

FATORES QUE AFETAM A FIXAÇÃO DE FOSFATO
NOS SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO *

M.R.S. RODRIGUES **
F.A.F. MELLO ***

RESUMO

Foi conduzido um experimento em laboratório, utilizando-se 100 amostras de solos oriundas de diferentes localidades do Estado de São Paulo, visando verificar a influência de características químicas e físicas dos mesmos sobre a capacidade de fixação de fosfatos.

As amostras de solos foram submetidas, preliminarmente, à análise química e granulométrica e, posteriormente, ao teste para avaliação da capacidade de fixação de fosfatos.

Os resultados encontrados foram analisados estatisticamente através de correlações lineares e correlação linear múltipla, resultando as seguintes conclusões:

-
- * Parte de Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Entregue para publicação em 25/05/1981.
- ** Eng^a Agr^a, aluna do Curso de Pós-Graduação da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP.
- *** Departamento de Química, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

1. com base nas análises de regressão linear simples as características que afetaram significativamente a capacidade de fixação de fosfato dos solos do Estado de São Paulo foram: porcentagem de carbono, teor de Al^{+3} trocável, C.T.C., porcentagem de argila, pH e porcentagem de areia;
2. com base na análise de regressão linear múltipla as características que mais influenciaram a capacidade de fixação de fosfato dos solos do Estado de São Paulo foram: porcentagem de carbono, teor de Mg^{+2} trocável, teor de Al^{+3} trocável e porcentagem de argila;
3. a equação que melhor exprimiu o fenômeno de fixação de fosfatos para solos do Estado de São Paulo pode ser assim expressa:

$$Y = -2,266 - 3,484 \frac{\%C}{\text{troçável}} + 3,514 \frac{Mg^{+2}}{\text{troçável}} + 5,559 \frac{Al^{+3}}{\text{troçável}} + 1,005\% \text{ de argila}$$

4. o fenômeno de fixação de fosfatos pelo solo está sob influência do efeito conjunto das características físicas e químicas do mesmo.

INTRODUÇÃO

A fixação do fosfato pelo solo foi observada, pela primeira vez na Europa, na metade do século passado (HEMWALL, 1957). Contudo, os maiores progressos para o seu esclarecimento se deram a partir de 1930. Trata-se de um fenômeno importante da química do solo, com reflexos também importantes na fertilidade do mesmo e na eficiência da adubação fosfatada.

CATANI & PELLEGRINO (1960) julgam o termo fixação de significado muito geral e traduz a transformação de formas solúveis de fósforo para formas menos solúveis. Opinião semelhante é expressa por KARDOS (1969). MELLO (1968), baseado na literatura disponível, diz que as principais causas da fixação, do P em solos ácidos são: formação de compostos insolúveis principalmente com Fe e Al; adsorção aos óxidos hidratados desses metais e às argilas silicatadas. Nos solos de reação alcalina, o mesmo autor cita como causas principais da fixação a formação de fosfatos de cálcio insolúveis, a adsorção do fosfato às partículas de carbonato de cálcio e a retenção pelas argilas silicatadas.

Numerosos fatores contribuem para a fixação do P no solo, tais como argilas (COLLEMAN, 1944; ANASTÁCIO, 1968; JUO & FOX, 1977; HALL & BAKER, 1971), Ca e Mg trocáveis (CALVERT *et alii*, 1960; ALLISON, 1943; RAGLAND & SEAY, 1957; RACZ & SOPER, 1967; STRONG & RACZ, 1970; LINDSAY *et alii*, 1962), matéria orgânica (RODRIGUES & SANCHES, 1968; LEAL, 1971; AHENKORAH, 1968), pH (VASCONCELOS, 1973; TOTH & BEAR, 1947), Al trocável (SÁ JUNIOR *et alii*, 1968; PRIMO *et alii*, 1973; GUTNIK *et alii*, 1967; DE, 1961; SYERS *et alii*, 1971; FRANKLIN & RETSENAUER, 1960) e outros.

Tendo em vista que vários fatores concorrem para a fixação do fosfato, foi realizado o presente trabalho para verificar a influência de alguns deles, como pH, teores de C, argila, limo, areia, Ca, Mg e Al trocáveis e de P solúvel em amostras de terras do Estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 100 amostras superficiais de terras oriundas de vários municípios do Estado de São Paulo enviadas por lavradores afim de serem analisadas para recomendação de adubação e calagem.

