

# APLICAÇÃO DE BORO NO SOLO E RESPOSTAS DO CAFEIEIRO<sup>1</sup>

ANTONIO E. CORREA<sup>2</sup>, MARCOS A. PAVAN<sup>3</sup> e MARIO MIYAZAWA<sup>4</sup>

**RESUMO** - Estudou-se a resposta de mudas de cafeeiros à nutrição de B, em Latossolo Roxo Distrófico e em Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico fase arenosa apresentando diferente capacidade de adsorção. Os tratamentos consistiram da adição de solução de ácido bórico (0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0  $\mu\text{g}$  de  $\text{Bml}^{-1}$ ). Foram avaliados quatro métodos para extração de B dos solos: pasta de saturação; HCl 0,05 N; HCl 0,1 N; e HCl 0,05 N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 N. Os teores de B foram determinados pelo método com azometina-H. A adsorção de B pelos solos foi consistente com o mecanismo descrito pela isoterma de Langmuir, com exceção dos desvios observados quando a concentração de B na solução do solo foi superior a 4  $\mu\text{g ml}^{-1}$ . A quantidade de B adsorvido aumentou com o pH. Determinou-se que a capacidade dos solos de adsorverem B depende da textura deles. As técnicas de extrato da saturação e da extração de HCl 0,05 N mostraram a melhor correlação com a absorção de B pelas plantas. Encontrou-se que os cafeeiros respondem somente ao B em solução e não são diretamente influenciados pelo B adsorvido.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, método de extração de B do solo, adsorção, azometina-H.

## BORON APPLICATION IN OXISOLS AND RESPONSES OF COFFEE PLANTS

**ABSTRACT** - To determine whether plants respond to adsorbed or soluble boron, coffee seedlings were grown in two oxisols, Dystrophic Dark-Red Latosol and Dystrophic Dusky Red Latosol, having different boron adsorption capacities. Six solution concentrations were employed: 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 and 8.0  $\mu\text{g}$  of  $\text{Bml}^{-1}$ . Four soil boron extraction techniques were evaluated: saturation extract, 0.05 N HCl, 0.1 N HCl, and 0.05 N HCl + 0.025 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Mehlich Solution). Boron proportion was determined by the azomethine-H method. Adsorption of boron by those soils was consistent with a mechanism described by the Langmuir equation, except that deviations occur at solution concentration greater than about 4  $\mu\text{g B/ml}$ . The quantity of boron adsorbed increased with pH. Boron adsorption capacity of the soils has been found to depend on their texture. The saturation extract and 0.05 N HCl extraction techniques showed the best correlation with total plant boron uptake. It was found that coffee plants respond only to boron in solution and are not directly influenced by adsorbed boron.

Index terms: *Coffea arabica*, soil boron extraction method, adsorption, azomethine-H.

## INTRODUÇÃO

Os sintomas da deficiência de B e seus efeitos na produção do cafeeiro foram constatados em campo, em várias regiões do Brasil (Instituto Brasileiro do Café 1974). As estreitas relações entre os níveis de B, deficientes, adequados e tóxicos, nas folhas do cafeeiro, condicionam o uso de métodos analíticos precisos de extração e determinação deste elemento para o diagnóstico correto do estado nutricional das plantas. Os principais méto-

dos de extração de B do solo incluem água quente,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , HF, HCl e extrato de saturação (Farrar 1975). Para determinação, os mais utilizados são os colorimétricos, com as soluções de carmin (Hatcher & Wilcox 1950), curcumina e azometina-H (Basson et al. 1969). Todas essas técnicas apresentam problemas particulares, cuja principal limitação é a otimização experimental para obtenção de resultados consistentes.

Recentemente, Evans & Sparks (1983) apresentaram uma revisão sobre os aspectos químicos e mineralógicos do B, principalmente nos solos das regiões temperadas. Catani et al. (1971) e Ribeiro & Braga (1974) publicaram estudos da adsorção de B nos solos brasileiros. Embora o boro seja um elemento importante para a nutrição dos cafeeiros, são relativamente limitadas as informações sobre a disponibilidade de B no solo e as respostas da planta.

Os principais objetivos do presente trabalho

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 5 de dezembro de 1984.

Parte do trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Londrina, PR, 22 a 26.10.1984.

<sup>2</sup> Acadêmico do curso de Química, Univ. Estadual de Londrina, estagiário da área de Solos do Inst. Agron. do Paraná (IAPAR), bolsista do CNPq, Caixa Postal 1331, CEP 86100 Londrina, PR.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., Ph.D., IAPAR.

