

RETENÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO¹

JÚLIO PACHÊCO MEIRA E SA JR.², IVAN FERREIRA GOMES³
e ARMANDO LUIZ DE VASCONCELLOS⁴

Sinopse

Foi realizado um estudo de laboratório com o objetivo de determinar a adsorção máxima de fósforo no solo calculada pela isoterma de Langmuir.

As amostras analisadas pertencem à camada superficial (Horizonte A), de 16 unidades de mapeamento do Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Zona da Mata de Pernambuco, realizado pela Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo e pelo Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Nordeste.

A concentração de equilíbrio de fósforo foi estabelecida entre 0 e 20 ppm.

A análise estatística revelou uma boa correlação entre a adsorção máxima de fósforo e a umidade eqüivalente, apresentando os seguintes valores para os coeficientes de correlação e equações de regressão:

$$\begin{array}{l} r = 0,65 \text{ ***} \\ \hat{y} = 6,439 + 11,069 X \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} r = 0,65 \text{ ***} \\ \hat{y} = 6,439 + 11,069 X \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{para 17 amostras sem correção} \\ \text{do efeito do alumínio trocável} \end{array}$$
$$\begin{array}{l} r = 0,74 \text{ ***} \\ \hat{y} = -101,978 + 12,673 X \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} r = 0,74 \text{ ***} \\ \hat{y} = -101,978 + 12,673 X \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{para 17 amostras com correção} \\ \text{do efeito do alumínio trocável} \end{array}$$
$$\hat{y} = \mu\text{g de P adsorvido/g solo}$$
$$x = \text{umidade eqüivalente.}$$

Pelo estudo comparativo entre os valores dos coeficientes de correlação acima, concluiu-se que o fósforo no solo é retido por ambos: adsorção pelas partículas de solo e a interação P x Al trocável nos solos estudados.

A adsorção superficial de P foi fator dominante na retenção de P nestes solos. Somente quando o Al³⁺ se aproxima de 1,0 me por 100 gramas, P x Al torna-se importante. Admitimos no presente trabalho a hipótese de que todo o alumínio trocável do solo reage completamente com o (PO₄)³⁻.

Constatou-se ainda que, nos solos com textura argilosa, a adsorção máxima de fósforo, como se esperava, apresentou-se maior do que naqueles com textura arenosa.

INTRODUÇÃO

Olsen (1953), Woodruff e Kamprath (1965) e, Shapiro e Fried (1959) e outros aceitam atualmente a forma de adsorção do fosfato do solo como a fonte de P móvel do solo.

Investigações várias (Black 1950, Haseman *et al.* 1950, Kurtz *et al.* 1946), mostram dois estágios na retenção de fósforo por ions hidroxilados nas super-

fícies das partículas do solo, dando como resultado o fósforo instável ou fosfato superficial, o qual entra prontamente em equilíbrio com P³⁺ e está, de acôrdo com trabalhos recentes (Olsen & Watanabe 1957), intimamente relacionado com a concentração do fosfato em equilíbrio de acôrdo com a isoterma de Langmuir, ao passo que a segunda reação é mais lenta e pode ser observada quando uma grande

¹ Recebido para publicação em 15 de setembro de 1967. Boletim Técnico n.º 13 do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Nordeste (IPEANE). Realizado nos Setores de Geoquímica e Mineralogia e de Experimentação da Seção de Solos do IPEANE e apresentado no XI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, julho 1967.

² Eng.º Agrônomo, Chefe do Setor de Experimentação da Seção de Solos do IPEANE, Caixa Postal 205, Recife, Pernambuco.

³ Químico, Chefe do Setor de Geoquímica e Mineralogia da Seção de Solos do IPEANE.

⁴ Eng.º Agrônomo do Setor de Geoquímica e Mineralogia da Seção de Solos do IPEANE.

quantidade de P é aplicada ao solo, acarretando uma precipitação de fosfatos insolúveis de Al, Fe e a não trocabilidade de alguns destes fosfatos que não estão em equilíbrio com o fosfato da solução do solo, com P^{2-} . A capacidade dos solos para formar uma reserva potencial de fosfato é o resultado desta segunda reação que é responsável pelo conhecido efeito residual dos fertilizantes fosfatados aplicados.

