

INFLUÊNCIA DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO NOS TEORES DE BORO DISPONÍVEL⁽¹⁾

G. B. FERREIRA⁽²⁾, R. L. F. FONTES⁽³⁾,
M. P. F. FONTES⁽³⁾, V. H. ALVAREZ V.⁽³⁾

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a utilização da água quente e CaCl_2 5 mmol L⁻¹ como extratores de B disponível, usando forno de microondas como fonte de aquecimento, e estudar a influência de algumas características do solo nos teores de B extraído. A dosagem de B nos extratos foi feita com azometina-H. Executou-se um experimento em casa de vegetação em fatorial completo 17 solos x 6 doses de B (0, 0,15, 0,30, 0,60, 0,90 e 1,50 mg dm⁻³), com três repetições, em blocos ao acaso, usando o milho como planta-teste. Os solos foram analisados por meio dos dois extratores e os teores de B e a produção de matéria seca da parte aérea foram medidos. Foram feitas análises de regressão e correlação para as diversas variáveis, trabalhando com os dados de todas as doses ou apenas com a dose zero. Verificou-se que os extratores revelaram capacidades semelhantes na determinação do B disponível; o CaCl_2 5 mmol L⁻¹ recuperou 8% a mais do B aplicado, em relação à água quente; a elevação dos teores de ferro livre, de argila e de matéria orgânica e dos valores de equivalente de umidade reduziram significativamente a taxa de recuperação do B aplicado, por ambos os extratores. Os teores de B no solo acima de 0,1 mg dm⁻³ (por CaCl_2 5 mmol L⁻¹) e de 7,8 mg kg⁻¹ na planta acarretaram decréscimo da produção de matéria seca.

Termos de indexação: análise de solo, disponibilidade de boro, extratores.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em junho de 2000 e aprovado em outubro de 2000.

⁽²⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa - UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: gilvan@solos.ufv.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, UFV. Bolsista CNPq.

SUMMARY: *INFLUENCE OF SOME SOIL CHARACTERISTICS ON THE AVAILABLE BORON*

The aim of this work was to study the extraction of available boron using hot water and CaCl_2 5 mmol L^{-1} , and a microwave oven as the heating device. Boron was determined using azomethine-H. The influence of some soil characteristics on the performance of the extractants, was also studied. Corn plants were grown in a greenhouse, in a completely randomized block design, using 17 soil types and 6 B rates (0.0, 0.15, 0.30, 0.60, 0.90 and 1.5 mg dm^{-3}) in a factorial with three replications. Plant dry weight and boron concentration in the aerial part of the plant were determined. There was a similar capacity of the extractants in determining B availability. The CaCl_2 solution recovered 8% more B than the hot water. Increasing the contents of free iron, clay, organic matter and the values of humidity equivalent of the soil decreased the recovering rate of B, for both extractants. Plant dry weight decreased as the B contents of the soil were above 0.1 mg dm^{-3} (CaCl_2 extraction) and as the contents of B in the plant were above 7.8 mg dm^{-3} .

Index terms: soil analysis, boron availability, extractants.

INTRODUÇÃO

O método de extração do B disponível com a água quente, proposto há 50 anos, ainda é o mais recomendável e é considerado padrão como método de extração para B (Raij & Bataglia, 1991), sendo usado com efetividade no Brasil. Entretanto, seu uso requer muito trabalho e exige vidraria com baixo teor de B, a qual é de alto custo e difícil obtenção, segundo Mahler et al. (1984). Esses autores apontam ainda limitações, tais como: o número de extrações e as dificuldades com o tempo de extração.

Considerando a superioridade da extração do B do solo com água quente em relação aos métodos ácidos, salinos e, ou, com soluções complexantes (Cox & Kamprath, 1972), justifica-se a pesquisa, buscando a simplificação das etapas operacionais desse método. A dosagem com base na colorimetria, utilizando azometina-H, pode ser usada para fazer a determinação (Parker & Gardner, 1981). Extração com CaCl_2 10 mmol L^{-1} , sem carvão ativado e dosagem do B com ICP-AES, mostrou-se mais sensível que a dosagem colorimétrica (Jeffrey & McCallum, 1988). Mahler et al. (1984) testaram o uso de saco plástico selado e a extração com água fervente em béqueres, conseguindo bons resultados. O aumento do tempo de extração de cinco para 10 min permitiu a obtenção de dados mais consistentes (Odom, 1980). O uso de CaCl_2 20 mmol L^{-1} permitiu a dosagem de B com azometina-H, em solos argilosos dos Estados Unidos, sem que houvesse interferência significativa da matéria orgânica, mesmo sem carvão ativado (Parker & Gardner, 1981). O carvão ativado, por adsorver o B do extrato, diminui sua concentração (Wolf, 1974), sendo necessário ajustar sua quantidade de acordo com o teor de matéria orgânica do solo (Gupta, 1979b). Abreu et al. (1994) utilizaram, no

Brasil, o forno de microondas como fonte de aquecimento para a extração do B em sacos plásticos fechados, em solução de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1,25 g L^{-1} .

Vários estudos têm demonstrado a influência da capacidade tampão do solo na modificação dos níveis críticos de nutrientes na planta e no solo de acordo com o extrator utilizado (Alvarez V. et al., 2000). Apesar de Cox & Kamprath (1972) considerarem essa influência de menor importância para o B, Hatcher et al. (1959) e Aitken & McCallum (1988) mostraram que isso pode ser importante para solos pobres em B. Sabe-se que a argila, o pH e os teores de matéria orgânica e de óxidos de Fe e Al têm influência negativa na recuperação do B com extratores e pelas raízes (Gupta, 1979a, 1993).

O objetivo do trabalho foi estudar a influência de algumas características do solo nos teores de B extraídos com água quente e com solução de CaCl_2 5 mmol L^{-1} , aquecidas em forno de microondas, procurando-se, adicionalmente, estabelecer relação entre o B absorvido por plantas de milho e o determinado por esses métodos.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização de B disponível

Amostras (TFSA) da camada de 0-20 cm de 17 solos dos estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (Quadro 1) foram pesadas em triplicatas, fazendo-se a extração do B disponível com água quente aquecida em chapa aquecedora, água, BaCl_2 5 mmol L^{-1} e CaCl_2 5, 10 e 20 mmol L^{-1} com aquecimento em forno de microondas.

