

SORÇÃO DE FÓSFORO EM ALGUNS SOLOS DO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO¹

JOSÉ RIBAMAR PEREIRA² e CLEMENTINO MARCOS BATISTA DE FARIA³

RESUMO - O trabalho foi realizado em quinze amostras de solos da região semi-árida do Nordeste do Brasil, sendo cinco Vertissolos (V), três Latossolos Vermelho-Amarelos (LVa), dois Podzólicos Vermelho-Amarelos (PVa), um Cambissolo Carbonático (CbCarb.), um Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico (LVEe), um Cambissolo Vértico (CbV), um Cambissolo Latossólico (CbL) e outro Bruno não-Cálcico (BnCa). O objetivo foi avaliar, por meio da isoterma de Langmuir, a capacidade de sorção de P por estes solos. Os resultados obtidos mostraram que houve uma grande variação da sorção de P (0,124 a 0,805 mg P/g) pelos solos, ou seja: mais alta, nos solos alcalinos (V, CbCarb., CbV e CbL), e mais baixa, nos solos levemente ácidos (LVa e PVa). A sorção máxima de P correlacionou-se positivamente com o pH, equivalente de umidade, a CTC, matéria orgânica, argila e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺.

Termos para indexação: adsorção de P, fixação de P, sorção máxima, adubação com P, efeito residual do P.

PHOSPHORUS SORPTION IN SOME SOILS OF THE SEMI-ARID REGION OF THE BRAZILIAN NORTHEAST

ABSTRACT - This work was carried out in fifteen soil samples of the semi-arid region of the Brazilian Northeast. The soils were the following: five Vertisols (V), three Red Yellow Latosols (LVa), two Red Yellow Podzolic (PVa), one Carbonatic Cambisol (CbCarb.), one eutrophic Red Dark Latosol (LVEe), one Vertic Cambisol (CbV), one Latossolic Cambisol (CbL), and one non Calcic Brown (BnCa). The objective was to evaluate, through the Langmuir isotherm, the capacity of phosphorus sorption by these soils. The results obtained showed that the phosphorus sorption by the soils varied from 0.124 to 0.805 mg P/g. It was higher in the alkaline soils (V, CbCarb, CbV, and CbL) and lower in the acid soils (LVa and PVa). The maximum phosphorus sorption correlated positively with pH, water content at 0.3 bar, CTC, organic matter, clay content and exchangeable calcium and magnesium.

Index terms: P adsorption, P fixation, maximum sorption, P fertilization, residual phosphorus.

INTRODUÇÃO

Os solos da região semi-árida brasileira contêm baixos teores de P, um dos elementos que mais limita a produtividade das culturas nessa região. Conseqüentemente, para obtenção de produtividades elevadas, torna-se necessária a adição de fertilizantes fosfatados.

É conhecido que apenas uma fração do P aplicado ao solo, variando de 15 a 25%, é aproveitada por um ciclo de cultura, e o restante permanece no solo, sendo parte adsorvida pelos colóides, parte combinada com os componentes do solo, ficando sob forma insolúvel e, ainda, outra parte imobilizada por microorganismos (Black, 1968; Tisdale & Nelson, 1969). Gonçalves et al. (1989) e Moreira et al. (1991) verificaram que a disponibilidade de P para as plantas diminuiu com o aumento do tempo de contato do fertilizante fosfatado com o solo. Segundo Barrow (1983), o fosfato que tem reagido com o solo por um longo período não é fixado, mas, penetra nas partículas do solo e pode ser recuperado lentamente.

¹ Aceito para publicação em 27 de outubro de 1997.

² Eng. Agr., Dr., Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, CEP 56300-000 Petrolina, PE. E-mail: riba@cpatsa.embrapa.br

³ Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-CPATSA.

te, se uma baixa, porém suficiente atividade superficial, for induzida. Para esse autor, é mais razoável chamar o processo de reação entre o solo e o fosfato, de sorção. O processo consiste, inicialmente, de uma verdadeira adsorção, seguida por uma penetração.