<sup>4</sup> Químico, IAPAR.

foram os de estudar os efeitos da aplicação de B no solo na absorção deste elemento pelas mudas de cafeeiro e avaliar métodos de extração e determinação de B no solo para fins de fertilidade.

#### MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras da camada superficial 0 cm - 30 cm) de dois solos da região cafeeira do Paraná, Latossolo Roxo Distrófico (LRD) e Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico fase arenosa (LED), para estudos em casa de vegetação. As principais características químicas e físicas dos solos são apresentadas na Tabela 1.

Os solos foram secados ao ar e transferidos para vaso de argila, com capacidade para 10 kg/vaso de solo seco. A seguir, foram-lhe adicionadas soluções de ácido bórico (0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 µg B/ml) em quantidades suficientes para que a concentração de B na solução efluente fosse igual à aplicada. Após o equilíbrio do solo com as soluções de B, os drenos foram fechados e uma semente de café pré-germinada da cultivar Catuaí Amarelo foi plantada no centro de cada vaso. As mudas de café foram mantidas com os tratamentos por um período de seis meses, durante o qual foram aplicadas periodicamente soluções nutritivas sem B (Hoagland & Arnon 1938).

No final do experimento, as folhas, ramos e raízes foram coletados separadamente, lavados em água deionizada, secados a 65°C, pesados, moídos e armazenados para análise química. Os elementos Ca, Mg, K, P, Mn, Zn, Cu e Fe foram extraídos com a mistura de ácidos nítrico e perclórico, N total, pelo método Kjeldhal, e B por digestão seca (Jackson 1965).

Amostras de solos foram coletadas de cada tratamento, secadas ao ar (TFSA), moídas e armazenadas para análise química. Os elementos Ca, Mg e Al foram extraídos com a solução de KCl 1N e P e K com a solução de Mehlich (Jackson 1965). Os teores de B do solo foram avaliados pelas seguintes soluções extratoras:

#### HCl 0,05 N e 0,1 N

O procedimento consistiu da adição de 20 ml de HCl 0,05 N ou HCl 0,1 N para frascos livres de B, com capacidade de 50 ml, contendo 10 g de TFSA, agitação por 5 minutos a 250 rpm e filtração.

#### HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N (solução de Mehlich)

O procedimento foi idêntico ao descrito por Jackson (1965) para extração de P e K disponíveis no solo.

#### Extrato de saturação

Amostras contendo cada uma 500 g de solo foram transferidas para recipientes de plástico, e adicionada água destilada em quantidades conhecidas, até a completa saturação. A pasta de solo saturada foi deixada em repouso por um período de 12 horas, e a solução, extraída a vácuo. Detalhes do procedimento foram descritos por Farrar (1975).

Os teores de B nos extratos de solo e planta foram

TABELA 1. Propriedades químicas e físicas dos solos.

Parâmetros analisados	Latossolo Roxo Distrófico	Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico fase arenosa
pH	4,80	5,20
Al meq/100 ml	0,80	0,26
Ca meq/100 ml	4,69	0,90
Mg meq/100 ml	1,98	0,40
K meq/100 ml	0,52	0,15
P µg/g	8,00	6,00
CO %	1,80	0,50
Argila %	75,00	11,00
Silte %	10,00	1,00
Areia %	15,00	88,00

determinados pelo método colorimétrico, com as soluções de carmin (Hatcher & Wilcox 1950), curcumina e azometina-H (Basson et al. 1969). Foi avaliada a eficiência desses métodos e automatização das análises no laboratório.

O equilíbrio da adsorção de B pelos solos utilizados no presente estudo foi avaliado através da adição de 20 ml de cada solução padrão de ácido bórico (0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0 e 16 µg B/ml), para tubos de polipropileno (50 ml) contendo 4 g de solo seco. A seguir, procedeu-se à agitação a 250 rpm, por um período de 20 horas, quando a condição de equilíbrio foi estabelecida. O teor de B adsorvido pelo solo foi determinado subtraindo-se o B solúvel após equilíbrio do adicionado mais o originalmente presente no solo (prova em branco).