A adsorção de P nos solos, contrariamente ao que se pensava até há bem pouco tempo, não deve ser considerada como um estado no qual P é irreversivelmente perdido para o uso das plantas. Catani (1947), estudando a adsorção do anion $(PO_4)^{3-}$ sobre os solos do tipo terra roxa, obteve resultados que comprovaram que o fenômeno de adsorção não inutiliza o fósforo para as plantas, constituindo apenas um obstáculo à lixiviação. Em verdade, a fração de P adsorvido, lentamente reverte para a forma de P inerte, tcdavia uma porção está também disponível a entrar na solução do solo.

Embora esta segunda reação tenha também a sua importância de uma maneira geral para o fosfato do solo, não a estudamos neste trabalho, cujo objetivo se restringe exclusivamente à determinação da máxima adsorção de P em 17 perfis de solos representativos de 16 unidades de solos situados na área fisiográfica da Zona da Mata de Pernambuco e suas afinidades com propriedades químicas e físicas, tais como Al^{3+} , argila, limo, matéria orgânica, umidade equivalente etc., de modo a envolver, por conseguinte, somente a rápida reação inicial que ocorre quando uma quantidade relativamente pequena de P é aplicada, nos níveis normais de sua adição ao solo. Desta maneira, oferecemos neste trabalho dados para que uma pesquisa posterior venha a se realizar no sentido de se investigar sobre estes mesmos solos a correlação existente entre estas máximas de adsorção e a disponibilidade de P para as plantas, mediante ensaios de campo ou casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O método usado para medir a adsorção de P é essencialmente o de Olsen e Watanabe (1957). Amostras compostas foram coletadas na profundidade de camada arável (Horizonte A), sobre os perfis de solos já caracterizados da Zona da Mata de Pernambuco (Quadro 1 e Fig. 1) pelo Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Nordeste (IPEANE) e Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo (DPFS)⁵ e subamostras de 5g de cada solo, depois de seco ao ar, passado em peneira

de 2 mm e homogeneizado, foram pesadas em Erlenmeyer de 125 ml aos quais se adicionaram soluções de 50 ml de K_2HPO_4 de concentrações diferentes e pH ajustado a 7,0 com KOH segundo os nove tratamentos abaixo, em número de três repetições:

Tratamentos	KCl 0,015 M (ml)	Sol. padrão de 100 ppm P (ml)	P na solução (µg/50 ml)	P adicionado (ppm)
1	48	4	400	8
2	44	6	600	12
3	42	8	800	16
4	40	10	1.000	20
5	35	15	1.500	30
6	30	20	2.000	40
7	25	25	2.500	50
8	20	30	3.000	60
9	50	00	0.000	Testemunha

Em seguida, as amostras foram agitadas por 4 horas e deixadas em repouso durante a noite à temperatura ambiente. As suspensões foram filtradas através de papel de filtro duplo e 5 ml de filtrado transferidos para balão de 100 ml no qual se completou o volume com água destilada. Logo após, pipetaram-se 10 ml da solução para Erlenmeyer de 125 ml, desenvolveu-se a coloração usando-se a solução ácida de molibdato de amônia e ácido ascórbico, sendo o fósforo determinado colorimetricamente. A diferença entre a quantidade de fósforo adicionado e o fósforo determinado em solução foi tomada como a quantidade de P adsorvido. As soluções de K_2HPO_4 foram feitas em 0,01 M de KCl.

