

SELEÇÃO DE MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO BORO DISPONÍVEL EM SOLOS¹

MARA CRISTINA PESSÔA DA CRUZ² e MANOEL EVARISTO FERREIRA³

RESUMO - Com amostras de solos coletadas na região de Jaboticabal, SP, foi feito um estudo de seleção de métodos para a determinação do boro disponível para as plantas. Os solos utilizados fazem parte dos Grandes Grupos: Solos Podzolizados de Lins e Marília variação Marília, Solos Podzolizados de Lins e Marília variação Lins, Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa, Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada. A planta teste empregada foi o girassol (*Helianthus annuus* L.). O boro disponível dos solos foi determinado através dos métodos do HCl 0,05 N, H₂SO₄ 0,05 N, CH₃COOH 0,05 N, CaCl₂ 0,1% e água quente nos sistemas de extração convencional e modificado. Nos estudos de correlação entre as quantidades de boro extraídas pelas plantas e através dos diferentes métodos, encontraram-se valores positivos e significativos em todos os casos. Não tendo sido verificadas diferenças significativas entre os valores de r, considerou-se o método que apresentou menor coeficiente angular como sendo o mais indicado, no caso, o da água quente modificado.

Termos para indexação: *Helianthus annuus*, análise de solo, boro.

SELECTION OF METHODS FOR THE EVALUATION OF THE AVAILABLE SOIL BORON

ABSTRACT - With the objective of selecting the most adequate method for the determination of soil available boron, soil samples collected in the area of Jaboticabal, SP, Brazil, were used. The soils used belong to the following Great Soil Groups: "Solos Podzolizados de Lins e Marília variação Marília", "Solos Podzolizados de Lins e Marília variação Lins", "Latossolo Vermelho Escuro-fase arenosa", "Latossolo Roxo" and "Terra Roxa Estruturada". The sunflower (*Helianthus annuus* L.) was used as indicator plant. Soil available boron was determined by the 0.05 N HCl, 0.05 N H₂SO₄, 0.05 N CH₃COOH, 0.1% CaCl₂ methods, and hot-water in the conventional extraction system and by a modified method. With the help of correlation analysis between the soil extracted boron resultant from the different methods and that extracted by the plant, positive, significant values of r were obtained which did not differ from each other statistically. The hot-water modified procedure was considered to be the most adequate because it presented the lowest regression coefficient.

Index terms: *Helianthus annuus*, soil tests, boron.

INTRODUÇÃO

O uso constante dos solos, sem o devido acompanhamento do seu nível de desgaste quanto a micronutrientes, vem aumentando sistematicamente o aparecimento de áreas problema, com muitas cul-

turas mostrando sintomas visuais de deficiências. Por outro lado, tem-se, na maioria dos casos, uma "fome" oculta, que determina produções menores do que aquelas esperadas.

Sem dúvida alguma, o boro está entre os micronutrientes cujo número de casos de deficiência vem aumentando a cada dia. É sabido que um diagnóstico de sua deficiência pode ser feito através de ensaio biológico, principalmente do tipo proposto por Colwell (1943), no qual se considera basicamente o valoridade, ou seja, a idade com que plantas de girassol mostram sintomas de deficiência quando cultivadas nos diferentes solos em estudo. Neste caso, o solo é considerado tão mais deficiente quanto mais cedo aparecer o sintoma. Esses ensaios apresentam, contudo, grandes limita-

¹ Aceito para publicação em 5 de setembro de 1984.

Parte do trabalho apresentado pelo primeiro autor para atender as exigências do curso de Graduação em Agronomia, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal.

² Enga. - Agra., Bolsista da FAPESP. Estagiária no Laboratório de Fertilidade do Solo, Dep. de Solos e Adubos - Fac. de Ciências Agrárias e Vet. de Jaboticabal, UNESP. Rod. Carlos Tonanni, km 5, s/nº, CEP 14870. Jaboticabal, SP.

³ Eng. - Agra., Prof. - Adj., Dep. de Solos e Adubos. Fac. de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, UNESP.

ções quanto a tempo, custo e número de diagnósticos que se pode realizar por vez.

A análise de terra, muito comum para a avaliação da acidez do solo e de seus macronutrientes, exceto nitrogênio e enxofre, constitui um dos meios mais eficientes e seguros de que se dispõe para diagnosticar eventuais problemas. No entanto, para micronutrientes, principalmente no Brasil, ela praticamente não é utilizada.