- Extração com água quente em chapa aquecedora (adaptação do método original, proposto por Gupta,

1967): 25 cm³ de solo e 0,8 g de carvão ativado em béquer de 150 mL foram misturados a 50 mL de água destilada, agitados por 5 min e pesados com aproximação de 0,01 g, anotando-se o peso. Em seguida, tampou-se béquer com vidro de relógio, levando-se o conjunto para chapa aquecida a 160°C. Esperou-se o início da fervura e, passados 10 min, imediatamente foram retirados todos os béqueres da chapa quente, na ordem em que foram colocados. Sem o vidro de relógio, o béquer foi pesado, restituindo-se o peso inicial com água destilada. Após retirados da chapa, os béqueres foram pesados e, após corrigidos os pesos, os conteúdos foram filtrados.

- Extração com água, BaCl₂ 5 mmol L⁻¹, CaCl₂ 5, 10 e 20 mmol L⁻¹ em forno de microondas (Abreu et al., 1994): 10 cm³ de solo e 0,4 g de carvão ativado em sacos de polietileno (29,2 x 14,7 cm) foram misturados a 20 mL de água destilada, BaCl₂ 5 mmol L⁻¹, CaCl₂ 5, 10 e 20 mmol L⁻¹ de acordo com o tratamento. Os sacos foram selados a 17 cm de altura e agitados levemente. Depois de pesados, foi feita uma perfuração de ± 1 cm à direita na extremidade superior do saco. Colocaram-se os sacos no prato giratório do forno de microondas, com a perfuração para dentro, cada saco cobrindo a metade do outro, em círculos. Para aquecimento,

utilizou-se forno de microondas SHARP, RB-5H66WA, capacidade interna de 45 L e potência máxima de 900 W. A temperatura de aquecimento foi modificada em relação ao trabalho de Abreu et al. (1994), aquecendo-se durante 4 min, a 630 W, e durante 5 min, a 450 W, considerando a maior potência do forno de microondas utilizado no presente trabalho. As amostras foram pesadas, corrigiram-se os pesos com água destilada e filtraram-se os extratos.

Os extratos foram filtrados em camada dupla de papel-filtro lento e, após atingirem a temperatura ambiente, foram dosados com azometina-H, como descrito por Abreu et al. (1994).

Absorção de B pelas plantas de milho

Os solos, secos ao ar e passados em peneiras de 4 mm, foram incubados por 10 dias com CaCO₃ e MgCO₃ na relação 4:1 em mol. Após este período, os solos foram secos, peneirados e incubados com B nas doses de 0, 0,15, 0,30, 0,60, 0,90 e 1,50 mg dm⁻³, fazendo-se uma adubação, conforme Novais et al. (1991). O P e o S foram aplicados, segundo a capacidade tampão dos solos estimada pelo Prem (P remanescente) (Alvarez V. et al., 2000). O P foi aplicado em 10 % do volume do vaso, para que não

Quadro 1. Características químicas e físicas das amostras dos solos estudados

Solo	Origem	pH		Prm ⁽³⁾	MO ⁽⁴⁾	CTC		B disponível ⁽⁵⁾		Ditionito ⁽⁶⁾		Oxalato ⁽⁷⁾		Ataque sulfúrico ⁽⁸⁾			Argila ⁽⁹⁾	EU ⁽¹⁰⁾		
		H ₂ O ⁽¹⁾	H ₂ O ⁽²⁾			Efet.	pH 7,0	V	m	AQ	CaCl ₂	Al	Fe	Al	Fe	Fe ₂ O ₃			Al ₂ O ₃	SiO ₃
				mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹	cmolc dm ⁻³	—%—	—mg dm ⁻³ —				dag kg ⁻¹					g kg ⁻¹	cm ³ cm ⁻³		
AQ	Dourados	4,6	3,9	40,6	1,10	1,2	3,0	17	55	0,12	0,14	1,94	6,99	0,19	0,13	13,6	25,9	38,9	90	0,061
AQ	T. Marias	4,6	4,0	42,6	1,03	1,3	2,2	5	91	0,12	0,16	1,03	6,71	0,16	0,05	11,7	33,6	32,9	130	0,066
LVAm	T. Marias	4,8	4,2	30,3	0,90	1,0	2,0	5	90	0,09	0,12	1,79	5,30	0,08	0,03	11,0	38,6	22,2	160	0,074
Lem	Dourados	4,1	3,7	31,6	1,66	2,5	6,0	19	56	0,31	0,32	1,12	9,86	0,17	0,07	17,2	27,2	38,8	170	0,096
LVAm	J. Pinheiro	5,1	3,8	21,0	1,49	1,6	4,6	15	57	0,16	0,21	1,75	5,53	0,15	0,05	11,9	32,2	38,8	300	0,131
LVAa	Machado	5,2	4,6	8,7	3,03	2,0	6,0	26	21	0,16	0,16	2,00	6,76	0,13	0,05	14,3	38,7	21,2	430	0,238
LRa	S.S.Paraíso	5,3	4,2	10,0	2,64	1,1	4,9	14	40	0,17	0,21	1,85	16,35	0,10	0,06	27,5	36,3	10,5	440	0,214
LVAa	O. Branco	4,7	4,6	7,8	3,29	2,6	6,1	37	14	0,24	0,24	2,42	14,24	0,12	0,05	22,6	34,0	22,8	560	0,289
TEa	Dourados	6,6	5,9	10,9	2,84	13,9	15,2	91	0	0,89	0,79	1,30	13,13	0,21	0,06	24,0	27,5	36,6	570	0,278
LVAa	Patrocínio	4,7	4,1	4,5	4,40	1,9	5,6	6	82	0,23	0,29	2,69	8,87	0,12	0,05	17,8	34,7	20,4	580	0,319
LVAa	Machado	4,8	4,3	8,8	2,97	1,5	6,0	18	27	0,18	0,20	2,08	6,25	0,12	0,05	12,4	39,2	22,7	590	0,228
LVAa	C.Pacheco	4,2	3,8	16,7	4,20	2,3	7,4	11	65	0,22	0,25	1,88	7,18	0,10	0,08	12,7	32,7	38,1	590	0,325
LE/LRma	Dourados	4,7	3,8	7,2	2,65	1,8	7,4	4	82	0,28	0,33	1,21	10,54	0,15	0,06	18,2	29,9	38,8	610	0,240
LVAm	Paracatu	4,7	4,2	11,1	3,55	1,6	6,0	15	44	0,19	0,21	1,26	3,90	0,09	0,05	9,0	44,0	26,3	640	0,291
LRma	Dourados	5,3	3,9	13,2	4,32	3,4	8,6	27	31	0,27	0,31	1,41	14,20	0,13	0,09	23,5	30,4	32,9	650	0,266
LVAm	Lavras	3,7	3,9	6,1	3,75	1,2	8,1	3	80	0,21	0,22	2,13	9,39	0,15	0,07	17,8	39,3	22,1	670	0,259
LEma	S. Lagoas	4,7	4,0	5,8	4,65	2,2	9,8	14	39	0,24	0,28	1,48	7,08	0,16	0,08	12,0	36,9	31,7	720	0,317

