



# BRAGANTIA

Revista Científica do Instituto Agrônomo, Campinas

Vol. 39

Campinas, maio de 1980

Artigo n.º 7

## CORRELAÇÃO ENTRE O FÓSFORO EXTRAÍDO DE SOLOS POR DIVERSOS EXTRATORES QUÍMICOS E O ABSORVIDO PELO MILHO (1)

BERNARDO VAN RALJ (2) e CELI TEIXEIRA FEITOSA (2), *Seção de Fertilidade do Solo, Instituto Agrônomo*

### RESUMO

Diversos métodos de extração de fósforo de solos foram comparados em sua eficiência para avaliar a disponibilidade do elemento em solos. Para tanto, correlacionou-se o fósforo absorvido de 18 solos pela cultura do milho cultivado em vasos, com o fósforo retirado do solo por diversos extratores químicos.

Os seguintes coeficientes de determinação ( $r^2$ ) foram calculados, para ajuste da equação do 2.º grau: 0,740 para  $H_2SO_4$  0,05N; 0,752 para  $NaHCO_3$  0,5N a pH 8,5; 0,772 para  $NH_4F$  0,03N + HCl 0,025N; 0,773 para resina trocadora de ânions. Também foram testadas cinco adaptações do método do  $H_2SO_4$  0,05N e cinco adaptações do método do  $NaHCO_3$ , sem que se tenham obtido melhores correlações. Concluiu-se que, para as condições da pesquisa realizada, os diversos métodos testados para a determinação de fósforo em solos tiveram um comportamento similar.

### 1. INTRODUÇÃO

A seleção de um método adequado para extrair fósforo do solo, que permita avaliar de maneira razoável a disponibilidade do elemento para as plantas, tem sido uma preocupação constante de pesquisadores.

As plantas absorvem o fósforo da solução do solo. Os teores de P na

solução são sempre muito baixos e, à medida que ocorre a depleção com a absorção pelas raízes das plantas, ocorre a reposição através de P de formas sólidas que se encontram em equilíbrio com o P da fase líquida. O P da fase sólida que está em equilíbrio com o P da fase líquida tem sido chamado de "fósforo lábil".

(1) Trabalho apresentado no XVII Congresso da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, realizado em Manaus (AM) de 8 a 13 de julho de 1979. Recebido para publicação a 13 de agosto de 1979.

(2) Com bolsa de suplementação do CNPq, quando da realização do trabalho.

Uma das dificuldades da escolha de um método para fósforo é que não há uma transição clara entre o fósforo lábil e o não lábil dos solos. Além disso, o fósforo encontra-se no solo em diversos tipos de ligações químicas, principalmente em compostos de ferro, alumínio, cálcio e na matéria orgânica.

Uma variedade de extratores de fósforo tem sido desenvolvida, como bem mostram os trabalhos de revisão de ANDERSON & MORGENSENT (1) e de BINGHAM (2).

No Brasil têm sido usados como extratores o método IAC ou  $H_2SO_4$  0,05N (4) + HCl 0,050N (6). Os dois extratores, que dão praticamente os mesmos resultados, têm sido pouco eficientes para alguns solos argilosos bem supridos de fósforo, para os quais indicam, com certa frequência, teores baixos de fósforo. Uma hipótese é de que em tais solos o fósforo estaria predominantemente ligado a alumínio. Ácidos fortes diluídos, como os usados nos métodos IAC e Mehlich, não são muito eficientes para extrair o P existente nessa combinação.

Para fósforo ligado a alumínio, os métodos de BRAY & KURTZ (3), que utilizam  $NH_4F$  em meio ácido, são mais adequados. OLSEN et alii (7) desenvolveram um método baseado em extração com solução de  $NaHCO_3$  que seria mais adequado para solos calcários.

A dificuldade de métodos de fósforo que visam a uma ação específica sobre determinadas formas de fósforo no solo, é que tais formas variam amplamente de ocorrência, podendo apenas ocorrer predominância de algumas em certos solos. Além

disso, os extratores químicos para fósforo não são amplamente específicos, extraíndo sempre parte de outras formas de P.

O método da resina trocadora de anions (5, 10), pelo qual o fósforo é extraído de uma suspensão de solo e água através de uma resina trocadora de anions, apresenta como grande vantagem o fato de a extração se dar com água. Além disso, o processo de extração em muito se assemelha ao das raízes. Em uma revisão sobre extratores de P de solos, ficou demonstrada a superioridade do método da resina trocadora de anions sobre outros métodos (9).