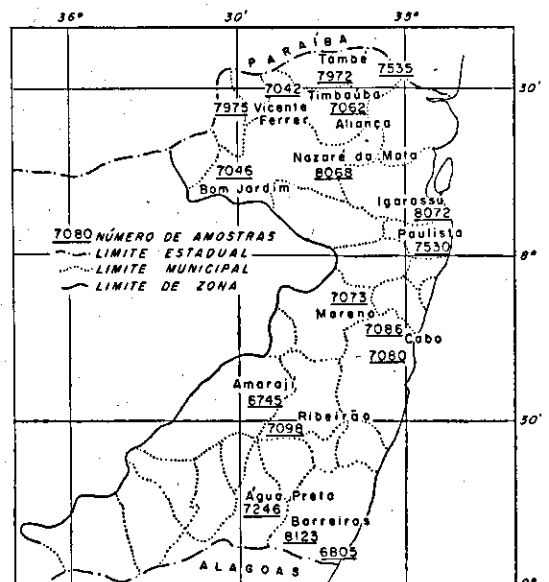


FIG. 1. Ocorrência dos solos estudados.

⁵ Dados obtidos dos arquivos da Seção de Solos do IPEANE.

QUADRO 1. *Origem das amostras*

N.º da amostra	Unidade de solos	Localidade (Município)
7098	Ribeirão	Ribeirão, PE
7080	Boa Vista	Cabo, PE
6795	Divisa	Maceió, AL ^a
6805	Utinga	Maceió, AL ^a
7083	Cabo	Cabo, PE
7073	Moreno	Moreno, PE
8123	Fleixeira	Barreiros, PE
7535	Muzambo	També, PE
7246	Água Preta	Água Preta, PE
7982	També	Nazaré da Mata, PE
7975	São Vicente Ferrer	São Vicente Ferrer, PE
7042	Timbaúba	Timbaúba, PE
8068	Nazaré da Mata	Nazaré da Mata, PE
8072	Solos Aluviais	Igarauçu, PE
7046	Bom Jardim	Bom Jardim, PE
7030	Igarauçu	Paulista, PE
7062	Aliança	Aliança, PE

^a Os valores foram coletados pela DPFS e IPEANE, em área fisiográfica do Estado de Alagoas, todavia como estes mesmos ocorrem em Pernambuco, incluímo-los na presente pesquisa.

Os dados de adsorção foram representados graficamente de acordo com a equação de Langmuir:

$$X/m = Kbc + Kc, \text{ onde}$$

$X/m = \mu\text{g de P adsorvido por grama de solo}$

$b = \text{máxima adsorção}$

$c = \text{concentração de P em equilíbrio, dada em ppm P}$

$K = \text{uma constante relacionada com a energia cedida pelo adsorvente ao adsorvido.}$

Para a representação linear, a isoterma de Langmuir tomou a seguinte forma:

$$C/X/m = (1/Kb) + (c/b),$$

onde $1/b = \text{coeficiente angular.}$

Os dados de argila, limo e umidade equivalente foram determinados pelo Setor de Física do Solo da Seção de Solos do IPEANE, usando para a última determinação, o método de centrifugação descrito por Oliveira (1960). Os dados de matéria orgânica foram determinados pelo Setor de Fertilidade da Seção de Solos do IPEANE.

QUADRO 2. *Efeito da correção do alumínio sobre o máximo de adsorção para fósforo e características físicas e químicas das amostras*