⁽¹⁾ pH em água na relação solo:solução 1:2,5 (Defelipo & Ribeiro, 1981). ⁽²⁾ pH KCl 1 mol L⁻¹, na relação 1:2,5 (Defelipo & Ribeiro, 1981). ⁽³⁾ Prem = P remanescente na solução de equilíbrio, após 1 h de agitação, de uma solução com 60 mg L⁻¹ de P em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. et al., 2000). ⁽⁴⁾ Walkey-Black (Defelipo & Ribeiro, 1981). ⁽⁵⁾ Água quente (AQ) e CaCl₂ 5 mmol L⁻¹ (CaCl₂) no forno de microondas (Abreu et al., 1994). ⁽⁶⁾ Fe³⁺ e Al³⁺ livres extraídos por DBC (EMBRAPA, 1997). ⁽⁷⁾ Fe³⁺ e Al³⁺ amorfos extraídos por oxalato de amônio (EMBRAPA, 1997). ⁽⁸⁾ EMBRAPA (1997). ⁽⁹⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1997). ⁽¹⁰⁾ EU - equivalente de umidade (EMBRAPA, 1979).

houvesse deslocamento do B adsorvido aos colóides dos solos. A adubação com N, P e S foi feita no dia do plantio, sendo aplicados 141 mg dm^{-3} de N e quantidades variáveis de 80 a 120 mg dm^{-3} de P de acordo com os valores de Prem dos solos. Antes do cultivo, coletaram-se amostras de 100 cm^{-3} de solo de cada tratamento para as determinações químicas.

Em cada vaso, com $1,4 \text{ dm}^3$ de solo, foram semeadas 10 sementes de milho (cultivar BR 208), deixando-se, após a germinação, apenas cinco plantas que foram cultivadas por 35 dias em casa de vegetação.

Aos 10, 18, 23 e 29 dias do plantio, aplicaram-se as doses complementares de N (20, 23, 80 e 50 mg dm^{-3} , respectivamente), e aos 18 e 23 dias, as de P (respectivamente, 50 e 35 mg dm^{-3}).

Utilizou-se um delineamento experimental em blocos ao acaso, com os tratamentos compondo um fatorial completo 17×6 (solos \times doses de B), com três repetições.

Após corte da parte aérea das plantas rente ao solo, o material foi seco a 70°C até peso constante, pesado, moído em moinho tipo Wiley e calcinado a 550°C , até à obtenção de cinza branca. O B foi dosado colorimetricamente pelo método da azometina-H (Bingham, 1982).

Foram determinados matéria seca da planta (MSPA), teor (TPA) e conteúdo (CPA) de B na parte aérea. Essas variáveis foram relacionadas com os teores de B aplicados e com os teores determinados pelos métodos indicados, utilizando estudo de correlação e, ou, de regressão nas amostras relativas aos tratamentos com dose zero de B e em todas as demais doses aplicadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relação entre o B aplicado ao solo e o B disponível determinado pelos diferentes métodos de extração

Verificou-se estreita relação entre os teores de B recuperados com os extratores água quente e CaCl_2 5 mmol L^{-1} (Quadro 2) e as doses de B aplicadas aos solos (Quadro 3). Os teores disponíveis de B recuperados com os extratores, considerando as doses aplicadas às amostras (Quadro 2), ajustados com análise de regressão (Quadro 3), mostram a boa capacidade preditiva dos extratores. Para a maioria dos solos, obtiveram-se valores de coeficiente de determinação superiores a 0,99 (Quadro 3).

Quadro 2. Valores médios⁽¹⁾ de B disponível, recuperado por CaCl_2 5 mmol L^{-1} (BRCA) e pela água quente (BRAQ), produção de matéria seca (MSPA), teor (TPA) e conteúdo (CPA) de B na parte aérea de plantas de milho

Solo	Dose	BRCA	BRAQ	MSPA	TPA	CPA
	mg dm^{-3}	Mg dm^{-3}	mg dm^{-3}	g vaso^{-1}	mg kg^{-1}	$\mu\text{g vaso}^{-1}$
Areia Quartzosa - D	0,00	0,13	0,14	22,49	10,6	238,5
	0,15	0,20	0,20	21,19	11,2	233,7
	0,30	0,27	0,27	21,45	11,8	250,4
	0,60	0,43	0,42	22,55	14,1	318,0
	0,90	0,58	0,56	19,90	15,2	302,7
	1,50	1,04	0,87	21,67	16,9	365,3
Areia Quartzosa TM	0,00	0,10	0,12	22,17	8,4	185,6
	0,15	0,18	0,18	20,99	8,6	179,2
	0,30	0,28	0,25	19,81	11,2	222,3
	0,60	0,44	0,38	21,61	12,2	262,6
	0,90	0,70	0,56	21,12	13,6	286,4
	1,50	0,91	0,91	20,66	20,1	413,5
Latosolo Vermelho-Amarelo textura média - TM	0,00	0,07	0,10	20,42	7,8	159,9
	0,15	0,15	0,20	20,65	9,0	185,5
	0,30	0,24	0,28	20,65	10,2	212,0
	0,60	0,41	0,40	18,83	14,2	266,8
	0,90	0,58	0,54	20,59	15,1	309,3
	1,50	0,92	0,90	21,09	18,0	379,4
Latosolo Vermelho- Escuro textura média - D	0,00	0,33	0,30	24,10	9,4	225,5
	0,15	0,39	0,36	22,95	10,9	249,5
	0,30	0,46	0,41	25,41	12,5	317,6
	0,60	0,61	0,57	22,09	12,6	277,1
	0,90	0,76	0,73	22,57	14,0	315,1
	1,50	1,11	1,03	24,43	16,2	395,3

Continua...