A extração em água, que também não tem os inconvenientes dos extratores que incluem reagentes químicos, também se tem revelado adequada em certas condições (8).

Neste trabalho são comparados vários métodos de extração de fósforo do solo. Foram testadas algumas variações dos extratores IAC e de Olsen e os extratores de Bray, a água e a resina trocadora de anions. Os resultados obtidos foram correlacionados com a absorção de P pela cultura do milho .

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Usando o milho como planta-teste, foi realizado um ensaio em vasos com amostras de dezoito solos, todas coletadas nas seguintes estações experimentais paulistas: 1 e 2, Tietê; 3 e 4, Jaú; 5, Tatuí; 6, 7 e 8, Ribeirão Preto; 9, 10 e 11, São Simão; 12, 13 e 14, Capão Bonito; 15 e 16, Itararé; 17 e 18, Monte Alegre do Sul (Quadro 1).

QUADRO 1. — Classificação e resultados analíticos dos solos usados para comparação de métodos de determinação de fósforo em solos

Número	Legenda	Argila	Matéria orgânica	pH	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>
		%	g/cm <sup>3</sup>					
					————— meq/100 cm <sup>3</sup> —————			
1	PVp	14	2,4	6,0	0,0	1,6	0,3	0,35
2	PVp	16	2,4	5,8	0,0	2,4	0,6	0,29
3	LR	31	3,2	6,0	0,0	3,0	0,9	0,26
4	LR	35	2,8	6,0	0,0	3,0	0,7	0,28
5	LE	63	3,4	5,0	0,8	3,8	1,0	0,54
6	LR	63	5,7	5,7	0,0	5,3	2,6	0,25
7	LR	66	5,5	5,7	0,0	6,3	2,0	0,65
8	LR	66	5,3	5,4	0,0	3,2	1,2	0,22
9	LEa	16	2,1	7,2	0,0	1,8	2,1	0,13
10	LR	30	3,5	6,8	0,0	3,8	3,4	0,38
11	LR	50	4,3	6,6	0,0	5,8	3,1	0,43
12	LE	44	5,1	5,9	0,0	4,7	1,9	0,14
13	LE	46	5,1	6,3	0,0	5,7	2,0	0,47
14	PV	24	3,3	6,2	0,0	3,9	1,3	0,11
15	B. câmbico	44	11,5	5,0	0,8	3,9	1,3	0,23
16	B. câmbico	36	8,9	4,9	0,9	2,8	0,9	0,20
17	PV	44	3,9	5,6	0,1	3,2	1,1	0,37
18	PV	45	5,5	5,3	0,3	2,0	1,4	0,24

As amostras foram analisadas em seu teor de fósforo, utilizando diversos extratores para o elemento.

O ensaio foi feito com vasos de Mitscherlich contendo 6 litros de terra. Para cada solo foram utilizados seis vasos, sendo três com tratamento de fósforo e três sem fósforo. Cada vaso recebeu no plantio 1,9g de sulfato de amônio, 1g de sulfato de potássio e 0,1g de sulfato de zinco. No caso do tratamento com fósforo, aplicaram-se também 6g de superfosfato triplo por vaso. O milho foi semeado em 6-12-74 e colhido em 27-02-75. Após cerca de um mês da

semeadura, aplicaram-se 2g de sulfato de amônio por vaso. O milho foi colhido, seco a 65°C e pesado. O material seco foi moído e o seu teor de fósforo total, determinado.

O fósforo dos solos foi extraído utilizando os seguintes procedimentos: para a extração, determinou-se o peso seco específico do volume de terra fina seca ao ar e pesou-se, para cada solo, o necessário para dar o volume desejado. Os métodos de extração estudados incluíram variações do método do ácido sulfúrico 0,05N (4), do bicarbonato de sódio (7) e extrações com solução ácida de fluoreto de amônio

(3), água (8) e resina trocadora de ânions (5, 10). As relações entre volumes de solução extratora para volume de terra são indicados no quadro 3. No caso de água, a solução continha 0,005% de superfloc para evitar dispersão. Além disso, a amostra era umedecida, na véspera, com 2ml de água. Para a determinação do fósforo nos extratos, utilizou-se o método colorimétrico do ácido sulfomolibdico, com antimônio como catalisador e ácido ascórbico como redutor.