O boro disponível nos solos pode ser avaliado com o emprego de vários extratores, sendo esta etapa de extração do elemento do solo a que apresenta maiores problemas, limitando a sua determinação, uma vez que a quantificação pode ser realizada de forma segura através de várias substâncias, entre as quais prevalece a curcumina.

A água quente, dos extratores usados para boro é o que, segundo consta, melhor representa a fração do boro disponível às plantas. Dible et al. (1954) propuseram uma simplificação no método, que é, até hoje, a mais utilizada para a extração do boro solúvel. Este método emprega a ebulição da suspensão solo-água em erlenmeyer por 5 minutos sob condensador de refluxo. O período de fervura é um dos aspectos importantes a ser considerado nesse método. Berger & Truog (1944), Gupta (1967) e Odom (1980) verificaram que com um aumento desse período de 5 para 10 minutos tem-se maior quantidade extraída. Esse fato constitui problema à medida que leva a uma baixa reprodutibilidade dos resultados; para solucioná-lo, Odom (1980) sugeriu que se aqueça a suspensão até ebulição em tempo tão curto quanto possível, ou que se faça a calibração da análise de solo para um período maior de fervura, o qual, no caso estudado pelo autor, foi de 10 minutos.

Os resultados obtidos pela extração com água quente, que se encontram disponíveis, são bastante contraditórios. Berger & Truog (1940) obtiveram boa correlação entre o boro extraído pela água quente e a quantidade de boro presente nas folhas de beterraba, e Robertson et al. (1975) obtiveram valor para r igual a 0,87** entre boro no solo e na planta. Por outro lado, Page & Paden (1954) não observaram correlação entre a produção de matéria seca pelo girassol e quantidade de boro extraída; no entanto, como os demais micronutrientes não foram fornecidos, esse resultado po-

de ser devido à deficiência de outro elemento. Ainda, Martens (1968) e Parker & Gardner (1982) observaram ausência de correlação entre boro extraído pelo método, e o extraído pela planta ou produção. O primeiro autor acredita que as formas de boro extraídas pela água quente não correspondem àquelas disponíveis à planta.

Algumas propostas de modificação no método descrito em Dible et al. (1954) têm sido sugeridas nos últimos anos. Ferreira & Cruz (1984), com o objetivo de eliminar a ebulição sob condensador de refluxo, propuseram o emprego de agitação da suspensão solo-água por 5 minutos, em banho-maria, a aproximadamente 70°C. Os autores obtiveram correlação significativa entre o método convencional e a técnica modificada ($r = 0,751^*$) e entre boro extraído pelas plantas e através do método modificado ($r = 0,846^{**}$).

Além da água em ebulição, o boro disponível dos solos pode ser extraído através de soluções ácidas e salinas. Catani et al. (1970) estudaram a extração com água quente empregando as relações solo:água de 1:2, 1:4 e 1:8 e ainda, o comportamento do ácido sulfúrico 0,05 N e do ácido acético 0,05 N. Os autores observaram que, no caso da água quente, o emprego de maior volume de água promoveu aumento na quantidade extraída. Quanto aos extratores ácidos ficou constatado que o ácido acético extrai mais boro que o ácido sulfúrico, detectando-se para os mesmos solos, quantidades nos intervalos de 0,49 a 1,90 ppm e 0,27 a 0,86 ppm, respectivamente. Não foram feitas correlações entre o boro extraído dos solos e a produção de matéria seca ou extração de boro por plantas.

Ponnamperuma et al. (1981), empregando solos cultivados com arroz em regime de inundação, com os valores pH variando de 3,5 a 8 e a textura de barro arenosa a argilosa, apesar de terem obtido correlação altamente significativa entre a quantidade de boro extraída pela solução de HCl 0,05 N e pela água quente ($r = 0,96^{**}$), encontraram melhor correlação do boro extraído pela planta com o HCl 0,05 N ($r = 0,91^{**}$). Outras vantagens da extração com HCl 0,05 N citadas pelos autores foram a simplicidade, rapidez, baixo custo e eliminação do equipamento de refluxo,

podendo-se, ainda, a partir do mesmo extrato, efetuar determinações de cobre e zinco. Os extratores ácidos são, no entanto, inadequados para a extração do boro disponível de solos alcalinos ou de solos que tenham tido sua acidez recentemente corrigida, ocorrendo nesses casos, neutralização do ácido.

Restam ainda as soluções salinas e, entre elas, o cloreto de cálcio 0,1% sugerido por Lopez Ritas & Lopez Melida (1978). Essa técnica apresenta resultados semelhantes aos obtidos com a água quente, com a vantagem de se obter um extrato mais claro com a solução de CaCl_2 0,1%, apesar da mesma complicação do uso de ebulição da suspensão sob condensador de refluxo.