Quadro 2. Continuação

Solo	Dose	BRCA	BRAQ	MSPA	TPA	CPA
	mg dm ⁻³	Mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	g vaso ⁻¹	mg kg ⁻¹	µg vaso ⁻¹
Latossolo Vermelho-Amarelo textura média – JP	0,00	0,15	0,14	22,88	8,8	202,4
	0,15	0,23	0,20	21,95	10,4	228,3
	0,30	0,28	0,25	21,67	11,4	246,9
	0,60	0,40	0,39	21,87	11,9	260,4
	0,90	0,54	0,53	21,60	13,1	282,4
	1,50	0,89	0,81	21,58	17,8	385,2
Latossolo Vermelho- Amarelo textura argilosa – M	0,00	0,16	0,16	25,18	8,1	204,4
	0,15	0,23	0,21	25,26	9,7	244,1
	0,30	0,31	0,30	24,99	9,8	244,7
	0,60	0,44	0,43	25,83	11,4	292,4
	0,90	0,61	0,57	25,39	12,9	327,5
	1,50	0,90	0,89	24,51	14,3	349,9
Latossolo Roxo textura argilosa – SSP	0,00	0,23	0,17	23,51	8,4	198,4
	0,15	0,30	0,23	23,60	9,4	222,0
	0,30	0,36	0,27	24,47	9,8	239,1
	0,60	0,51	0,43	24,67	10,9	268,5
	0,90	0,62	0,57	23,45	14,4	333,9
	1,50	0,94	0,87	24,50	17,6	429,9
Latossolo Vermelho Amarelo textura argilosa – OB	0,00	0,23	0,18	25,84	9,5	244,3
	0,15	0,29	0,24	24,64	10,1	248,9
	0,30	0,36	0,32	24,70	10,8	263,8
	0,60	0,49	0,44	23,96	12,0	288,6
	0,90	0,63	0,58	23,03	14,1	324,9
	1,50	0,95	0,86	23,48	17,3	402,1
Terra Roxa Estruturada textura média – D	0,00	0,79	0,82	26,66	13,7	362,0
	0,15	0,88	0,95	24,73	14,8	362,4
	0,30	0,94	0,96	25,13	16,3	406,6
	0,60	1,07	1,02	26,04	16,3	419,1
	0,90	1,12	1,10	24,26	16,1	390,1
	1,50	1,37	1,32	22,88	16,1	368,4
Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa – P	0,00	0,24	0,15	25,92	8,8	225,9
	0,15	0,26	0,22	23,05	11,1	256,0
	0,30	0,32	0,26	24,79	12,0	298,5
	0,60	0,46	0,39	27,20	12,9	350,4
	0,90	0,64	0,54	25,44	14,1	357,4
	1,50	0,95	0,82	24,45	15,7	383,1
Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa – M	0,00	0,13	0,14	26,25	9,9	260,7
	0,15	0,20	0,22	25,55	11,7	297,8
	0,30	0,27	0,29	24,20	12,7	307,9
	0,60	0,42	0,42	27,78	13,5	373,8
	0,90	0,61	0,57	23,46	14,0	331,7
	1,50	1,01	0,94	24,50	15,7	385,7
Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa – CP	0,00	0,14	0,20	26,45	9,8	261,6
	0,15	0,26	0,27	27,75	10,5	292,5
	0,30	0,33	0,32	27,92	12,2	339,8
	0,60	0,45	0,44	28,99	13,3	384,2
	0,90	0,57	0,60	26,25	16,4	430,9
	1,50	0,94	0,84	24,56	19,4	478,4
Intergrade Latossolo Vermelho-Escuro/ Latossolo Roxo textura muito argilosa – D	0,00	0,22	0,24	24,98	10,2	254,5
	0,15	0,28	0,31	23,57	10,8	254,3
	0,30	0,35	0,36	25,71	12,2	313,6
	0,60	0,46	0,47	23,46	11,6	271,8
	0,90	0,60	0,60	23,76	13,2	314,1
	1,50	0,87	0,82	23,06	15,4	357,4
Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa – P	0,00	0,16	0,18	23,30	9,0	208,8
	0,15	0,21	0,25	19,80	11,8	228,2
	0,30	0,28	0,31	22,07	10,7	236,0
	0,60	0,43	0,43	19,20	16,2	307,7
	0,90	0,58	0,55	21,88	15,2	327,6
	1,50	0,94	0,94	22,85	16,0	358,9

Continua...

Quadro 2. Continuação

Solo	Dose	BRCA	BRAQ	MSPA	TPA	CPA
	mg dm ⁻³	Mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	g vaso ⁻¹	mg kg ⁻¹	µg vaso ⁻¹
Latossolo Roxo textura muito argilosa – D	0,00	0,26	0,28	25,48	9,5	242,3
	0,15	0,37	0,35	25,91	10,1	262,2
	0,30	0,40	0,37	25,97	11,6	302,0
	0,60	0,49	0,45	26,04	13,0	338,3
	0,90	0,58	0,56	24,45	12,6	309,0
	1,50	0,92	0,91	26,03	14,0	362,7
Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa – L	0,00	0,18	0,18	23,62	8,8	209,7
	0,15	0,25	0,25	23,64	9,8	231,0
	0,30	0,30	0,31	23,34	12,2	285,9
	0,60	0,47	0,46	22,43	13,4	299,0
	0,90	0,57	0,56	24,08	14,4	341,8
	1,50	0,87	0,87	22,30	17,6	390,9
Latossolo Vermelho-Escuro textura muito argilosa – SL	0,00	0,20	0,22	22,74	9,7	219,9
	0,15	0,28	0,28	22,40	9,9	221,2
	0,30	0,31	0,32	22,73	12,9	290,3
	0,60	0,41	0,42	20,55	12,6	260,6
	0,90	0,57	0,55	21,87	12,0	261,1
	1,50	0,80	0,76	22,95	14,2	324,0

(1) Três repetições.