N.º da amostra	Adsorção máxima ppm P	Correção da adsorção máxima ppm P	Decréscimo da adsorção máxima %	Al Troc. me/100 g	P extraível ppm P	pH	Umidade equivalente	Argila total %	Limo %	Matéria orgânica %	Textura
7098	171.3	150.1	12.4	0.2	2	5.2	20.2	30.90	5.30	2.63	Fr. arenoso
7080	614.3	582.5	5.1	0.3	4	5.0	38.0	58.90	17.80	3.72	Argiloso
6795	348.4	206.0	16.9	0.4	3	5.0	17.6	30.70	7.30	2.40	Fr. arg. aren.
6805	368.5	241.3	34.5	1.2	2	4.7	20.2	47.60	4.30	2.03	Arg. arenoso.
7086	175.7	48.5	72.3	1.2	4	4.5	19.4	14.90	8.90	2.44	Fr. arenoso
7073	284.3	210.1	26.0	0.7	2	4.9	26.3	27.70	10.00	2.69	F. arg. aren.
8123	406.4	289.8	28.6	1.1	2	4.8	38.0	55.00	18.00	2.03	Argiloso
7535	191.1	42.7	77.6	1.4	4	4.8	13.4	17.00	3.90	1.33	Fr. arenoso
7246	158.9	116.5	26.7	0.4	2	5.4	21.2	22.20	13.60	1.88	F. arg. aren.
7982	143.3	5.5	96.1	1.3	2	4.6	15.1	22.00	14.00	1.34	Fr. arg. aren.
7975	177.7	50.5	71.6	1.2	2	4.9	20.0	26.00	10.00	2.24	Fr. arg. aren.
7042	157.5	146.9	10.1	0.1	4	5.9	16.1	17.20	7.30	2.95	Fr. arenoso
8068	179.6	158.4	11.8	0.2	5	5.7	21.0	15.00	37.00	3.34	Franco
8072	78.3	57.1	27.0	0.2	13	5.3	11.0	9.00	15.00	0.93	Fr. arenoso
7046	215.0	193.8	9.8	0.2	30	6.1	25.9	40.90	14.30	2.43	Arg. arenoso
7530	416.0	246.4	40.7	1.6	30	4.7	15.1	22.30	3.30	1.91	Fr. arg. aren.
7062	231.1	202.5	5.0	0.1	2	5.1	31.0	31.80	12.20	2.69	Fr. arg. aren.

RESULTADOS

A máxima adsorção de P para os 17 solos estudados, bem como algumas propriedades dos solos são dadas no Quadro 2. A Fig. 2 mostra o tipo geral de isothermas de adsorção obtidas neste estudo. Os

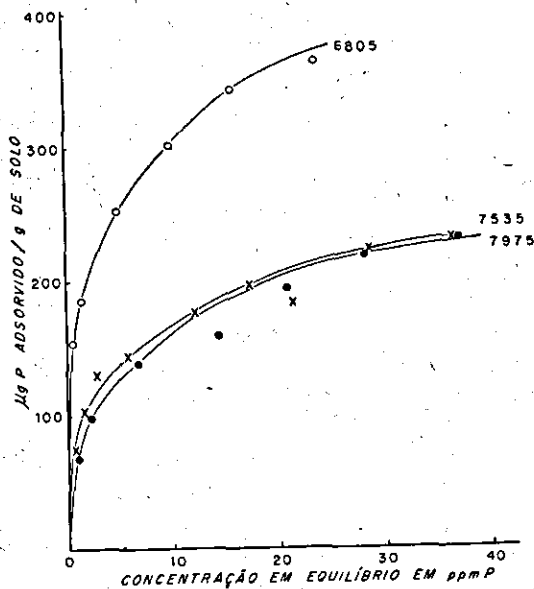


FIG. 2. Adsorção de fósforo por vários solos.

mesmos dados, de acordo com a equação de Langmuir, são representados na Fig. 3. A análise estatística revelou para a correlação entre a adsorção máxima de fósforo e a umidade equivalente representada nas Fig. 4 e 5, os seguintes valores:

$$\begin{array}{l} r = 0,652^{***} \\ \hat{y} = 6,439 + 11,069 X \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{para 17 amostras sem correção do} \\ \text{alumínio trocável} \end{array} \right\}$$

$$\begin{array}{l} r = 0,742^{***} \\ \hat{y} = -101,978 + 12,673 X \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{para 17 amostras com correção do} \\ \text{alumínio trocável} \end{array} \right\}$$

\hat{y} = µg de P adsorvido/g solo
 x = umidade equivalente.

DISCUSSÃO

Como consequência das diferenças nas propriedades dos solos, observa-se também uma larga diferença na máxima adsorção. Os solos de textura argilosa tiveram a adsorção máxima mais alta que aqueles de textura arenosa.