A equação de Langmuir (Langmuir 1918) foi aplicada para adsorção de B, sendo representada pela seguinte expressão matemática:

$$Ba = (K M Bs)/(1 + K Bs)$$

Ba = boro adsorvido, mg/kg-solo

Bs = boro solúvel

M = capacidade máxima de adsorção

K = constante de equilíbrio de adsorção

A isoterma linear foi obtida pela relação entre Bs/Ba com Bs; a constante de equilíbrio de adsorção K, pela divisão do declive pela interseção da isoterma; e M, pelo inverso do declive da isoterma.

Foram também avaliados os efeitos do pH na capacidade de adsorção dos solos, segundo a técnica descrita por Catani et al. (1971).

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das avaliações dos métodos colorimétricos para determinação de B em extratos de

planta e solo estão resumidos na Tabela 2.

Em função da simplicidade, precisão, alta recuperação do B adicionado nos extratos, ampla faixa linear de calibração, menor interferência ambiental, dispensa do uso de ácidos concentrados, reação de complexação rápida e facilidade operacional no laboratório, todas as demais determinações de B foram realizadas pelo método colorimétrico com a solução de azometina-H.

Na Tabela 3, são apresentados os dados dos efeitos da aplicação de B no solo na concentração deste elemento em equilíbrio na solução e adsorvido. Como seria esperado, a concentração de B adsorvido foi mais elevada no LRD do que no LED, provavelmente devido aos teores mais elevados de matéria orgânica, sesquióxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e argila (Ribeiro & Braga 1974). A representação linear, isoterma de Langmuir, correspondendo à relação entre o quociente da divisão de B em equilíbrio na solução pelo adsorvido com a concentração de B solúvel, encontra-se na Fig. 1.

Os desvios da relação linear demonstraram que a adsorção de B nos solos estudados pode ser expressa pela equação de Langmuir, apenas em alguns limites da concentração de B solúvel. As constantes derivadas da equação de Langmuir demonstraram que a máxima capacidade de adsorção de B foi altamente relacionada com a textura do

TABELA 2. Avaliação dos métodos colorimétricos para determinação de B em extratos de solo e planta.

Parâmetros analisados	Carmim	Curcumina	Azometina-H
Reação de complexação	rápida	lenta	rápida
Recuperação de B adicionado no extrato (%)	96	97	95
Calibração linear, $\mu\text{gBml}^{-1}$	10	2	8
Varição (%)	8,5	2,5	5,2
Influência ambiental	alta	baixa	baixa

TABELA 3. Efeitos da adição de B nos teores do elemento solúvel e adsorvido pelos solos estudados.

Boro adicionado	Boro em equilíbrio na solução	Boro adsorvido
$\mu\text{g/ml}$		mg/kg
Latossolo Roxo Distrófico (pH 4,8)		
0,0	0,11	----
0,5	0,30	1,55
1,0	0,57	2,70
2,0	1,26	4,25
4,0	2,65	7,30
8,0	6,17	9,70
16,0	13,00	15,55
Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico (pH 5,2)		
0,0	0,34	----
0,5	0,64	0,50
1,0	1,18	0,80
2,0	2,11	1,15
4,0	3,93	2,05
8,0	8,06	2,80
16,0	15,60	3,70

solo, o que, aliás, não é novidade para os solos brasileiros, como foi demonstrado nos trabalhos de Catani et al. (1971) e Ribeiro & Braga (1974). O solo argiloso apresentou maior capacidade de adsorção de B do que o arenoso.

O efeito do pH na capacidade de adsorção do B pelo LRD é apresentado na Fig. 2. A capacidade de adsorção aumentou linearmente com o pH. Este fato confirma as observações de campo (dados não publicados), nas quais os teores de B nas folhas de cafeeiros diminuem consideravelmente após a calagem aplicada em doses necessárias para elevar o pH a 6,0 - 6,5. Resultados semelhantes foram publicados na literatura (Olson & Berger 1946, Hingston 1964).

Os efeitos da aplicação de B no solo, nos teores adsorvidos e solúveis em vários extratores químicos, peso seco das mudas de café e concentração de B nas folhas, são apresentados na Tabela 4. Os resultados demonstraram duas características distintas das mudas de café: 1. aumento progressivo no desenvolvimento das plantas com o aumento na concentração de B solúvel (0,06 - 0,80  $\mu\text{g B/g}$ ); 2. diminuição no desenvolvimento das plantas com o aumento de B solúvel acima de 1,0  $\mu\text{g B/g}$  no