Quadro 3. Coeficientes das equações ajustadas para os teores de Boro recuperados (\hat{Y} , em mg dm⁻³) pelos extratores CaCl₂ 5 mmol L⁻¹ e água quente, considerando as doses de B aplicadas (X, em mg dm⁻³) nos solos estudados

Solo	CaCl ₂ 5 mmol L ⁻¹			Água quente		
	b ₀	b ₁	R ²	b ₀	b ₁	R ²
AQ	0,099	0,599***	0,988	0,128	0,488***	0,999
AQ	0,113	0,558***	0,981	0,095	0,530***	0,995
LVAm	0,068	0,570***	0,999	0,105	0,516***	0,994
LEm	0,309	0,522***	0,997	0,280	0,497***	0,997
LVAm	0,138	0,480***	0,991	0,131	0,448***	0,998
LVAa	0,159	0,493***	0,999	0,143	0,489***	0,998
LRa	0,221	0,471***	0,996	0,153	0,469***	0,997
LVAa	0,215	0,478***	0,996	0,174	0,455***	0,999
TEa	0,820	0,364***	0,985	0,856	0,299***	0,967
LVAa	0,194	0,492***	0,989	0,140	0,446***	0,997
LVAa	0,102	0,586***	0,993	0,127	0,527***	0,994
LVAa	0,158	0,503***	0,990	0,200	0,427***	0,998
LE/LRma	0,214	0,433***	0,998	0,244	0,383***	0,999
LVAm	0,135	0,523***	0,994	0,156	0,496***	0,985
LRma	0,266	0,413***	0,975	0,254	0,404***	0,959
LVAm	0,177	0,455***	0,997	0,179	0,450***	0,997
LEma	0,202	0,394***	0,993	0,215	0,362***	0,998

*** Significativo a 0,1% pelo teste F.

A capacidade de recuperação do CaCl₂ 5 mmol L⁻¹ (36,4 a 59,8%, média 49,0%) foi significativamente maior do que a da água quente (29,3 a 53,0%, média

45,2%) (Quadros 3 e 4), provavelmente graças à maior capacidade do Cl⁻ em extrair a fração dissociada do B(OH)₃ adsorvida às cargas positivas

Quadro 4. Comparação dos teores de B extraídos com CaCl_2 5 mmol L^{-1} e água quente e das declividades do B recuperado conforme o B aplicado, analisados estatisticamente como dados pareados pelo teste “t”, na dose 0 mg dm^{-3} e no conjunto com as demais doses de B aplicadas nos solos estudados

Variável	Média
Dentro de cada extrator (GL = 16)	
- B _{AQ AC} vs. B _{AQ DC}	mg dm^{-3}
B _{AQ AC}	0,2400
B _{AQ DC}	0,2182
Diferença	0,0218**
- B _{CA AC} vs. B _{CA DC}	mg dm^{-3}
B _{CA AC}	0,2582
B _{CA DC}	0,2182
Diferença	0,0394***
Comparando os extratores na dose 0 mg dm^{-3} de B (GL = 16)	
- Antes da calagem:	
- B _{CA AC} vs. B _{AQ AC}	mg dm^{-3}
B _{CA AC}	0,2582
B _{AQ AC}	0,2400
Diferença	0,0182*
- Depois da calagem:	
- B _{CA AC} vs. B _{AQ AC}	Mg dm^{-3}
B _{CA DC}	0,2188
B _{AQ DC}	0,2182
Valores de B recuperados na média de todos os solos e doses de B estudados (GL = 101)	
Diferença	0,0006
- B _{RCA} vs B _{RAQ}	mg dm^{-3}
B _{RCA}	0,4936
B _{RAQ}	0,4713
Diferença	0,0223***
Valores da declividade do B aplicado/B recuperado pelos extratores CaCl_2 5 mmol L^{-1} (D_{ECA}) e água quente (D_{ECAQ}) (GL = 16):	
- D _{ECCA} vs D _{ECAQ}	
D _{ECCA}	0,4903
D _{ECAQ}	0,4522
Diferença	0,0381***
Dentro de cada extrator (GL = 16)	
- pH _{A AC} vs. pH _{A DC}	
pH _{A AC}	4,8059
pH _{A DC}	5,8235
Diferença	-1,0176***

* e *** Significativos a 5 e 0,1%, respectivamente, pelo teste “t”; GL = graus de liberdade; B_{CA AC} e B_{CA DC} = B disponível por CaCl_2 5 mmol L^{-1} , antes e depois da calagem, respectivamente; B_{AQ AC} e B_{AQ DC} = B disponível em água quente, antes e depois da calagem, respectivamente; B_{RCA} e B_{RAQ} = B disponível recuperado por CaCl_2 5 mmol L^{-1} e por água quente, respectivamente; D_{ECCA} e D_{ECAQ} = declividade do B_{ap}/B_{tp} pelos extratores CaCl_2 5 mmol L^{-1} e água quente, respectivamente; pH_A e pH_A = pH em água, antes (AC) e depois (DC) da calagem; e t calculado = diferença média/(desvio-padrão/raiz quadrada do número de amostra).

dos colóides (Jin et al., 1987; Hou et al., 1996) e à competição por sítios de adsorção entre os ânions Cl^- e $\text{B}(\text{OH})_4^-$ presentes na solução antes da filtração (Jeffrey & McCallum, 1988). Deve-se considerar, também, que a força iônica da solução de CaCl_2 5 mmol L^{-1} , comparada com a da água quente, diminui a atividade do $\text{B}(\text{OH})_3^0$ presente na solução extratora, dificultando sua reabsorção e favorecendo maior concentração no extrato.

Considerando extratores com capacidades de predição semelhantes, é preferível usar aquele que resulte em maior teor de B no extrato, o que permite maior sensibilidade na dosagem desse elemento que, geralmente, é encontrado em baixa concentração no solo.