As referidas amostras foram selecionadas de modo a serem obtidas grandes amplitudes de variação no que concerne às

características granulométricas e químicas, conforme ilustram as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Amplitudes de variação dos teores de argila e silte e areia

Característica granulométrica	Amplitude de variação
Argila em água, %	0,2 - 30,3
Argila em calgon, %	1,8 - 77,4
Silte, %	2,8 - 50,6
Areia total, %	10,3 - 93,4

Tabela 2 - Amplitude de variação de algumas características químicas

Característica química	Amplitude de variação
pH	4,5 - 7,4
C, %	0,01 - 4,08
PO_4^{3-} solúvel, e.mg./100g T.F.S.A.	0,01 - 2,51
K^+ trocável, e.mg/100g T.F.S.A.	0,01 - 1,44
Ca^{2+} trocável, e.mg/100g T.F.S.A.	0,08 - 8,40
Mg^{2+} trocável, e.mg/100g T.F.S.A.	0,01 - 4,24
Al^{3+} trocável, e.mg/100g T.F.S.A.	0,06 - 2,32
H^+ e.mg/100g T.F.S.A.	0,52 - 12,00
CTC, e.mg/100g T.F.S.A.	0,67 - 15,62
Soma de bases trocáveis, e.mg/100g TFSA	0,09 - 12,71

A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta (MARCOS, 1972) e as análises químicas, sucintamente, pelos

seguintes processos: pH, potenciometricamente usando a relação terra - água igual a 1:2,5; Al^{3+} trocável, extração com solução normal de KCl; C%, oxidação da matéria orgânica com solução de bicromato de potássio; PO_4^{3-} , solúvel em ácido sulfúrico 0,05N; K^+ trocável, extração com ácido nítrico 0,05N; Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, extraídos com solução normal em cloreto de potássio; H^+ , extraído com solução normal de acetato de cálcio; CTC, soma dos teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H^+ ; soma de bases trocáveis, soma dos teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A determinação das capacidades de fixação de fosfato foi efetuada assim: porções de 4g de T.F.S.A. foram transferidas para frascos de Erlenmeyer de 250 ml, adicionando-se a seguir, 100 ml de solução aquosa 0,001N em PO_4^{3-} , proveniente do KH_2PO_4 ; seguiram-se agitação dos frascos durante 15 minutos, filtração e determinação dos teores de PO_4^{3-} dos extratos e da solução 0,001N em PO_4^{3-} ; a porcentagem de PO_4^{3-} fixada foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{Fixação porcentual de } PO_4^{3-} = 100 - \frac{100L_1}{L_2}$$

sendo L_1 e L_2 , respectivamente, os números de e.mg de PO_4^{3-} encontrados em 100 ml das soluções que estiveram em contacto com as terras e em 100 ml da solução 0,001N em PO_4^{3-} .

Os resultados foram analisados estatisticamente através do emprego de correlações lineares e de regressão linear múltipla pelo processo de BACKWARD ELIMINATION.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes das correlações lineares entre as porcentagens de fosfato fixadas pelas 100 amostras de terra e as respectivas características químicas e físicas consideradas são apresentadas na Tabela 3.

Vê-se, pelos dados apresentados na Tabela 3, que não foram significativas as correlações lineares entre as porcentagens de fosfato fixadas pelas terras e: teores de P solúvel;

de Ca e de Mg trocáveis; soma de bases trocáveis; teores de silte.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre as porcentagens e fosfato fixadas e as características químicas e físicas das terras

Característica considerada	Coeficiente de correlação	Significância teste t
pH	- 0,4215	4,60 **
C, %	0,3122	3,25 **
P solúvel	- 0,0265	0,26 ns
Ca trocável	0,0692	0,68 ns
Mg trocável	0,0448	0,44 ns
Al trocável	0,3886	4,17 **
CTC	0,5766	6,98 **
Soma de bases trocáveis	0,0247	0,24 ns
Argila em água	0,6484	8,43 **
Argila em calgon	0,9000	20,44 **
Silte	0,1352	1,35 ns
Areia total	- 0,7335	10,78 **

Houve correlações negativas, ao nível de 1%, entre fixação de fosfato e pH e fixação de fosfato e teores de areia total.