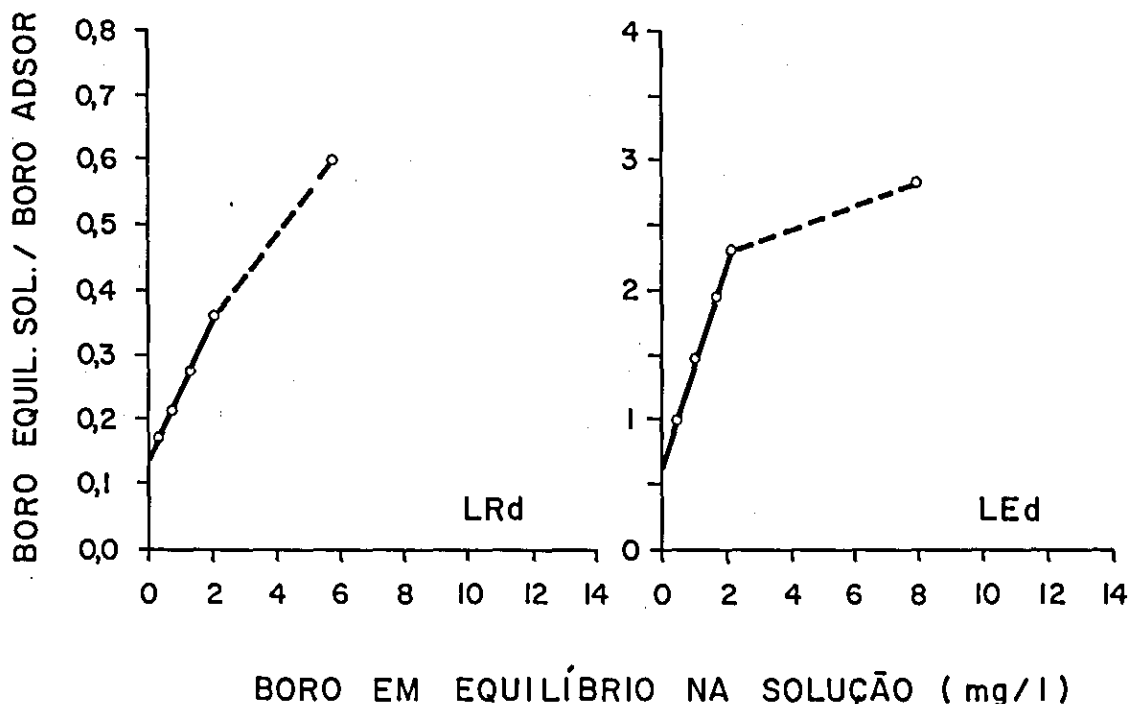


FIG. 1. Isoterma de adsorção de Langmuir. As linhas pontilhadas indicam desvios.

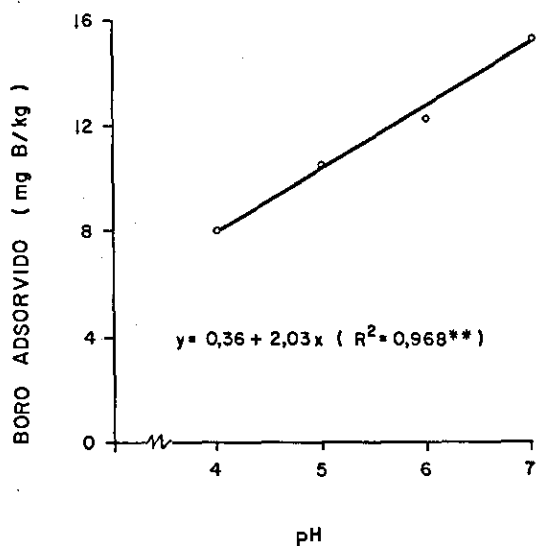


FIG. 2. Capacidade máxima de adsorção de boro em função do pH.

extrato de saturação. Embora os solos em estudo tenham apresentado diferente capacidade de adsorção de B, a resposta das mudas de café foi em função da concentração de B na solução e não do adsorvido pelo solo. A exemplo, o máximo desenvolvimento das plantas no LRD ocorreu quando a concentração de B na solução foi de 0,60 - 0,80  $\mu\text{g/g}$ , e B adsorvido de 4,25 - 7,30  $\mu\text{g/g}$ ; e para LED, B na solução, 0,77  $\mu\text{g/g}$  e B adsorvido 2,05  $\mu\text{g/g}$ .