Características e propriedades químicas e físicas dos solos influenciando a capacidade-tampão para o B

O P remanescente (Prm) tem sido usado como uma estimativa da capacidade-tampão do solo para os nutrientes P e S (Alvarez V. et al., 2000). Essa estimativa tem sido de grande importância, quando se quer elevar o teor do nutriente recuperado por um extrator sensível à capacidade-tampão do solo, visando obter seu nível crítico, para determinada cultura.

A água quente e o CaCl_2 5 mmol L^{-1} têm sensibilidades semelhantes à ação da capacidade-tampão de B dos solos, quando estimadas pela declividade do B recuperado/B aplicado (Brp/Bap) (Quadro 5). Os teores de argila e de matéria orgânica foram as características do solo que mais se correlacionaram com a declividade, evidenciando maior recuperação do B aplicado no solo à medida que esses teores decrescem. Resultados semelhantes foram obtidos por Gupta (1979a), sendo o fenômeno atribuído às reações de adsorção do B às partículas de argila e matéria orgânica do solo.

Embora em menor intensidade, observa-se que os teores de Fe extraídos por ditionito e por ataque sulfúrico na fração argila também se correlacionaram negativamente com as declividades do Brp/Bap (Quadro 5). As correlações apresentadas indicam que o B aplicado ao solo é retido em maior quantidade à medida que aumentam os teores de argila e, dentro desta, os teores de óxidos livres de ferro. Esses dados justificam as diferentes taxas de B recuperadas pelos extratores usados (Quadro 3) e confirmam os resultados de Ribeiro & Tucunango S. (1984), Gupta (1979a, 1993) e Dantas (1991).

Nos solos testados, o coeficiente de correlação entre o Prem e a declividade do Brp/Bap foi mais baixo do que os coeficientes encontrados para P, S e Zn (Alvarez V. et al., 2000), o que revela que, em comparação com esses nutrientes, a utilização do Prem para previsão da capacidade-tampão de B do solo é menos indicada. Possivelmente, a existência de sítios específicos de adsorção de B na superfícies dos colóides (Goldberg et al., 1996) e a extração de B ligado à matéria orgânica do solo (Hou et al., 1996)

contribuíram para a menor capacidade de predição do Prem, em relação à capacidade-tampão de B. Deve-se observar que o Prem indica, principalmente, a capacidade de adsorção das partículas do solo em relação ao fosfato, não levando em conta a capacidade diferenciada dos colóides em adsorver outros íons (ou moléculas) e a liberação do nutriente de outras fontes do solo que não a superfície dos colóides minerais.

A calagem aumentou significativamente o pH dos solos estudados e provocou decréscimos nos teores de B disponíveis por ambos os extratores (Quadros 4 e 5), possivelmente por efeito de adsorção do íon borato adicionalmente ionizado sobre as cargas positivas dos solos (Sims & Bingham, 1968; Okasaki & Chao, 1968). O extrator CaCl_2 5 mmol L^{-1} extraiu maior teor de B antes da calagem. É provável que a maior energia de adsorção dos hidróxidos de alumínio de precipitação recente (Sims & Bingham, 1968; Okasaki & Chao, 1968) tenha reduzido a capacidade de extração do CaCl_2 5 mmol L^{-1} , tornando-a semelhante à da água quente.

O relacionamento do pH de todos os solos com seus respectivos teores de B disponíveis, por ambos os extratores, antes e depois da calagem, não mostrou significância nos níveis de probabilidades testados (Quadro 5). Acredita-se que a pequena amplitude de teores de B disponíveis dos solos considerados (0,07 a 0,33 mg dm^{-3} pelo extrator CaCl_2 5 mmol L^{-1} ; o solo 9 não foi considerado) tenha contribuído para que a relação não tenha sido significativa. Os dados mostram que, mesmo em solos ácidos, uma pequena calagem reduz a disponibilidade de B, o que não constitui, entretanto, problema para plantas que

requerem B em baixas quantidades, como as gramíneas. Para plantas que demandam maiores quantidades de B, este efeito deve ser mais sério, devendo-se dar maior atenção a essas plantas neste caso.

Relação da produção de matéria seca e do teor de B na parte aérea das plantas de milho com os teores de B disponível

Não houve resposta significativa às doses de B aplicadas na maioria dos solos estudados, apenas para os solos LVAA-OB ($R^2 = 0,69$), TEa ($R^2 = 0,67$) e LVAA-M ($R^2 = 0,14$) o coeficiente foi significativo, tendo sido em alguns solos observadas respostas negativas. Considerando a pobreza em B nos solos estudados (Quadro 1) e a pouca necessidade deste nutriente para o milho, 5 a 25 mg kg^{-1} (Jones Jr. et al., 1991), os dados obtidos confirmam os resultados de Keren & Bingham (1985) que estabeleceram o nível crítico de B no solo em $< 0,1$ mg dm^{-3} .

O teor de B na parte aérea das plantas cresceu com o aumento das doses de B aplicadas (Quadro 2). A capacidade de extração dos extratores (Quadro 3) refletiu-se na relação dos teores extraídos com os teores de B na parte aérea das plantas (Quadro 6). Isto demonstra a efetividade das adaptações do método da água quente na previsão do B disponível no solo, bem como a eficiência do aquecimento pelo forno de microondas, e corrobora com os resultados de Abreu et al. (1994).

O solo TEa apresentou os maiores teores de B disponível pela extração com água quente (0,89 mg dm^{-3}) e CaCl_2 (0,79 mg dm^{-3}), maior pH em água (6,6) e KCl (5,9), maior soma de bases

Quadro 5. Coeficientes de correlação linear simples entre as características e propriedades dos solos estudados e as declividades do B recuperado/B aplicado (Brp/Bap) dos extratores usados

Variável	Declividade Brp/Bap	
	CaCl_2 5 mmol L^{-1}	Água quente
Fe extraído com ditionito	-0,485*	-0,336°
Al extraído com ditionito	0,079	0,026
Fe extraído com oxalato	-0,052	-0,318
Al extraído com oxalato	-0,050	-0,161
SiO_2 extraído por ataque sulfúrico	-0,002	-0,278
Fe extraído por ataque sulfúrico	-0,462*	-0,295
Al extraído por ataque sulfúrico	0,001	0,230
pH água antes da calagem	-0,128	-0,039
pH água depois da calagem	-0,210	-0,267
pH KCl 1 mol L^{-1}	0,143	0,337°
Matéria orgânica	-0,650**	-0,624**
Argila	-0,670**	-0,624**
Equivalente de Umidade	-0,619**	-0,593**
P remanescente (Prem)	0,647**	0,530*

°, * e ** Significativos a 5, 1 e 0,1%, respectivamente, pelo teste F.

