931		3,0	3,0	3,4		247	292	273	
60 DAE												
	0	1	2	Méd	0	1	2	Méd	0	1	2	Méd
0	5068	5208	7299	5039	26	31	30	29	196	170	160	175
2	5565	5456	7031	5575	31	31	33	32	179	174	172	175
4	5534	5478	7831	5552	28	32	31	31	196	172	181	183
Média	5389	5381	7386		28	31	32		190	172	171	
90 DAE												
	0	1	2	Méd	0	1	2	Méd	0	1	2	Méd
0	5849	7299	12336	8495	33B	38AB	37	36B	167	198	332	232
2	7197	7031	8569	7599	42A	37B	36	38A	176	192	231	199
4	6347	7831	9271	7816	43Aa	44Aa	34b	41A	148	178	270	199
Média	6494	7386b	10059a		40	40	36		163b	189b	278a	

Letras maiúsculas comparam doses de zinco na coluna e letras minúsculas comparam doses de boro na linha pelo Teste Tukey a 5%.

Tabela 4. Efeito de boro e de zinco sobre o n° de grãos por espiga, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, n° de fileiras por espiga, diâmetro do sabugo e produção de grãos.

Doses kg ha ⁻¹	N.º de grão por espiga				Comprimento da espiga mm				Diâmetro da espiga mm			
	B kg ha ⁻¹				B kg ha ⁻¹				B kg ha ⁻¹			
	0	1	2	Méd	0	1	2	Méd	0	1	2	Média
Zn	396	364	379	380B	138	149	151	146	46	48	49	48
0	436	416	471	441A	154	145	141	147	50	49	48	49
2	417	395	392	401AB	149	157	145	150	48	48	47	48
4	416	392	414		147	150	146		48	48	48	
Média												
N.º de Fileira por espiga				Diâmetro do sabugo mm				Produção de grãos kg ha ⁻¹				
	0	1	2	Méd	0	1	2	Méd	0	1	2	Média
0	14	13	14	14	24B	26	25	25	4.500	4.318	4.662	4.494
2	14	14	14	14	25A	25	25	25	5.236	4.845	4.447	4.836
4	13	13	13	13	25A	26	25	25	4.527	4.945	4.473	4.648
Média	14	13	14		25b	26a	25b		4.755	4.703	4.521	

Letras maiúsculas comparam doses de zinco na coluna e letras minúsculas comparam doses de boro na linha pelo Teste Tukey a 5%.

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

Conclusão

Os teores foliares de boro e de zinco não variaram em função dos tratamentos, nas épocas em que as folhas foram analisadas. O boro e o zinco existentes no solo não foram limitantes na nutrição mineral das plantas;

Não houve efeito da interação do boro com o zinco ou mesmo do efeito individual para a produção de grãos com as quantidades aplicadas.

Os teores iniciais de boro e de zinco no solo foram suficientes para a produtividade atingida, apesar da elevação dos teores de zinco com os tratamentos efetuados.

Referências

- ABREU, C.A. *et al.* Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. *Plant Prod. Sci.*, Tokyo, v. 1, n. 2, p. 96-103, 1998.
- ANDRADE, A.G. *et al.* Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) II-acumulação de micronutrientes. *An. Esc. Super. Agric. - "Luiz de Queiroz"*, Universidade de São Paulo, Piracicaba, v. 32, p. 151-71, 1975.

ANDREOTTI, M. *et al.* Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 321-327, 2001.

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

BARBOSA FILHO, M.P. *et al.* Resposta do arroz de sequeiro ao zinco e ao cobre com efeito residual para o milho. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.14, p. 333-338, 1990.

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B.V. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 205-212, 1989.

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

BINGHAM, F.T. *et al.* Boron adsorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v. 35, p. 546, 50, 1971.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T., CANTARELLA, H. (Ed.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 64-145.

BUZETTI, S. *et al.* Estabelecimento de nível crítico do zinco no solo para a cultura do milho utilizando-se de três extratores químicos. *Cult. Agron.*, Ilha Solteira, v. 2, n. 1, p. 27-47, 1993.

CAMARGO, O.A. *et al.* Métodos de análise química, mineralógica e física do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas: Instituto Agrônomo, n. 106, 1986.

COUTO, C. *et al.* 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*, Campinas, v. 16, p. 79-87, 1992.

CRUZ, M.C.P. *et al.* Adsorção de boro pelo solo: efeito da concentração e do pH. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 22, p. 621-626, 1987.

DECHEN, A.R. *et al.* Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Coord.) *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fósforo, 1991, p. 65-78.

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

FERREIRA, A.C.B. *et al.* Características agrônomicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 58, p. 131-138, 2001.

GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em latossolo vermelho amarelo, fase cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 19, p. 255-60, 1995.

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.

KORNDÖRFER, G. H. *et al.* Formas de adição zinco e seu efeito sobre a produção de milho. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 52, p. 555-60, 1995.

- MOZAFAR, A. Effect of boron on ear formation and yield components of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. *J. Plant Nutr.*, New York, 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.
- OLIVEIRA, M.F.G. *et al.* Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 23, p. 609-615, 1999.
- PECK, T.R. *et al.* Relationship between corn (*Zea mays* L.) and leaf levels of ten elements. *Agron. J.*, Madison, v. 61, p. 299-301, 1969.
- RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. *Método de análise para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agronômico, 1983, (Boletim Técnico).
- RAIJ, B.V. *et al.* *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico-Fundação IAC, 1996.
- RITCHEY, K.D.M. *et al.* Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em latossolo vermelho-escuro argiloso. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 21, p. 215-25, 1986.
- SOUZA, E.C.A. *et al.* Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 33, p. 575-582, 1998.
- THORNE, N. Zinc deficiency and its control. *Adv. Agron.*, San Diego, v. 9, p. 31-61, 1957.
- TOUCHTON, J.T.; BOSWELL, F.C. Boron application for corn grown on selected southeastern soils. *Agron. J.*, Madison, v. 67, n. 2, p. 197-200, 1975.

Received on July 20, 2004.

Accepted on December 12, 2005.