Com o presente trabalho procurou-se determinar o método mais adequado para o boro disponível dos solos da região de Jaboticabal, com a expectativa de que os resultados obtidos possam servir de base para outras regiões do Estado de São Paulo e do País.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do ensaio foram utilizados solos coletados na região de Jaboticabal, na camada de 0-20 cm, pertencentes aos seguintes Grandes Grupos: Solos Podzolizados de Lins e Marília variação Marília (Pml), Solos Podzolizados de Lins e Marília variação Lins (Pln), Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa (LEa), Latossolo Roxo (LR) e Terra Roxa Estruturada (TE).

Amostras dos solos em estudo foram submetidas à análise química, sendo determinados os valores pH, %C, P, K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e Al^{+++} , seguindo-se a metodologia descrita em Rajj & Zullo (1977), e H^+ de acordo com Vettori (1969). Foi realizada também a análise física do solo, avaliando-se as percentagens de areia, limo e argila. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Na instalação do ensaio foram inicialmente pesadas amostras de terra em quantidades equivalentes a 2,0 litros, em duplicata, misturando-se às mesmas quantidades de: carbonato de cálcio p.a. e carbonato de magnésio p.a. suficientes para elevar a saturação em bases dos solos a 60%, empregando-se a relação $\text{CaCO}_3:\text{MgCO}_3$ de 4:1; superfosfato triplo, de forma a elevar o teor de P solúvel em H_2SO_4 0,05 N, de cada solo, a aproximadamente 15 ppm, conforme sugerido por Ferreira et al. (1978); e cloreto de potássio p.a. para se obter saturação em potássio nos solos em torno de 4%.

Promovida a mistura a seco da terra mais carbonatos, fosfato e cloreto de potássio, ela foi colocada sobre lençol plástico e umedecida com 100 ml da solução de micronutrientes, isenta de boro, proposta por Waugh & Fitts

(1966). Acrescentou-se, a seguir, água desionizada em quantidade suficiente para elevar a umidade dos solos a 80% do seu poder de embebição. A terra foi então transferida para vasos de polietileno, os quais foram levados para casa de vegetação, onde os solos permaneceram incubando por uma semana.

Terminado o período de incubação, procedeu-se à lavagem dos solos para eliminação do excesso de sais e, após o retorno dos mesmos a 80% do seu poder de embebição, realizou-se a semeadura de uma linhagem de girassol (*Helianthus annuus* L.) sabidamente sensível à escassez de boro. Foram colocadas 10 sementes por vaso, na profundidade de 3 cm e, uma semana após a emergência das plântulas, efetuou-se o desbaste, deixando-se 8 plantas por vaso.

Durante todo o período de condução do ensaio foi aplicada, semanalmente, a solução contendo micronutrientes (menos boro) mais nitrogênio e enxofre, tendo-se usado como fonte destes últimos o sulfato de amônio, de forma a se ter a concentração de 0,05 g de N/vaso/aplicação. Procurou-se, ainda, manter a umidade dos solos a 80% do seu poder de embebição, através de duas a três regas diárias com água desionizada.

O ensaio foi conduzido por 54 dias, quando então realizou-se o corte das plantas rente à superfície do solo de cada vaso, sendo as mesmas submetidas a lavagem, conforme proposto em Sarruge & Haag (1974), e secagem a peso constante em estufa com circulação forçada de ar, a 60 - 70°C. Uma vez obtido o peso de matéria seca produzida, as amostras foram moídas, determinando-se posteriormente o seu conteúdo de boro através da técnica descrita nos referidos autores.

Determinação do boro disponível do solo

Para a extração do boro disponível dos solos foram empregados os seguintes métodos: água quente (Dible et al. 1954), água quente modificado (Ferreira & Cruz 1984), cloreto de cálcio 0,1% (Lopez Ritas & Lopez Melida 1978), ácido clorídrico 0,05 N (Ponnamperuma et al. 1981) e ácido sulfúrico 0,05 N e ácido acético 0,05 N (Catani et al. 1970). A quantificação foi feita com curcuma tomando-se 1 ml de extrato, e seguindo-se a metodologia proposta por Dible et al. (1954).

Dentro da metodologia descrita para o uso dos extratores citados, foram introduzidas algumas modificações com o intuito de torná-las mais simples e exequíveis dentro do sistema de rotina dos laboratórios de análise de terra.