Para a avaliação dos diferentes métodos, calculou-se a correlação entre os valores de fósforo absorvido pela cultura de milho e os teores de P no solo obtidos por cada método, ajustando-se uma equação do 2.º grau aos dados.

QUADRO 2. — Resultados do ensaio de milho, em termos de matéria seca e fósforo absorvido

Amostra	Matéria seca		Produção relativa	P absorvido no tratamento sem fósforo
	Sem fósforo	Com fósforo		
n.º	g/vaso	g/vaso	%	mg/vaso
1	19,8	25,3	78	33,7
2	17,0	24,8	69	27,9
3	22,2	24,7	90	41,2
4	19,0	24,7	77	40,4
5	12,7	26,0	49	21,2
6	13,2	27,0	49	17,6
7	16,5	25,0	66	25,0
8	14,7	24,0	61	21,1
9	6,0	23,3	26	9,6
10	11,5	25,3	46	18,8
11	5,2	24,3	21	5,6
12	16,3	22,7	72	31,2
13	20,0	24,5	82	42,8
14	6,5	27,2	22	7,3
15	6,0	26,0	23	7,0
16	6,5	24,0	27	8,3
17	17,0	26,7	64	23,9
18	22,3	27,5	81	35,1

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de vasos são apresentados no quadro 2. Como existiu alta correlação entre os dados de produção relativa e de fósforo absorvido, com um valor de r de 0,972, utilizaram-se para os estudos posteriormente relatados apenas os dados de P absorvido. Convém ressaltar que, para tipos de estudos como o relatado neste trabalho, bastaria fazer o ensaio com os tratamentos sem fósforo.

No quadro 3 são apresentados os resultados de fósforo dos solos quando foram utilizados os diferentes métodos. Como é de esperar para P em solos, os teores variaram com o método analítico empregado. Os resul-

Quadro 3 — Fósforo absorvido do solo pela cultura do milho e extraído por diversos métodos químicos

Amo- stra N.º	Resina	NH <sub>4</sub> F 0,03 N + HCl 0,025N		P extraído por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05N em diversas relações solo: solução				NaHCO <sub>3</sub> 0,5N, pH 8,5 relação solo: solução de 100:5		NaHCO <sub>3</sub> 0,5N, pH 8,5 relação solo: solução de 100:2		
		1:100	2:100	5:100	10:100	25:100	Normal	Com NH <sub>4</sub> F	Com NH <sub>4</sub> F e EDTA	Normal	Com NH <sub>4</sub> F e EDTA	
1	21	45	54	34	25	15	21	9,1	12,2	28	27	41
2	17	42	45	26	19	11	19	8,0	11,8	25	26	48
3	45	89	82	56	41	23	39	22,6	26,4	57	64	69
4	52	88	83	62	42	26	40	24,4	32,0	61	60	96
5	17	43	30	16	10	4	13	7,3	10,5	20	24	33
6	9	11	12	7	3	1	5	2,8	3,3	9	9	9
7	14	17	19	9	5	1	10	4,9	6,7	13	13	19
8	8	18	15	8	4	1	6	4,4	4,8	12	15	14
9	8	20	21	12	7	4	7	3,1	2,8	12	12	14
10	8	18	16	11	5	2	6	3,4	3,7	12	7	14
11	3	6	11	6	3	1	3	2,0	1,5	3	3	4
12	21	60	37	21	13	4	13	8,5	12,8	23	26	53
13	40	91	124	30	41	10	33	17,7	28,6	49	52	109
14	5	10	17	4	3	1	5	1,3	1,9	4	5	9
15	6	8	11	4	2	1	5	3,2	8,5	10	12	28
16	7	12	11	5	2	1	7	4,8	9,0	11	13	28
17	6	12	12	8	5	2	10	3,1	3,6	9	8	14
18	10	31	23	14	8	3	8	6,4	9,3	12	17	35

mg/dm<sup>3</sup> de terra

tados são mais elevados quando se aumenta a relação de solução para solo e, principalmente, quando  $\text{NH}_4\text{F}$  é incluído no extrator. O extrator  $\text{NH}_4\text{F}$  0,03N +  $\text{HCl}$  0,025N mostrou-se bastante eficaz na extração de P do solo, o que permite supor que nos solos estudados os teores de P ligados a alumínio são elevados.