Informações básicas sobre a cinética e a sorção de P pelo solo e as mudanças de equilíbrio com a solução deste elemento são de grande importância, do ponto de vista da nutrição das plantas, para tornar possível obter maior eficiência no uso de fertilizantes fosfatados. Segundo Novais & Kamprath (1979), a imobilização de P no solo passa por dois mecanismos: um, de adsorção, e outro, de precipitação. Adsorção é definida como um processo em que o fosfato é quimicamente retido na superfície de compostos, como: argilas (Rennie & McKercher, 1959), matéria orgânica (Fassbender, 1966), hidróxido de ferro e alumínio (Hsu, 1964) e carbonato de cálcio (Cole et al., 1953). A formação de precipitados decorre da reação dos íons de fosfato com íons de Al, Fe, Mn, Ca e Mg solúveis na solução do solo (Hsu, 1965; Buckman & Brady, 1974).

A sorção máxima revela o que poderá ocorrer com o P adicionado ao solo para as culturas, em termos de aproveitamento, e, também, para utilização posterior pelas plantas, constituindo-se no que se denomina de "efeito residual". Rennie & McKercher (1959) indicaram que os valores calculados de sorção máxima de P é um índice confiável da capacidade do solo de fornecer P para as plantas. Woodruff & Kamprath (1965) relacionaram satisfatoriamente o desenvolvimento do milho com o grau de saturação da sorção máxima do solo.

A sorção de fosfatos tem sido estudada por vários autores mediante as equações de Langmuir & Freundlich (Cole et al., 1953; Olsen & Watanabe, 1957; Hsu, 1964; Bittencourt & Zambello Júnior, 1975) com a finalidade de avaliar a retenção de fosfato aplicado ao solo como fertilizante.

A reação dos fertilizantes fosfatados com o solo depende da natureza do sorvente, do pH, da textura, entre outros fatores; isto, porque os compostos que ocorrem em solos ácidos e em solos de reação alcalina que têm capacidade de adsorver fosfato ou reagir diretamente, são bem diferentes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de sorção de P de alguns solos levemente ácidos e alcalinos da região semi-árida.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com amostras coletadas à profundidade de 0-30 cm de quinze solos da região semi-árida, a saber: quatro de Irecê, BA: Cambissolo Carbonático (CbCarb), Latossolo-Vermelho Escuro eutrófico (LVEe), Cambissolo Latossólico (CbL) e Cambissolo Vértico (CbV), e onze do Submédio São Francisco: três Latossolos Vermelho-Amarelos (LVa) e dois Podzólicos Vermelho-Amarelos (PVa) de Petrolina, PE, e cinco Vertissolos (V) e um Bruno não-Cálcico (BnCa) de Juazeiro, BA, cujas características físicas e químicas, constam na Tabela 1, segundo método de análise da Embrapa (1979).

A sorção de P foi avaliada pela forma linear da equação de Langmuir: $C/x/m = 1/Ks + C/s$, que permite calcular a quantidade de P retido (x) por unidade de massa do adsorvente (m), em função da concentração da solução em equilíbrio (C). O valor "s" corresponde à sorção máxima, "1/s", à inclinação da reta ou isoterma, e "K", à constante relacionada com a energia de sorção (Olsen & Watanabe, 1957).

Para avaliação da sorção foram tomadas diversas porções de 10 g de solo seco passado em peneira de 2 mm, que foram agitadas durante 24 horas com 100 mL de solução de $CaCl_2$ 0,01 M contendo: 0, 10, 20, 30, 50 e 70 ppm de P na forma de KH_2PO_4 . Após o período de agitação, as amostras foram centrifugadas a 2.500 rpm, e o fosfato foi dosado na solução de equilíbrio. O P retido foi calculado pela diferença entre os teores de P adicionado e o encontrado na solução após o período de agitação. Com os dados obtidos, foram calculadas, pela fórmula de Langmuir (Fassbender, 1966), a capacidade máxima de sorção de P (s) e a energia de ligação (K).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados das análises físicas e químicas dos solos, contidos na Tabela 1, indicam que os valores de pH variaram de ligeiramente ácido, como é o caso dos Latossolos e Podzólicos, a alcalinos, como os Vertissolos, que contém de 5% a 10% de carbonato livre (FAO, 1966). A soma de bases, representada principalmente pelo Ca, variou de pouco mais 1,0 cmol/dm³ de solo (Latossolos Vermelho-Ama-

TABELA 1. Características físicas e químicas de solos da região semi-árida brasileira.