Uma modificação comum a todos os casos foi o emprego de volume de terra em lugar de peso, uma vez que, além de facilitar o trabalho no laboratório, de acordo com Sillanpää (1972), quando se expressam os resultados com base no peso, a comparação entre os níveis de nutrientes entre dois solos diferentes é dificultada, pois dessa forma não estão sendo consideradas as variações nas densidades aparentes existentes entre ambos.

TABELA 1. Caracterização química e composição granulométrica dos solos estudados.

Amostra		% C	pH H ₂ O	µg/ml TFSA		meq/100 ml TFSA				Separados do solo (%)		
Número	Solo			P	K	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	H ⁺	Argila	Limo	Areia
01	Pml	0,56	5,2	4	51	0,00	2,9	0,8	3,25	20,50	2,50	77,00
03	Pml	0,43	4,9	14	67	0,15	1,9	0,8	3,56	19,66	4,17	76,17
08	Pml	0,34	5,1	4	19	0,00	1,9	0,7	2,55	16,33	3,33	80,33
09	Pml	0,35	5,5	16	115	0,00	3,3	1,1	2,17	19,67	5,00	75,33
10	Pml	0,43	5,7	7	35	0,00	2,7	0,6	2,39	21,33	4,17	74,50
11	Pml	0,32	5,8	14	51	0,00	2,7	0,5	2,39	22,17	7,50	70,33
12	Pml	0,31	5,8	4	51	0,00	3,2	0,9	2,26	20,50	1,67	77,83
02	Pln	0,44	5,5	8	91	0,00	3,2	0,9	2,57	17,17	5,00	77,83
04	Pln	0,40	5,3	9	27	0,00	1,8	0,4	3,27	20,50	3,33	76,17
05	Pln	0,55	5,4	3	83	0,00	3,1	0,7	3,60	26,33	2,50	71,17
06	Pln	0,61	5,5	3	91	0,00	2,8	1,1	3,63	21,33	2,90	76,17
07	Pln	0,60	5,0	4	27	0,00	1,8	0,6	3,67	23,00	9,17	67,83
13	Pln	0,83	5,1	3	19	0,20	1,5	0,3	3,76	29,67	4,17	66,17
22	Pln	0,62	4,7	3	27	0,30	1,8	0,4	4,15	24,67	2,50	72,83
14	LEa	0,84	3,9	3	11	1,20	0,4	0,1	6,00	38,83	7,50	53,67
15	LEa	0,68	4,4	3	83	0,54	0,6	0,4	3,56	24,66	11,67	63,67
17	LEa	0,78	4,0	3	11	0,54	0,5	0,2	4,22	31,33	2,50	66,17
18	LEa	0,95	4,0	3	35	0,64	0,4	0,2	4,47	36,33	7,50	56,17
19	LEa	1,25	4,3	2	91	0,00	0,9	0,3	4,69	47,17	9,17	43,67
20	LEa	0,77	4,7	3	35	0,75	1,0	0,4	3,70	32,17	4,17	63,67
21	LEa	0,65	4,5	4	35	0,86	1,2	0,2	3,26	28,83	7,50	63,67
23	LR	1,54	4,9	2	59	0,64	3,8	0,2	6,12	64,67	7,50	27,83
24	LR	1,53	4,8	3	83	0,54	3,9	0,3	5,98	58,00	14,17	27,83
25	LR	1,29	5,8	13	19	0,43	3,6	1,2	2,79	53,00	19,17	27,83
26	LR	1,64	5,2	2	123	0,21	2,0	0,3	6,64	56,33	15,00	28,67
27	LR	1,79	5,7	9	139	0,21	4,8	1,0	2,90	53,00	10,00	37,00
28	LR	1,83	5,5	3	211	0,00	6,8	0,4	4,44	45,50	24,17	30,33
29	LR	1,57	5,0	2	139	0,43	2,2	0,7	5,32	52,17	19,17	28,67
16	TE	1,17	5,5	7	59	0,21	3,4	0,8	3,61	61,33	8,33	30,33
30	TE	1,57	5,4	54	115	0,00	5,1	1,1	5,54	41,80	18,07	40,10