Finalmente, foram positivas, ao nível de 1%, as correlações envolvendo fixação de fosfato e: porcentagem de C; teores de Al trocável; de argila e CTC.

Esses resultados estão de acordo com a maioria dos trabalhos citados na introdução deste.

No que concerne à regressão múltipla a ordem de eliminação dos fatores que não contribuíram para a fixação do fosfato foi: areia total, CTC, soma de bases trocáveis, argila em água, pH, Ca trocável, silte e fósforo solúvel.

A equação de regressão linear múltipla obtida foi:

$$Y = -2,226 - 3,484 \begin{matrix} \%C \\ \text{troçável} \end{matrix} + 3,514 \begin{matrix} Mg \\ \text{troçável} \end{matrix} + 5,559 \begin{matrix} Al \\ \text{troçável} \end{matrix} + 1,005 \begin{matrix} \% \text{ arg. calgon} \end{matrix}$$

onde Y = % de fosfato fixada. O coeficiente de determinação foi R = 84,8.

O teor de Mg²⁺ troçável aparece, agora, como uma das variáveis que mais afetaram a fixação de fosfato pelo solo; entretanto, quando se considerou o efeito isolado desse elemento a correlação não foi significativa, o que evidencia a interação de várias características do solo sobre o processo de retenção do fósforo.

Por outro lado, características que isoladamente apresentaram efeito significativo, quando analisadas em conjunto revelaram não afetar a fixação.

CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado este trabalho e com base na análise estatística dos resultados experimentais concluiu-se que:

1. com base na análise de regressão linear simples as características do solo que afetaram significativamente a capacidade de fixação de fosfato foram: % de carbono, teor de Al³⁺ troçável, CTC, % de argila, pH e % de areia;
2. com base na análise de regressão linear múltipla as características que mais influenciaram a capacidade de fixação de fosfato foram: % de carbono, Mg²⁺ troçável, Al³⁺ troçável e % de argila;
3. a equação que melhor exprime o fenômeno de fixação de fosfatos pode ser assim expressa:

$$Y = -2,226 - 3,484 \begin{matrix} \%C \\ \text{troçável} \end{matrix} + 3,514 \begin{matrix} \text{Mg}^{+2} \\ \text{troçável} \end{matrix} + 5,559 \begin{matrix} \text{Al}^{+3} \\ \text{troçável} \end{matrix} + 1,005 \begin{matrix} \% \text{ argila} \end{matrix}$$

4. em estudos relacionados com fixação de fosfatos pelo solo é interessante levar-se em consideração o efeito conjunto das características físicas e químicas do solo sobre o processo.

SUMMARY

FACTORS AFFECTING PHOSPHATE FIXATION IN SOILS OF THE STATE OF SÃO PAULO

A laboratory experiment was carried out to study the effects of chemical and physical characteristics of the soil on the phosphate fixing capacity.

One hundred samples collected from various localities were at first characterized chemically and their particle size distribution determined. They were then tested as to their phosphate fixing capacities.

The results obtained were statistically analysed by means of both simple linear and multiple correlation. The following conclusions could be drawn:

1. simple linear regression analysis indicated that % C, exchangeable Al^{+3} , CEC, % clay, pH and % sand were the soil characteristics which significantly affected phosphate fixing capacity of São Paulo State soils;
2. multiple linear regression analysis indicated that % C, exchangeable Mg^{+2} , exchangeable Al^{+3} and % clay were the soil characteristics which significantly affected the phosphate fixing capacity of São Paulo State soils;
3. the phosphate phenomena fixing as they occur in the soils of the São Paulo State can be best described by the following equation:

$$Y = -2.226 - 3.484 \frac{\%C}{\text{exchangeable}} + 3.514 \frac{Mg^{+2}}{\text{exchangeable}} + 5.559 \frac{Al^{+3}}{\text{exchangeable}} + 1.005 \frac{\% \text{ clay}}{\text{exchangeable}}$$

4. phosphate fixation in the soil is affected by the combined effects of both soil chemical and physical characteristics.