Desde que o máximo de adsorção (b) da equação de Langmuir, tem sido aceito como tendo relação estreita com a superfície específica dos solos

determinada pela adsorção de etileno-glicol (Olsen & Watanabe 1957) e uma vez que a retenção da água pelo solo é também um fenômeno de superfície (Franco 1940, Dias & Humberto (1953), consideramos portanto, no resultado da correlação da adsorção máxima contra a porcentagem de umidade

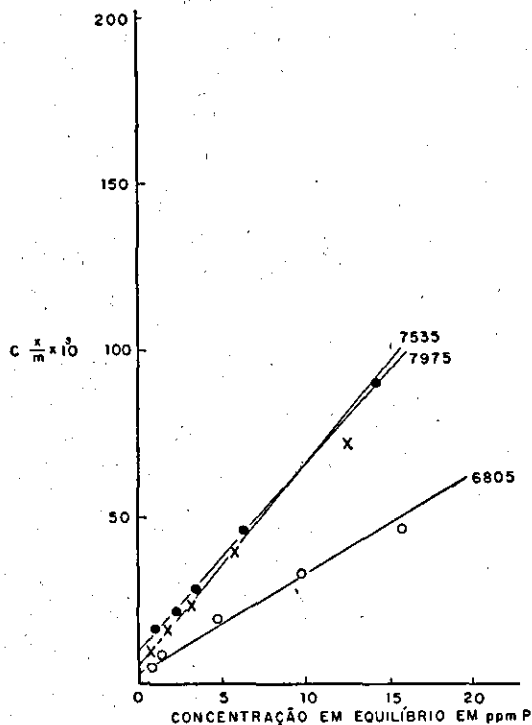


FIG. 3. Aplicação da isoterma de Langmuir para adsorção de P.

equivalente, representado nas Figs. 4 e 5, a unidade equivalente como sendo uma expressão da superfície específica dos solos. Como a adsorção de P depende do nível original de P no solo, a quantidade de P extraível dos solos, anterior aos tratamentos, foi adicionada para a adsorção máxima tanto na Fig. 4 quanto na Fig. 5. Estas figuras mostram os mesmos dados, todavia, na Fig. 5 a adsorção máxima está retificada pelo valor de P que pudesse teoricamente reagir com o Al^{3+} trocável. Este má-

ximo corrigido é mostrado no Quadro 2, terceira coluna. A correção é baseada na constatação estequiométrica de que cada miliequivalente de Al^{3+} trocável reage com um miliequivalente de $(PO_4)^{3-}$ formando $AlPO_4$. Em termos de P como elemento químico, esta correção eleva-se a 106 ppm de P para cada miliequivalente de Al^{3+} trocável. A análise estatística foi feita nos moldes de Gomes (1960) e acusou para a remoção do efeito desfavorável do Al^{3+} o aumento do coeficiente de correlação de 0,65 para 0,74 indicando ocorrer, assim, nos solos estudados, duas reações: uma provável reação de adsorção altamente correlacionada ($t = 3,45^{***}$) com a umidade equivalente (superfície específica) e outra reação envolvendo alumínio trocável (P x Al). Coleman *et al.* (1960) encontraram uma forte correlação entre as quantidades de fosfato adsorvido por 60 amostras, com seus respectivos teores de Al^{3+} trocável. Woodruff e Kamprath (1965) conseguiram, com a neutralização de Al^{3+} trocável, reduzir acen- tuadamente a máxima adsorção de P. Dos 17 solos estudados, a umidade equivalente (superfície espe- cífica) apresentou ser de maior significação, pois somente quando o conteúdo de Al^{3+} trocável ultra- passa de 1,0 me%, a interação P x Al tornou-se importante (Quadro 2).