Características	Solos														
	CbCarb	LVEe	CbV	CbL	LVa(1)	LVa(2)	LVa(3)	PVa(1)	PVa(2)	V(1)	V(2)	V(3)	V(4)	V(5)	BnCa
pH (1:2,5)	7,8	7,0	7,4	7,6	6,1	6,3	5,6	6,2	6,2	7,5	8,2	8,2	8,1	7,9	8,5
Ca ²⁺ (cmol/dm ³)	37,2	7,7	21,1	12,2	1,2	2,1	0,8	1,5	0,5	31,8	33,1	34,7	21,5	23,7	5,3
Mg ²⁺ (cmol/dm ³)	3,4	2,2	3,2	2,3	0,8	0,9	0,6	1,0	0,3	2,1	2,8	3,3	4,0	4,8	1,8
Na ⁺ (cmol/dm ³)	0,02	0,02	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,18	0,15	0,07	0,14	0,04
K ⁺ (cmol/dm ³)	0,24	0,28	0,52	0,51	0,20	0,28	0,14	0,19	0,06	0,26	0,34	1,28	0,35	0,25	0,52
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol/dm ³)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,32	1,32	2,14	0,99	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ³⁺ (cmol/dm ³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,05	0,25	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S (cmol/dm ³)	40,86	10,20	24,88	15,02	2,21	3,29	1,56	2,70	0,87	34,26	36,42	38,33	25,92	28,89	7,66
T (cmol/dm ³)	40,86	10,20	24,88	15,02	3,53	4,61	3,70	3,69	1,69	34,26	36,42	38,33	25,92	28,99	7,66
V (%)	100	100	100	100	63	71	42	70	51	100	100	100	100	100	100
C (g/kg)	34,5	13,7	14,3	12,3	5,2	6,2	4,3	4,1	1,9	3,2	5,9	10,9	6,5	3,4	4,3
P (mg/L)	0,6	4,8	28,8	14,4	2,3	4,3	2,1	2,9	2,9	7,1	1,7	0,3	2,31	0,8	13,8
Argila (%)	21	46	46	32	10	14	9	13	4	49	43	32	39	57	21
Silte (%)	43	34	41	22	6	7	6	6	1	25	23	29	19	22	20
Areia (%)	36	20	13	46	64	79	65	81	95	26	34	39	42	21	59
Um, 0,3 atm. (%)	23,34	31,96	28,27	20,25	6,13	8,84	5,91	7,94	2,83	25,22	27,00	26,07	21,38	27,28	15,16

relo) a $40,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ de solo (Cambissolo Carbonático). Com exceção do Latossolo Vermelho-Amarelo 3, os demais são eutróficos. Os teores de C, que multiplicados por 1,72 resultaram nos teores aproximados de matéria orgânica, estão na faixa de 0,19% a 3,45%, sendo, na maioria, abaixo de 1%. O P disponível oscilou de menos de 1,0 a 28,8 mg/L, predominando teores abaixo de 5,0 mg/L. Quanto à textura, notou-se que vai de arenosa, como nos Latossolos e Podzólicos Vermelho-Amarelo a franco-argilosa e argilosa nos demais solos. A umidade a 0,3 atm, por ser dependente da superfície específica, apresentou variações relacionadas com o teor de argila (Sá Júnior et al., 1968).

Na Tabela 2, estão contidos os dados referentes à sorção máxima (s) e à energia com que o P é retido pelo solo (K); foram obtidos mediante a forma linear da isoterma de Langmuir, em todos solos estudados. Observa-se que os valores da sorção máxima nos solos de reação alcalina foram mais altos do que os valores encontrados por Olsen & Watanabe (1957), e Rennie & Mc Kercher (1959); entretanto, nos solos ácidos os valores foram bem menores do que os relatados por Sá Júnior et al. (1968) e Leal & Velloso (1973). Deve ser levado em consideração, nestas comparações, que as características químicas

e físicas dos solos são bastante diferentes dentro de cada grupo estudado.

Observou-se, pelos resultados obtidos (Tabela 2), que há grande diferenças entre os solos, com respeito à sorção máxima, sendo mais alta no Cambissolo Carbonático, vindo, em seguida, em ordem decrescente, o Vertissolo (4), o Cambissolo Vértico, os demais Vertissolos, Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico, Cambissolo Latossólico, Bruno não-Cálcico, e, por último, os Podzólicos e Latossolos Vermelho-Amarelos.