As correlações simples entre B absorvido pelas plantas com o adsorvido e solúveis no extrato de saturação, HCl 0,05 N, HCl 0,1 N e HCl 0,05 N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 N, foram respectivamente, ns, 0,96\*\*, 0,90\*\*, 0,85\*\* e ns. As determinações de B adsorvido pelo solo e do extraído com a solução de Mehlich apresentaram correlações não-significativas com os teores de B absorvidos pelas mudas de café. Os resultados sugerem que os métodos extraído de saturação e HCl 0,05 N extraíram a fração de B do solo que melhor se correlacionou com o

TABELA 4. Efeitos do boro no solo (adicionado, adsorvido e extraído) no desenvolvimento das plantas e na concentração de B nas folhas de cafeeiros.

Boro adicionado	Boro adsorvido	Métodos de extração de boro				Peso seco total**	Boro folha
		Extrat. satur.*	HCl 0,05 N	HCl 0,1 N	Sol. Mehlich		
µg/ml	mg/kg	µg/g				g/pl.	µg/g
Latossolo Roxo Distrófico							
0,0	1,55	0,07	0,14	0,45	2,01	18,7 c	52
0,5	2,70	0,30	0,58	0,67	2,58	21,8 b	60
1,0	4,25	0,60	0,69	0,84	5,91	23,6 a	88
2,0	7,30	0,80	0,70	0,90	6,35	23,0 a	95
4,0	9,70	1,22	1,16	1,18	7,62	18,3 c	107
8,0	15,55	3,00	1,44	1,79	9,54	10,3 d	253
Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico							
0,0	0,50	0,16	0,45	0,69	2,42	11,4 c	60
0,5	0,80	0,60	0,41	0,79	2,45	12,7 c	86
1,0	1,15	0,68	0,80	1,29	2,75	15,9 b	92
2,0	2,05	0,77	0,90	1,33	2,80	21,5 a	102
4,0	2,80	1,93	1,10	1,20	3,00	16,9 b	172
8,0	3,70	3,19	1,43	1,46	3,30	11,1 c	243

\* Resultados expressos em peso seco, ponto de saturação LRD 60% e LED 25%

\*\* Teste de Tukey a nível de 5%

absorvido pelas mudas de café. As concentrações de B no extrato de saturação < 0,30; 0,60 - 0,80 e > 1,0 foram consideradas baixa, adequada e alta, respectivamente.

**CONCLUSÕES**

1. A máxima capacidade de adsorção de B foi mais elevada no Latossolo Roxo Distrófico do que no Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico fase arenosa. O teor de B adsorvido aumentou com a elevação do pH.

2. A absorção de B pelas raízes do cafeeiro foi em função do teor em equilíbrio na solução e não do adsorvido pelo solo.

3. As extrações de B do solo com a pasta de saturação ou HCl 0,05 N apresentaram as melhores correlações com o adsorvido pelas raízes do cafeeiro.

**REFERÊNCIAS**

BASSON, N.D.; BOHMER, R.G. & STANTON, D.A. An automated procedure for the determination of boron in plant tissue. *Analyst*, London, 94:1135-41, 1969.  
 CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C. & KROL, F.M. A adsorção de boro pelo solo. *An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba*, 28:189-98, 1971.

EVANS, C.M. & SPARKS, D.L. On the chemistry and mineralogy of boron in pure and mixed systems; a review. *Commum. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 14(9):827-46, 1983.  
 FARRAR, K. A review of extraction techniques used to determine available boron in soils. *ADAS Q. Rev.*, Wolverhampton, 19:93-100, 1975.  
 HATCHER, J.T. & WILCOX, L.V. Colorimetric determination of boron using carmine. *Anal. Chem.*, Washington, 22:567-9, 1950.  
 HINGSTON, F.J. Reaction between boron and clays. *Aust. J. Soil Res.*, Melbourne, 2: 83-95, 1964.  
 HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soil. Berkeley, Univ. Calif. Coll. Agric., 1938. 39p. (Circular, 347).  
 INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, Rio de Janeiro, RJ. *Cultura do café no Brasil*. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1974. 261p.  
 JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis*. Englewood, Prentice Hall, 1965. p.370-87.  
 LANGMUIR, I. The adsorption of gases on plane surface of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.*, Washington, 40:1361-1402, 1918.  
 OLSON, R.V. & BERGER, K.C. Boron fixation as influenced by pH, organic matter and other factors. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 11: 216-20, 1946.  
 RIBEIRO, A.C. & BRAGA, J.M. Adsorção de boro pelo solo. *Experientiae, Viçosa*, 17(12):293-310, 1974.