A correlação de P absorvido com o P do solo obtido pelos vários métodos testados, através do ajuste de uma equação do 2.º grau, permitiu calcular os coeficientes de determinação apresentados no quadro 4: por eles, é possível admitir que não haveria vantagem em substituir qualquer um dos métodos testados pelo  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N, na relação solução: solo de 100:10, em uso presentemente no IAC, já que

a eficiência dos vários métodos é comparável.

Foi testada também a extração com água, fornecendo um coeficiente de determinação de 0,679. Como no caso foi incluído o floculante superfloc, os resultados da extração com água não foram apresentados no quadro 3, para não dar a idéia de que este extrator seria menos eficiente que os demais, desestimulando assim uma pesquisa melhor da extração aquosa, que pode em certos casos ser muito eficiente (8).

A resina trocadora de ânions, que em diversos trabalhos tem-se revelado mais eficiente que outros extratores (9), neste trabalho mostrou-se comparável, mas não superior, aos outros métodos.

QUADRO 4. — Coeficientes de correlação para ajuste da equação do 2.º grau, entre teores de fósforo nos solos determinados por diversos métodos e o fósforo absorvido dos solos pelo milho

Solução extratora	Relação solo: :solução	Coefficiente de determinação ( $r^2$ )
$\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,05N .....	1:100	0,671
$\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,05N .....	2:100	0,748
$\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,05N .....	5:100	0,755
$\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,05N .....	10:100	0,740
$\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,05N .....	25:100	0,592
$\text{NaHCO}_3$ 0,5N .....	5:100	0,752
$\text{NaHCO}_3$ 0,5N + $\text{NH}_4\text{F}$ 0,01N .....	5:100	0,796
$\text{NaHCO}_3$ 0,5N + $\text{NH}_4\text{F}$ 0,01N + EDTA 0,01N .....	5:100	0,665
$\text{NaHCO}_3$ 0,5N .....	2:100	0,737
$\text{NaHCO}_3$ 0,5N + $\text{NH}_4\text{F}$ 0,01N .....	2:100	0,679
$\text{NaHCO}_3$ 0,5N + $\text{NH}_4\text{F}$ 0,01N + EDTA 0,01N .....	2:100	0,725
$\text{NH}_4\text{F}$ 0,03N + $\text{HCl}$ 0,025N .....	2,5:50	0,772
Resina trocadora de ânions em água .....	5:50	0,773

CORRELATION OF PHOSPHORUS UPTAKE BY MAIZE AND DETERMINED  
BY CHEMICAL METHODS

## SUMMARY

Phosphorus uptake by maize from 18 soils in a pot trial, was correlated with P extracted by chemical solutions.

The coefficients of determination were 0.740 for 0.05N  $H_2SO_4$ , 0.752 for 0.5N  $NaHCO_3$  at pH 8.5, 0.772 for 0.03N  $NH_4F$  in 0.025N HCl and 0.773 for extraction with anion exchange resin. It was concluded that for the conditions of this work the different methods for P were equally efficient.

## BIBLIOGRAFIA

1. ANDERSON, A. J. & MORGENSENT, T. A comparison of various laboratory methods for determining the phosphate conditions in soils. *Acta Agric. scand.*, 12:315-323, 1962.
2. BINGHAM, F. T. Chemical soil tests for available phosphorus. *Soil Sci.*, 94:87-95, 1962.
3. BRAY, R. H. & KURTZ, L. T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59:39-45, 1945.
4. CATANI, R. A.; GALLO, J. R. & GARGANTINI, H. Amostragem de solo, métodos de análises, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônômico, 1955. 20p. (Boletim, 69)
5. COOKE, I. & HISLOP, J. Use of anion exchange-resin for assessment of available soil phosphate. *Soil Sci.* 96:308-311, 1963.
6. NELSON, W. L.; MEHLICH, A. & WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil tests for phosphorus availability. In: PIERRE, W. H. et alii, (eds.). Soil and fertilizer phosphorus. New York, Academic Press, 1953. p. 153-188. (ASA Series, v.4)
7. OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATANABE, F. S. & DEAN, L. A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington. USDA, 1954. 19p. (Circular, 939)
8. PAAUW, F. VAN DER. An effective water extraction method for the determination of plant available P. *Plant Soil*, 34:467-481, 1971.
9. RAIJ, B. VAN. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. *R. bras. Ci. Solo*, 2:1-9, 1978.
10. SIBBESEN, E. A simple ion-exchange resin procedure extracting plant available elements from soil. *Plant Soil*, 46:665-669, 1977.