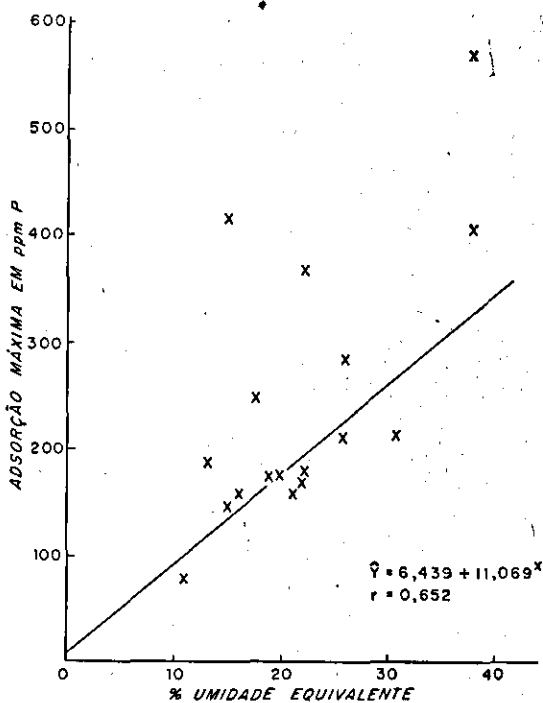


FIG. 4. Relação entre adsorção máxima corrigida e umidade equivalente.

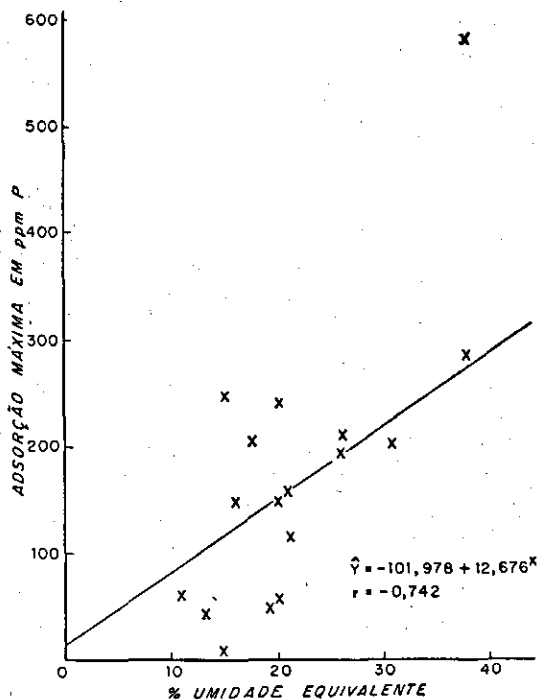


FIG. 5. Relação entre a adsorção máxima corrigida e umidade equivalente.

CONCLUSÕES

Os dados obtidos para os 17 solos estudados permitiram as seguintes conclusões:

- a) existe uma boa correlação entre a adsorção máxima de P e a porcentagem de umidade equivalente;
- b) à medida que aumenta a quantidade de argila do solo, aumenta a adsorção de P;
- c) o fósforo no solo foi retido tanto pela superfície das partículas como pela interação P x Al trocáveis, nos solos estudados;
- d) a adsorção superficial de P foi um fator dominante na retenção de P nestes solos, pois somente quando o alumínio trocável se aproxima de 1,0 me por 100 gramas, a relação P x Al tornou-se importante;
- e) nos solos com alto teor de Al^{3+} trocável, qualquer prática de manejo designada para eliminar o Al^{3+} aumentará provavelmente a deficiência do fertilizante fosfatado aplicado. A calagem é frequentemente mencionada para este fim desde que eleve o pH até um ponto em que se produza a hidrólise total do Al^{3+} trocável e sua subsequente precipitação em forma de $Al(OH)_3$.