Por outro lado, merecem menção as alterações propostas nos métodos do cloreto de cálcio 0,1% e do ácido clorídrico 0,05 N. No primeiro caso, a ebulição da amostra (5 g de terra e 10 ml de solução de CaCl₂ 0,1%) em frascos erlenmeyer de vidro isento de boro sob condensador de refluxo foi substituída por agitação em banho-maria, a $\pm 70^{\circ}\text{C}$, empregando para isso frascos de plástico com tampa e as relações solo: solução extratora de 1:1 e 1:2 (volume:volume). No método do HCl 0,05 N, a proposição era de que se trabalhasse com amostras de 10 g de terra trituradas, em gal de porcelana; mas, como se optou por empregar volume de solo, esse procedimento não pôde ser adotado. Substituiu-se, então, a técnica proposta por agitação de 10 ml de terra e 10 ml de água desionizada em frascos de plástico com tampa, por 15 minutos, a ± 180 rpm, juntamente com uma bolinha de

ação de aproximadamente 18 g. Terminada a agitação, retirou-se a bolinha, adicionaram-se 10 ml de solução de HCl 0,1 N e submeteram-se os frascos a mais 5 minutos de agitação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos relativos à produção de matéria seca e extração de boro dos solos pelas plantas e através dos diferentes métodos em estudo estão apresentados na Tabela 2. A partir desses resultados, calcularam-se coeficientes de correlação simples entre todas as variáveis em estudo,

TABELA 2. Produção de matéria seca e boro extraído do solo pela planta e por métodos químicos.

Amostra Número	Solo	Produção de matéria seca (g/vaso)	B extraído pela planta (μ g/vaso)	B disponível nos solos (μ g/ml TFSA)						
				Água quente	Água quente modificado	CaCl ₂ 0,1%		H ₂ SO ₄ 0,05 N	Ácido acético 0,05 N	HCl 0,05 N
						(1:1)	(1:2)			
01	Pml	24,48	773,23	0,673	0,407	0,255	0,503	0,394	0,778	0,668
03	Pml	10,65	584,76	0,568	0,351	0,133	0,405	0,286	0,264	0,381
08	Pml	9,56	413,97	0,820	0,249	0,150	0,181	0,166	0,124	0,360
09	Pml	23,75	704,48	0,806	0,291	0,259	0,321	0,382	0,824	0,661
10	Pml	15,73	662,18	0,799	0,225	0,171	0,258	0,358	0,404	0,570
11	Pml	17,79	663,03	0,736	0,344	0,262	0,356	0,274	0,642	0,668
12	Pml	21,55	765,55	0,792	0,407	0,353	0,363	0,382	0,684	0,717
02	Pln	16,56	795,40	0,722	0,344	0,231	0,335	0,406	0,348	0,556
04	Pln	10,38	465,00	0,680	0,260	0,262	0,230	0,226	0,236	0,395
05	Pln	12,54	497,17	0,708	0,354	0,255	0,349	0,266	0,376	0,486
06	Pln	13,88	557,71	0,687	0,330	0,196	0,307	0,370	0,292	0,549
07	Pln	13,00	448,86	0,953	0,316	0,245	0,335	0,202	0,222	0,493
13	Pln	15,45	481,50	0,673	0,340	0,252	0,237	0,226	0,222	0,381
22	Pln	17,18	668,97	0,631	0,309	0,238	0,279	0,214	0,306	0,402
14	LEa	8,20	424,29	0,638	0,354	0,126	0,342	0,166	0,208	0,339
15	LEa	5,89	390,95	0,680	0,267	0,105	0,097	0,202	0,236	0,423
17	LEa	11,39	555,47	0,806	0,305	0,245	0,195	0,190	0,096	0,332
18	LEa	13,44	617,87	0,771	0,333	0,259	0,342	0,154	0,166	0,430
19	LEa	7,06	376,56	0,869	0,284	0,243	0,237	0,250	0,348	0,276
20	LEa	15,04	513,95	0,610	0,316	0,206	0,195	0,178	0,222	0,458
21	LEa	11,07	409,58	0,897	0,298	0,224	0,174	0,226	0,390	0,493
23	LR	21,42	942,81	0,827	0,382	0,430	0,489	0,538	0,824	0,913
24	LR	22,81	829,58	0,876	0,389	0,388	0,476	0,574	0,852	0,790
25	LR	28,27	659,47	0,743	0,288	0,294	0,335	0,598	1,328	0,682
26	LR	23,26	908,62	0,771	0,302	0,371	0,454	0,442	0,600	0,605
27	LR	19,81	826,11	0,904	0,312	0,329	0,496	0,910	1,482	0,955
28	LR	16,25	767,11	0,778	0,330	0,304	0,447	1,054	1,328	0,955
29	LR	12,43	609,98	0,820	0,305	0,294	0,384	0,574	0,698	0,507
16	TE	36,09	1.135,24	1,226	0,396	0,378	0,398	0,526	1,146	0,661
30	TE	45,72	1.392,12	1,240	0,536	0,434	0,643	0,958	1,412	0,948

além dos coeficientes de regressão linear para os casos de interesse (Tabela 3).