(13,8 cmol_c dm⁻³) e maiores CTC efetiva e a pH 7,0 (13,9 e 15,2 cmol_c dm⁻³, respectivamente) (Quadro 1). Quando se fez a análise na ausência desse solo, apenas o B extraído por água quente correlacionou-se com o teor de B na planta, em nível de probabilidade muito baixo (r = 0,411⁰) (Quadro 7). Com a inclusão do solo TEa na análise, os coeficientes lineares encontrados foram de r = 0,809^{***}, para o extrator água quente, e de r = 0,781^{***}, para o extrator CaCl₂ 5 mmol L⁻¹ (Quadro 7).

A variabilidade de resultados encontrada deveu-se, provavelmente, à ausência de solos com teores de B disponível distribuídos na faixa dos limites encontrados pelos extratores (0,07 a 0,79 mg dm⁻³, para CaCl₂ 5 mmol L⁻¹, e 0,10 a 0,82 mg dm⁻³, para água quente) e ao fato de esses teores não terem sido limitantes ao crescimento das plantas de milho (Quadro 2).

Não foi possível encontrar solos que apresentassem toda a faixa de teores de B referentes aos limites

Quadro 6. Teor (mg vaso⁻¹) de B na parte aérea das plantas de milho (\hat{Y}), considerando os teores de B disponível (X, mg dm⁻³), recuperados pelos extratores CaCl₂ 5 mmol L⁻¹ e água quente, nos solos estudados

Solo	Equação	R ²
Teor de B na parte aérea das plantas de milho:		
<i>Extração com água quente</i>		
AQ	$\hat{Y} = 209,458 + 183,921^{**} X$	0,903
AQ	$\hat{Y} = 142,123 + 289,940^{***} X$	0,975
LVAm	$\hat{Y} = 110,136 + 443,078^{**} X - 157,512^{*} X^2$	0,991
LEm	$\hat{Y} = 187,028 + 193,497^{**} X$	0,789
LVAm	$\hat{Y} = 170,459 + 249,790^{***} X$	0,955
LVAa	$\hat{Y} = 147,312 + 442,749^{*} X - 239,991^{0} X$	0,970
LRa	$\hat{Y} = 143,238 + 326,892^{***} X$	0,990
LVAa	$\hat{Y} = 217,452 + 112,671^{*} X + 118,236^{**} X^2$	0,998
TEa	$\hat{Y} = \bar{Y} = 384,768$	-
LVAa	$\hat{Y} = 133,933 + 715,263^{**} X - 507,312^{*} X^2$	0,960
LVAa	$\hat{Y} = 267,918 + 135,320^{*} X$	0,702
LVAa	$\hat{Y} = 120,326 + 782,483^{**} X - 426,034^{*} X^2$	0,991
LE/LRma	$\hat{Y} = 216,970 + 166,254^{*} X$	0,743
LVAm	$\hat{Y} = 106,881 + 583,957^{**} X - 334,952^{*} X^2$	0,969
LRma	$\hat{Y} = 223,567 + 162,710^{*} X$	0,683
LVAm	$\hat{Y} = 179,009 + 259,853^{***} X$	0,931
LEma	$\hat{Y} = 195,495 + 159,160^{*} X$	0,636
AQ	$\hat{Y} = 219,237 + 147,804^{**} X$	0,886
<i>Extração com CaCl₂ 5 mmol L⁻¹</i>		
AQ	$\hat{Y} = 142,772 + 265,828^{**} X$	0,921
LVAm	$\hat{Y} = 133,760 + 360,798^{***} X - 102,457^{***} X^2$	0,999
LEm	$\hat{Y} = 181,973 + 188,038^{**} X$	0,824
LVAm	$\hat{Y} = 170,223 + 234,958^{***} X$	0,978
LVAa	$\hat{Y} = 140,846 + 446,487^{**} X - 237,121^{*} X^2$	0,980
LRa	$\hat{Y} = 121,498 + 325,311^{***} X$	0,987
LVAa	$\hat{Y} = 184,947 + 225,169^{***} X$	0,993
TEa	$\hat{Y} = \bar{Y} = 384,768$	-
LVAa	$\hat{Y} = 93,6814 + 738,476^{*} X - 461,849^{*} X$	0,934
LVAa	$\hat{Y} = 273,695 + 119,608^{*} X$	0,677
LVAa	$\hat{Y} = 169,351 + 616,733^{**} X - 303,819^{*} X^2$	0,985
LE/LRma	$\hat{Y} = 225,217 + 147,054^{*} X$	0,766
LVAm	$\hat{Y} = 128,528 + 513,734^{**} X - 285,556^{*} X^2$	0,979
LRma	$\hat{Y} = 218,097 + 167,819^{*} X$	0,749
LVAm	$\hat{Y} = 180,344 + 256,486^{**} X$	0,926
Lema	$\hat{Y} = 201,207 + 143,779^{*} X$	0,618

⁰, *, ** e *** Significativos a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 7. Coeficientes de correlação linear simples, sem e com o solo TEa-D na análise, entre os teores de B disponível (mg dm^{-3}) pelos extratores usados e a produção de matéria seca (MSPA), o teor (TPA) e o conteúdo de B (CPA) na parte aérea das plantas de milho, na dose 0

Variável	CaCl_2 5 mmol L^{-1}		Água quente	
	Sem o solo TEa-D	Com o solo TEa-D	Sem o solo TEa-D	Com o solo TEa-D
MSPA	0,440*	0,485*	0,379 ^o	0,447*
TPA	0,224	0,806***	0,434*	0,859***
CPA	0,313	0,781***	0,411 ^o	0,809***

^o, * e *** Significativos a 10, 5 e 0,1%, respectivamente, pelo teste F.

citados. Dezesesseis solos tiveram variação de 0,07 a 0,33 mg dm^{-3} (CaCl_2 5 mmol L^{-1}) e o solo TEa apresentou 0,79 mg dm^{-3} B (Quadro 2). A inclusão do solo TEa na análise estabeleceu a tendência observada em relação aos demais solos ($r = 0,781^{***}$). A dispersão dos pontos na faixa de valores em estudo não é homogênea, o que deve ser considerado na discussão. Essa dificuldade tem sido apontada em vários trabalhos realizados com o B e constitui um fato que deve sempre ser levado em conta em trabalhos de correlação (Raij & Bataglia, 1991).