Quanto à energia de sorção (K), geralmente nos solos ácidos foi mais alta do que nos solos vérticos e alcalinos (Olsen & Watanabe, 1957). Neste trabalho, entretanto, tanto a sorção máxima como a energia de ligação foram menores nos solos de pH levemente ácido: LVA e PVa (Tabela 2). Isto pode ser atribuído, provavelmente, ao fato de a acidez desses solos ser pequena, tendo como consequência baixos teores de compostos de Fe e Al, que geralmente são os responsáveis por grande parte da sorção de P, conforme Hsu (1964), Leal & Velloso (1973) e Faria et al. (1976). A adsorção, sendo um mecanismo de superfície da fração coloidal do solo, talvez tenha sido menos importante no processo de sorção desses solos, do que o mecanismo de precipitação.

TABELA 2. Equações da isoterma de Langmuir, sorção máxima e energia de ligação de P de alguns solos da região semi-árida brasileira.

Solos	Equação	R ²	Sorção (mg P/g)	Energia (ppm ⁻¹)
Cambissolo Carbonático	Y = 3,310 + 1,242x	0,95**	0,805	0,375
Lat. Verm.-Escuro	Y = 4,269 + 1,933x	0,99**	0,517	0,453
Cambissolo Vértico	Y = 3,952 + 1,698x	0,99**	0,589	0,429
Cambissolo Latossólico	Y = 7,154 + 1,989x	0,99**	0,503	0,278
Lat. Verm.-Amarelo (1)	Y = 48,804 + 7,225x	0,99**	0,138	0,148
Lat. Verm.-Amarelo (2)	Y = 42,615 + 5,536x	0,99**	0,181	0,130
Lat. Verm.-Amarelo (3)	Y = 35,007 + 5,564x	0,99**	0,180	0,158
Pod. Verm.-Amarelo (1)	Y = 40,593 + 5,591x	0,99**	0,179	0,138
Pod. Verm.-Amarelo (2)	Y = 54,876 + 8,051x	0,99**	0,124	0,147
Vertissolo (1)	Y = 6,859 + 2,045x	0,98**	0,489	0,298
Vertissolo (2)	Y = 4,654 + 0,802x	0,98**	0,555	0,387
Vertissolo (3)	Y = 5,816 + 1,887x	0,98**	0,530	0,324
Vertissolo (4)	Y = 10,208 + 1,553x	0,95**	0,636	0,154
Vertissolo (5)	Y = 4,854 + 1,895x	0,98**	0,528	0,390
Bruno não-Cálcico	Y = 17,612 + 2,994x	0,98**	0,334	0,170

A sorção máxima de P apresentou correlação positiva com o pH ($r = 0,789^{**}$), o Ca^{2+} ($r = 0,861^{**}$), o Mg^{2+} ($r = 0,876^{**}$), a CTC ($r = 0,870^{**}$), com o teor de argila ($r = 0,734^{**}$), com a umidade a 0,3 atm ($r = 0,877^{**}$) e com a matéria orgânica ($r = 0,668^{**}$), e negativa com o Al^{3+} ($r = -0,624^*$).

Muitos trabalhos têm encontrado correlação positiva da sorção máxima de P com a argila, matéria orgânica, equivalente de umidade, CTC (Faria et al., 1976; Novais & Kamprath, 1979; Ramendra Singh et al., 1983; Gonçalves et al., 1985). Como houve correlação da sorção máxima de P com estes parâmetros no presente estudo, deverá haver também com a superfície específica dos solos (Leal & Velloso, 1973; Syers et al., 1973), o que não foi analisado. Segundo Novais & Kamprath (1979), a correlação significativa normalmente existente entre a sorção máxima de P e esses parâmetros do solo, que por sua vez se correlacionam com o "fator capacidade", situa a sorção máxima como "fator capacidade de P do solo".

O aumento da sorção de P à medida que aumentam os teores de cátions trocáveis do solo foi também verificado no trabalho de Volkweiss, citado por Faria et al. (1976). A correlação da sorção máxima com o pH do solo pode ser explicada pelo fato de este parâmetro estar, de maneira geral, estreitamente relacionado com os teores de Ca e Mg do solo. E a correlação inversa com o teor de Al, verificada no presente trabalho, é devida à correlação negativa que existe entre o pH e o Al^{3+} .