Quanto às quantidades de boro extraídas através dos diferentes métodos químicos, verificaram-se maiores valores de r entre os extratores ácidos. Entre o CH₃COOH 0,05 N e o H₂SO₄ 0,05 N obteve-se correlação positiva altamente significativa ($r = 0,912^{**}$), o mesmo ocorrendo com relação a CH₃COOH e HCl 0,05 N ($r = 0,881^{**}$) e H₂SO₄ e HCl ($r = 0,870^{**}$). O método da água quente, apesar de ter apresentado valores de r significativos com os demais métodos, na maioria dos casos em

que esteve envolvido, levou a obtenção de coeficientes de correlação mais baixos. Quando correlacionado com o HCl, o valor de r obtido foi igual a 0,458*, muito inferior, portanto, ao encontrado por Ponnampereuma et al. (1981), que foi de 0,96*. Não se deve, contudo, dar muita importância ao fato, pois, enquanto no presente trabalho se utilizou volume de terra, aqueles autores empregaram solos de densidades aparentes bastante variáveis e basearam a avaliação em peso de solo. Da mesma forma, o valor de r obtido entre as duas técnicas que empregam a água quente como extra-

TABELA 3. Correlações simples entre matéria seca, boro extraído do solo pela planta e por métodos químicos e características do solo, e coeficientes linear (a) e angular (b).

Variável dependente	Matéria seca			B extraído pela planta			Coeficiente de correlação (r)							
	a	b	r	a	b	r	HCl 0,05 N	Ac. acét. 0,05 N	H ₂ SO ₄ 0,05 N	CaCl ₂ 0,1% (1:2)	CaCl ₂ 0,1% (1:1)	Água quente modificado		
Água quente	0,593	0,011	0,642**	0,519	0,0004	0,623**	0,452*	0,182 ^{ns}	0,458*	0,541**	0,487**	0,406*	0,613**	0,429*
Água quente modificado	0,248	0,050	0,683**	0,210	0,0002	0,705**	0,236 ^{ns}	0,123 ^{ns}	0,508**	0,442*	0,426*	0,629**	0,583**	
CaCl ₂ 0,1% (1:1)	0,137	0,007	0,742**	0,072	0,0003	0,786**	0,666**	0,345 ^{ns}	0,728**	0,702**	0,642**	0,702**		
CaCl ₂ 0,1% (1:2)	0,168	0,010	0,701**	0,062	0,0004	0,805**	0,478**	0,366*	0,761**	0,717**	0,736**			
H ₂ SO ₄ 0,05N	0,087	0,017	0,622**	-0,102	0,0010	0,714**	0,552**	0,502*	0,870**	0,912**				
Ácido acético 0,05 N	-0,069	0,037	0,755**	-0,312	0,0010	0,735**	0,586**	0,563**	0,881**					
HCl 0,05 N	0,291	0,016	0,697**	0,136	0,0010	0,766**	0,457*	0,584**						
pH	4,071	0,048	0,406*	4,380	0,0010	0,430*	-0,029 ^{ns}							
Argila (%)	22,084	0,702	0,398*	13,870	0,0310	0,470**								
Carbão (%)	0,512	0,022	0,375*	0,196	0,0010	0,487**								
B extraído pela planta	235,870	24,520	0,911**											

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

ns não significativo.

tor foi inferior àquele encontrado por Ferreira & Cruz (1984), sendo iguais a, respectivamente, 0,429* e 0,751*.

Na Tabela 3 estão também os estudos de correlação entre os métodos e a percentagem de argila e de carbono e pH. Pode-se verificar que o método da água quente modificado foi o único que apresentou correlação não significativa com cada um dos três, ou seja, não há interferência do pH, da matéria orgânica ou da textura sobre a quantidade de boro extraída por esse método. Por outro lado, as quantidades de boro extraídas aumentaram com a elevação do pH, da percentagem de carbono e da argila com os métodos do HCl, CH₃COOH, H₂SO₄ e CaCl₂ (1:2). Houve ainda ausência de correlação significativa entre o pH e o boro extraído pelos métodos da água quente e CaCl₂ (1:1), ocorrendo, no entanto, correlação significativa entre esses dois extratores e o conteúdo de argila e matéria orgânica dos solos.