AGRADECIMENTOS

Queremos deixar patentes, aqui, os nossos agradecimentos a Francisco de Assis Marques de Souza e Ildo Eliezer Lederman, Acadêmicos de Agronomia, bolsistas do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pelo Setor de Experimentação da Seção de Solos, IPEANE, a Orlando Leandro dos Santos, auxiliar de laboratório do Setor de Geoquímica e Mineralogia da Seção de Solos, IPEANE, e Glaura de Souto Lima, secretária do Serviço de Engenharia e Tecnologia Rurais, IPEANE, nossos auxiliares diretos e colaboradores, pela dedicação na realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- Black, C. A. 1950. Reactions of phosphate with kaolinite. *Soil Sci.* 70: 273-290.
- Catani, R. A. 1947. Contribuição ao estudo dos fosfatos, sua dosagem, extração e distribuição no solo do Estado de São Paulo. Tese de doutorando, Piracicaba, S. Paulo. 65 p. (Citado por Malavolta 1967)
- Coleman, N. T., Thorup, J. T., & Jackson, W. A. 1960. Phosphate-adsorption reactions that involve exchangeable Al. *Soil Sci.* 90: 1-7.
- Dias, J. de D. de O. & Humberto, C. 1953. Agricultura Geral. Serv. Inf. Agrícola, Rio de Janeiro, 13: 184.
- Franco, A. 1940. As disponibilidades da água no solo. *Rev. Soc. bras. Agron.* 3: 293.
- Gomes, F. P. 1960. Curso de estatística experimental. E.S.A.L.Q., Piracicaba, 1:206-214.
- Haseman, J. F., Brown, E. H. & Whitl, C. D. 1950. Some reactions of phosphate with clays and hydrous oxides of iron and aluminum. *Soil Sci.* 70: 257-271.
- Kurtz, T., De Turk, E. E. & Bray, R. H. 1946. Phosphate adsorption by Illinois soil. *Soil Sci.* 61: 111-124.
- Malavolta, E. 1967. Manual de química agrícola. *Ceres* 1: 81.
- Oliveira, L. B. 1960. Estudo do sistema "solo-água-planta" em solos do Nordeste. *Bol. Tec. 14, Inst. Pesq. Exp. Agropec. Nordeste, Recife.*
- Olsen, S. R. 1953. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils. *Agronomy* 4: 89-122.
- Olsen, S. R. & Watanabe, F. S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21:144-149.
- Shapiro, R. E. & Fried, M. 1959. Relative release and detentiveness of soil phosphates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23: 195-198.
- Woodruff, J. R. & Kamprath, E. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 148-150.

PHOSPHORUS RETENTION IN SOILS OF ZONA DA MATA, PERNAMBUCO, BRAZIL

Abstract

A laboratory study was conducted to determine the P adsorption maxima in soil as calculated by the Langmuir isotherm.

The samples analyzed were from the topsoil (A Horizon) of 16 soil units from reconnaissance survey of the soils of the Zona da Mata of Pernambuco, conducted by the Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo (DFFS) and Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Nordeste (IPEANE).

Equilibrium concentration of P was established between 0 and 20 ppm.

The statistical analysis revealed good correlations between the adsorption maxima and moisture equivalents, as shown by the following coefficients and regression equations:

$$\begin{aligned} r &= 0.65^{***} && \left\{ \begin{array}{l} \text{effect of exchangeable Al} \\ \text{for 17 samples without correction for the} \end{array} \right. \\ \hat{y} &= 6.439 + 11.069 X \\ r &= 0.74^{***} && \left\{ \begin{array}{l} \text{for 17 samples with correction for the} \\ \text{effect of exchangeable Al} \end{array} \right. \\ \hat{y} &= -101.978 + 12.673 X \\ \hat{y} &= \mu\text{g of P adsorbed per g of soil} \\ x &= \text{moisture equivalent.} \end{aligned}$$

By comparative study between the above correlation coefficients, it was concluded that for the soils studied P in the soil was retained both by adsorption of soil particles and a P exchangeable Al interaction.

Surface adsorption of P was the dominant factor in the retention of P in these soils. Only when exchangeable aluminum was approximately 1 me per 100 g, did the P exchangeable Al interaction become important. It was assumed in this work, that all of the exchangeable aluminum in the soil reacted completely with the $(\text{PO})_4$ ions.

It was observed that in clay textured soils the P adsorption maxima, as expected, were larger than in sandy textured soils.