Como os componentes dos solos envolvidos com o processo de sorção são interrelacionados (Syers et al., 1971), é difícil determinar que parâmetros dão maior contribuição a esse processo nos solos estudados.

CONCLUSÕES

1. Há grande variação da sorção máxima de P (0,124 a 0,805 mg P/g) pelos solos estudados.
2. A sorção máxima é maior nos solos alcalinos e menor nos solos levemente ácidos.
3. A sorção máxima correlaciona-se positivamente com o pH, a umidade a 0,3 atm, CTC, matéria orgânica, argila e os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

REFERÊNCIAS

- BARROW, N.J. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. *Journal of Soil Science*, v.34, n.4, p.733-750, 1983.
- BITTENCOURT, V.C.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Comportamento do P em solos tropicais. I. Isoterma de adsorção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia*, Rio de Janeiro, v.10, n.11, p.59-64, 1975.
- BLACK, C.A. *Soil plant relationships*. New York: John Wiley & Sons, 1968. p.558-653.
- BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. *Natureza e propriedade dos solos*. 3.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1974. 594p.
- COLE, C.V.; OLSEN, S.R.; SCOTT, C.O. The nature of phosphate sorption by calcium carbonate. *Soil Science Society of America. Proceedings*, v.17, p.352-356, 1953.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, R.J.). *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979. 1v. não paginado.
- FAO (Roma, Itália). *Survey of the São Francisco River basin, Brazil; soil resources and land classification for irrigation*. Rome, 1966. v.2, parte 1, 112p.
- FARIA, C.M.B.; BRAGA, J.M.; PINTO, O.C.B. Sorção de P em cinco solos do Estado de Minas Gerais: influência de alguns fatores. *Revista Ceres*, Viçosa, v.23, p.166-170, 1976.
- FASSBENDER, H.W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana*, v.3, p.203-216, 1966.
- GONÇALVES, J.L.M.; FIRME, D.J.; NOVAIS, R.F.; RIBEIRO, A.C. Cinética de adsorção de P em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, n.2, p.107-111, 1985.
- GONÇALVES, J.L.M.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; RIBEIRO, A.C. Cinética de transformação de P-lábil em não-lábil, em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, n.1, p.13-24, 1989.
- HSU, P.H. Adsorption of phosphate by aluminum and iron in soils. *Soil Science Society of America. Proceedings*, v.28, p.474-478, 1964.

- HSU, P.H. Fixation of phosphate by aluminum and iron in acidic soils. *Soil Science*, v.99, n.6, p.398-402, 1965.
- LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. Adsorção de fosfato em Latossolos sob vegetação de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia*, Rio de Janeiro, v.8, n.7, p.81-88, 1973.
- MOREIRA, J.F.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEVES, J.C.L.; LEAL, P.G.L. Efeito do tempo de contato do P com o solo sobre sua disponibilidade para mudas de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, n.3, p.303-308, 1991.
- NOVAIS, R.F.; KAMPRATH, E.J. Parâmetros de isoterma de adsorção de P como critério de recomendação de adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.3, n.1, p.37-41, 1979.
- OLSEN, E.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society of America. Proceedings*, v.21, p.144-149, 1957.
- RAMENDRA SINGH, M.R.F.; MULLER, M.R.F.; FERREIRA, W. de A. Cinética da sorção de P em solos dos trópicos úmidos da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, n.3, p.227-231, 1983.
- RENNIE, D.A.; MCKERCHER, R.B. Adsorção of phosphorus by four Saskatchewan soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v.39, p.64-75, 1959.
- SÁ JÚNIOR, U.P.M.; GOMES, I.F.; VASCONCELOS, A.L. Retenção de P em solos da Zona da Mata de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v.3, p.183-188, 1968.
- SYERS, J.K.; BROWMAN, M.G.; SMILLIE, G.W.; COREY, R.B. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. *Soil Science Society of America. Proceedings*, v.37, p.358-363, 1973.
- SYERS, J.K.; EVANS, T.D.; WILLIAMS, J.D.H.; MURDOCK, J.T. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Science*, v.112, n.4, p.267-275, 1971.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. *Soil fertility and fertilizers*. 2.ed. Ontario: The Macmillan Company, 1969. 694p.
- WOODRUFF, J.R.; KAMPRATH, E.J. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. *Soil Science Society of America. Proceedings*, v.29, p.148-150, 1965.