Para a seleção do método considerou-se a extração de boro pela planta, embora a produção de matéria seca também pudesse ser empregada, uma vez que se obteve correlação altamente significativa entre esses dois parâmetros ($r = 0,911^{**}$).

Todos os extratores em estudo apresentaram coeficientes de correlação positivos e significativos a 1% de probabilidade com a quantidade de boro extraída pelas plantas. Foi com o método que empregou a solução de CaCl₂ 0,1% nas relações 1:1 e 1:2 que se encontraram os maiores valores absolutos de correlação, iguais, respectivamente, a 0,786** e 0,805**. Os extratores ácidos em estudo, HCl 0,05 N, H₂SO₄ 0,05 N e CH₃COOH 0,05 N apresentaram comportamento semelhante e não muito diferente daquele apresentado pelo CaCl₂ 0,1%, obtendo-se coeficientes de correlação iguais a 0,766**, 0,714** e 0,735** respectivamente. Ponnampuruma et al. (1981) já haviam obtido correlação altamente significativa entre a extração empregando solução de HCl 0,05 N e o conteúdo de boro nas folhas de arroz ($r = 0,91^{**}$).

A extração com água quente, tanto na forma convencional quanto na modificada, foi a que apresentou, também em valores absolutos, os menores coeficientes de correlação com a quantidade de boro extraída pelas plantas (valores de r iguais a 0,623** e 0,705**, respectivamente). Os resulta-

dos disponíveis na literatura com o emprego da água quente no sistema convencional de extração são bastante contraditórios. Contudo, vários autores obtiveram resultados satisfatórios com o seu emprego, vindo daí a idéia de que esse método de extração melhor representa a fração do boro do solo disponível às plantas. Robertson et al. (1975) e Ponnampuruma et al. (1981) obtiveram valores para r respectivamente iguais a 0,87** e 0,84** quando correlacionaram o boro extraído do solo pelas plantas com o extraído pela água quente. Por outro lado, Martens (1968) e Parker & Gardner (1982) observaram correlação não significativa entre essas duas variáveis. Quanto ao método modificado, os resultados obtidos por Ferreira & Cruz (1984) ($r = 0,846^{**}$) foram semelhantes, embora algo melhores que os determinados para o presente ensaio ($r = 0,705^{**}$).

Para comparação dos coeficientes de correlação existentes entre cada extrator e o conteúdo de boro na parte aérea do girassol, aplicou-se o teste t descrito em Gomes (1981), observando-se ausência de diferença significativa entre os valores de r . Em consequência disso, para selecionar o método mais adequado para a determinação do elemento, considerou-se o valor do coeficiente angular (b), escolhendo-se o método com o qual se obteve o menor

valor, o que possibilita maior discriminação dos resultados. Neste sentido, o método da água quente modificado, apresentando menor coeficiente angular, deve ser o indicado.

Efetuararam-se também estudos de correlação parcial, eliminando-se os efeitos do pH, percentagem de carbono e de argila, isoladamente ou dois a dois, sobre os valores de r obtidos entre os métodos e a extração pela planta (Tabela 4).

Ao se isolar os efeitos do pH ou da matéria orgânica (percentagem de carbono) sobre a correlação entre o boro extraído através dos diferentes métodos em estudo e o extraído pela planta, pode-se verificar (Tabelas 3 e 4) que, individualmente, nenhum dos fatores citados afetou significativamente as referidas correlações. No entanto, isolando-se conjuntamente os efeitos de pH e matéria orgânica pode-se constatar que a correlação envolvendo boro extraído do solo pelo H_2SO_4 e o extraído pela planta foi fortemente afetada, enquanto que, para o método de água quente modificado não se observou qualquer influência. Quanto às demais correlações envolvendo os outros métodos, verificaram-se efeitos menos drásticos.

Também quando se eliminou o fator percentagem de argila não se verificou qualquer efeito sobre as correlações entre o boro extraído através

TABELA 4. Correlações parciais entre boro extraído do solo pela planta e por métodos químicos, fixando-se efeito de características do solo.