LITERATURA CITADA

- AHENKORAH, Y., 1968. Phosphorus retention capacities of some cacaogrowing soils in Ghana and their relationships with soil properties. *Soil Science* **105**: 24-30.
- ALLISON, L.E., 1943. The trend of phosphate adsorption by inorganic colloids from certain Indiana soils. *Soil Science* **55**: 333-342.
- ANASTÁCIO, N.L.A., 1968. **Fixação de fósforo nos solos brasileiros**, Boletim Técnico da Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Rio de Janeiro, nº 4, 14p.
- CALVERT, D.V.; MASSEY, H.F.; SEAY, W.A., 1960. The effect of exchangeable calcium on the retention of phosphorus by clay fractions of soils of the Memphis Catena. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* **24**: 333-335.
- CATANI, R.A.; PELEGRINO, D., 1960. Avaliação da capacidade de fixação de fósforo pelo solo. *An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"* **17**: 19-28.
- COLEMAN, R., 1944. The mechanism of phosphate fixation by montmorillonitic and kaolinitic clays. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* **9**: 72-78.
- DE, S.K., 1961. Adsorption of phosphate ion by hydrogen derivative of Indian montmorillonite (Kashmir). *Soil Sci.* **92**: 117-119.

- FRANKLIN, W.T.; RETSENAUER, H.M., 1960. Chemical characteristics of soil related to phosphorus fixation and availability. *Soil Sci.* 90: 192-200.
- GUTNIK, V.; BALCAR, J.; BEHRENS, H.; ACEVEDO, E., 1967. Influencia del pH sobre la fijación del fósforo en suelos de rívidos de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica*: 27:141-143.
- HALL, J.K.; BAKER, D.E., 1971. Phosphorus fixation by montmorillonitic and vermiculite clays as influenced by pH and soluble aluminum. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 35: 876-881.
- HEMWALL, J.B., 1957. The fixation of phosphorus by soils. *Adv. Agronomy* 9: 95-111.
- JUO, A.S.R.; FOX, R.L., 1977. Phosphate sorption characteristics of some Bench-Mark soils of West Africa. *Soil Sci.* 124: 370-376.
- KARDOS, L.T., 1969. Soil fixation of plant nutrients. In BEAR, F.E., ed., **Chemistry of the soil.**, 2.ed., New York, Van Nostrand, p.369-394.
- LEAL, J.R., 1971. **Adsorção de fosfato em latossolos sob cerrado**, Rio de Janeiro, UFRRJ, 96p. (tese de mestrado).
- LINDSAY, W.L.; FRAZIER, A.W.; STEPHENSON, H.F., 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizer in soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 26: 446-452,
- MELLO, F.A.F., 1968. Capacidade de fixação de fósforo de alguns solos do município de Piracicaba. *Revista de Agricultura* 43: 23-27.
- PRIMO, E.; SALA, J.M.; SOLA, R., 1973. Estudio de la fijación del fósforo biamónico en un suelo calizo de la region valenciana. *Rev. Agroquímica y Tecnología Alimentos* 13: 259-264.
- RACZ, G.J.; SOPER, R.J., 1967. Reaction products of orthophosphates in soils containing varying amounts of calcium and magnesium. *Can. Jour. Soil Sci.* 48: 265-269.

- RAGLAND, J.L.; SEAY, W.A., 1957. The effects of exchangeable, calcium on the retention and fixation of phosphorus by clay fractions of soil. Proc. Soil Sci. Soc. Am. **21**: 261-264.
- RODRIGUES, O.; SANCHEZ, C., 1968. Fijación del fósforo por cuatro tipos de suelos de Sabana. Oriente Agropecuario **1**: 23-33.
- SÁ JÚNIOR, P.M.; GOMES, I.F.; VASCONCELOS, A.L., 1968. Retenção de fósforo em solos da zona de Mata de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira **3**: 183-188.
- STRONG, J.; RACZ, G.J., 1970. Reaction products of applied orthophosphate in some Manitoba soils as affected by soils calcium and magnesium content and time of incubation. Soils Science **110**: 258-262.
- SYERS, J.K.; EVANS, J.T.; WILLIAMS, J.D.H.; MURDOCK, J. T., 1971. Phosphate sorption parameters of representative soil from Rio Grande do Sul, Brasil. Soil Science **112**: 267-275.
- TOTH, S.J.; BEAR, F., 1947. Phosphorus adsorbing capacities of some New Jersey soils. Soil Science **64**: 199-211.
- VASCONCELOS, C.A., 1973. **Contribuição para o estudo de fósforo em dois latossolos do Estado de Mato Grosso, Viçosa, UFV** 103p. (tese de M.S.).