Considerando o nível crítico de B no solo, < 0,10 mg dm^{-3} (Keren & Bingham, 1985), para que as plantas alcancem teor de B adequado, 5 a 25 mg kg^{-1} (Jones Jr. et al., 1991), os solos estudados estavam com teores de B suficientes (Quadro 2). Desse modo, trabalhou-se com todos os solos no platô de produção da curva teórica de resposta ao nutriente no solo (Marschner, 1995). Neste ponto da curva de resposta, a variação dos teores de B no tecido é mínima, quando relacionada com o incremento dos teores do nutriente no solo (Mengel & Kirkby, 1987). Assim, era de se esperar que ocorresse baixa correlação entre os teores de B disponível nos 16 solos estudados pelos extratores usados e o teor na planta, pois a amplitude dos valores (0,07 a 0,33 mg dm^{-3}) foi muito pequena para provocar um aumento nos teores de B na planta. Com a inclusão do solo TEa na análise, houve correlação altamente significativa, pois seu alto teor de B disponível (0,79 mg dm^{-3}) resultou na tendência observada quando se incluiu esse solo na análise.

CONCLUSÕES

1. A adição de B aos solos com teor de B extraído com CaCl_2 5 mmol L^{-1} superior a 0,10 mg dm^{-3} e com teor de B na planta acima de 7,8 mg kg^{-1} foi associada a decréscimos na produção de matéria seca da parte aérea.

2. Os extratores água quente e CaCl_2 5 mmol L^{-1} mostraram capacidades semelhantes de extração do B no solo, porém o CaCl_2 5 mmol L^{-1} mostrou maior capacidade de recuperação do B aplicado do que a água quente.

3. As taxas de recuperação de B pelos extratores usados foram significativamente reduzidas pelos teores de argila, matéria orgânica e óxidos livres de ferro. Valores de equivalente de umidade do solo e de P remanescente correlacionaram-se com a capacidade tampão de B no solo.

LITERATURA CITADA

- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; RAIJ, B. van & BATAGLIA, O.C. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25:3321-3333, 1994.
- AITKEN, R.L. & McCALLUM, L.E. Boron toxicity on soil solution. *Aust. J. Soil Res.*, 26:605-610, 1988.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *B. Inf. SBCS*, 25:27-32, 2000.
- BINGHAM, F.T. Boron. In: PAGE, A.L., ed. *Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties*. Madison, Soil Science Society of American, 1982. p.431-447. (Serie Agronomy, 9)
- COX, F.R. & KAMPRATH, E.J. Micronutrient soil tests. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of American, 1972. p.289-317.
- DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P., eds. *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba, POTAFOS, CNPq, 1991. p.113-130.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análises químicas do solo: metodologia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29)

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solos, Rio de Janeiro, 1979. 250p.
- GOLDBERG, S.; FORTER, H.S. LESH, S.M. & HEICKEL, E.L. Influence of anion competition of boron adsorption by clays and soils. *Soil Sci.*, 161:99-103, 1996.
- GUPTA, U.C. A simplified method for determining hot-water soluble boron in Podzols soils. *Soil Sci.*, 103:424-428, 1967.
- GUPTA, U.C. Boron and its role in crops production. Boca Raton, CRC Press, 1993. 237p.
- GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. *Adv. Agron.*, 31:273-307, 1979a.
- GUPTA, U.C. Some factors affecting the determination of hot-water-soluble boron from podzol soils using azomethine-H. *Can. J. Soil Sci.*, 59:241-247, 1979b.
- HATCHER, J.T.; BLAIR, G.Y. & BOWER, C.A. Response of beans to dissolved and adsorbed boron. *Soil Sci.*, 88:88-100, 1959.
- HOU, J.; EVANS, L.J. & SPIERS, G.A. Chemical fractionation of soil boron: I. Method development. *Can. J. Soil Sci.*, 76:485-491, 1996.
- JEFFREY, L.E. & McCALLUM, L.E. Investigation of a hot 0,01 M CaCl₂ soil boron extraction procedure followed by ICP-AES analysis. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:663-673, 1988.
- JIN, J.; MARTENS, D.C. & ZELAZNY, L.W. Distribution and plants availability of soil boron fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1228-1231, 1987.
- JONES Jr., J.B.; WOLF, B. & MILLS, H.A. Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Athens, Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.
- KEREN, R. & BINGHAM, F.T. Boron in water, soils and plant. *Adv. Soil Sci.*, 1:229-276, 1985.
- MAHLER, R.L.; NAYLOR, D.V. & FREDRICKSON, M.K. How water extraction of boron from soils using sealed plastic pouches. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15:479-492, 1984.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 4.ed. Bern, International Potash Institute, 1987. 687p.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.N. & BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, 1991. p.189-253.
- ODOM, J.W. Kinetics of water soluble boron soil test. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 11:759-765, 1980.
- OKASAKI, E. & CHAO, T.T. Boron adsorption and desorption by some hawaiian soils. *Soil Sci.*, 105:255-259, 1968.
- PARKER, D.R. & GARDNER, E.H. The determination of hot-water-soluble boron in some acid Oregon soils using a modified azomethine-H procedure. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 12:1311-1322, 1981.
- RAIJ, B.van & BATAGLIA, O.C. Análise química de solo. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P., eds. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, POTAFOS, CNPq, 1991. p.333-356.
- RIBEIRO, A.C. & TUCUNANGOS, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em Latossolos do Triângulo Mineiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:85-89, 1984.
- SIMS, J.R. & BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. I: Sesquioxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:364-369, 1968.
- WOLF, B. Improvements in the azomethine-H method for the determination of boron. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 5:39-44, 1974.