Características do solo ¹						
	pH	Carbono (%)	Argila (%)	pH carbono (%)	pH argila (%)	Argila (%) carbono (%)
Correlações						
Água quente	0,614**	0,527**	0,522**	0,497**	0,480**	0,523**
Água quente modificado	0,728**	0,686**	0,684**	0,723**	0,722**	0,680**
CaCl ₂ 0,1% (1:1)	0,753**	0,706**	0,719**	0,615**	0,611**	0,717**
CaCl ₂ 0,1% (1:2)	0,771**	0,736**	0,748**	0,656**	0,672**	0,746**
H ₂ SO ₄ 0,05 N	0,638**	0,603**	0,618**	0,383*	0,427*	0,693**
Ácido acético						
0,05 N	0,661**	0,630**	0,643**	0,434*	0,442*	0,633**
HCl 0,05 N	0,703**	0,682**	0,702**	0,528**	0,551**	0,699**

¹ eliminando-se os efeitos pH, percentagem de carbono e de argila, isoladamente ou combinados dois a dois.

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade.

dos extratores químicos e aquele extraído pelas plantas. Contudo, quando foram isolados os efeitos da textura e pH simultaneamente, os valores de correlação entre método e boro extraído pela planta, nos casos do H_2SO_4 , CH_3COOH e água quente, sofreram redução acentuada. Ainda nesse caso, apenas a correlação envolvendo o método da água quente modificado não sofreu efeito da eliminação simultânea da interferência daqueles dois fatores, e as correlações envolvendo os métodos do HCl e $CaCl_2$ nas duas relações sofreram efeitos menos marcantes do que nos casos anteriores.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, aliados à facilidade de emprego e ao baixo custo do método da água quente modificado, permitem concluir ser este método o mais adequado para a avaliação do boro disponível em solos semelhantes aos analisados.

REFERÊNCIAS

- BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron deficiencies as revealed by plant and soil test. *J. Am. Soc. Agron.*, New York, 32(1):297-301, 1940.
- BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron tests and determination for soils and plants. *Soil Sci.*, New Brunswick, 57:25-36, 1944.
- CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C. & KROLL, F.M. Extração e determinação do boro solúvel dos solos. *An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba*, 27: 287-94, 1970.
- COLWELL, W.E. A biological method for determining the relative boron contents of soils. *Soil Sci.*, New Brunswick, 56:71-95, 1943.
- DIBLE, W.T.; TRUOG, E. & BERGER, K.C. Boron determination in soils and plants. Simplified Curcumin Procedure. *Anal. Chem.*, New York, 26(2):418-21, 1954.
- FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. Modificação no método de água em ebulição para extração de boro solúvel em solos. s.l., s. ed., 1984.
- FERREIRA, M.E.; MELLO, F.A.F. & BRASIL SOBRI-NHO, M.O.C. Sugestão para cálculo das necessidades de adubação fosfatada para cultivos em vaso e de estabelecimento de níveis a serem estudados em ensaios de campo. *Científica, Jaboticabal*, 6(3): 387-94, 1978.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. Piracicaba, Nobel, 1981. 430p.
- GUPTA, U. A simplified method for determining hot-water soluble boron in podzol soils. *Soil Sci.*, New Brunswick, 103(6):424-9, 1967.
- LOPEZ RITAS, J. & LOPEZ MELIDA, J. El diagnóstico de suelos y plantas; métodos de campo y laboratorio. 3. ed. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1978. 337p.
- MARTENS, D.C. Plant availability of extractable boron, cooper and zinc as related to selected soil properties. *Soil Sci.*, New Brunswick, 106(1):23-8, 1968.
- ODOM, J.W. Kinetics of the hot-water soluble boron soil test. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 11(7):759-65, 1980.
- PAGE, N.R. & PADEN, W.R. Boron-supplying power of several South Carolina soils. *Soil Sci.*, New Brunswick, 77:427-34, 1954.
- PARKER, D.R. & GARDNER, E.H. Factors affecting the mobility and plant availability of boron in some Western Oregon soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 46(3):573-8, 1982.
- PONNAMPERUMA, F.N.; CAYTON, M.T. & LANTIN, R.S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soil. *Plant Soil, Netherlands*, 61:297-310, 1981.
- RAIJ, B. van & ZULLO, M.A.T. Métodos de análise de solo. Campinas, Instituto Agronômico, 1977. 16p. (Circular, 63).
- ROBERTSON, L.S.; KNEZEK, B.D. & BELO, J.O. A survey of Michigan soils as related to possible boron toxicities. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 6(4):359-73, 1975.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974. 56p.
- SILLANPÄÄ, M. Los oligoelementos en los suelos y en la agricultura. Roma, FAO, 1972. 71p. (Boletim de Suelos, 17).
- VETTORI, L. Métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim, 7).
- WAUGH, D.C. & FITTS, J.W. Estudos para interpretação de análise de solo, de laboratório e em vasos. Raleigh, International Soil Testing, 1966. 33p. (Boletim Técnico, 3).