FIXAÇÃO DE FOSFATO POR SOLOS DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA

MARIA DOMITILA THOMAZI

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS FERRAZ DE MELLO

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", para ob-
tenção do Título de Doutor em Agronomia.
Área de Concentração: Solos e Nutrição
de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Setembro de 1988.

A minha mãe,
Isaurina,
DEDICO.

Aos meus irmãos,
Maria de Fátima e
Mário Alberto.

Ao meu cunhado,
Luiz Reinaldo.

Aos meus sobrinhos,
Neto e Luiz Filipe,
OFEREÇO.

PROF. ALBERTO THOMAZI (*In memoriam*)

Artista Plástico.

Para meu pai que amou Piracicaba como
ninguém e hoje retrata no Céu este salto e
estas colinas, pelo legado maior que me dei-
xou: com o seu conhecimento me ensinou a
amar o simples, a quebrar as correntes do
intrincado, qualidades que foram a tônica
de sua vida,

AGRADEÇO.

PROF. DR. FRANCISCO DE ASSIS FERRAZ DE MELLO
Meu Orientador.

Pela orientação solícita, pronta e desinteressada, pela paciência, altruísmo e cooperação além do incentivo e amizade pois sem isto não seria possível a realização deste trabalho,

AGRADEÇO.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. *Sylvio Arzolla*, da ESALQ/USP, pela valiosa colaboração nos trabalhos de laboratório realizados e sobretudo pela amizade que sempre me distinguiu.

- Ao Prof. Dr. *Hermôgenes de F. Leitão Filho*, Coordenador do Parque Ecológico; Engenheiros *Luiz Reinaldo Machado Botelho*, *Dennis B. Azevedo* e *Carlos A. Baganha*, Diretores do Parque Ecológico da UNICAMP pela amizade, incentivo e apoio durante a fase de redação final desta tese.

- À CAPES - Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, pelo apoio financeiro.

- Às demais pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

Í N D I C E

Página

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Primeiro ensaio	18
3.2. Segundo ensaio	19
3.2.1. Estudo para verificar os fatores que concorrem para a fixação de P após incubação	19
3.2.2. Estudo da disponibilidade do P após a incubação	20
3.2.3. Estudo da fixação do fósforo após a incubação	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Primeiro ensaio	22
4.2. Segundo ensaio	28
4.2.1. Estudo para verificar os fatores que concorrem para a fixação do fósforo após incubação	28
4.2.2. Estudo da disponibilidade do fósforo após a incubação	31

	Página
4.2.3. Estudo da fixação do fósforo após a incubação	41
5. CONCLUSÕES	53
6. LITERATURA CITADA	56

FIXAÇÃO DE FOSFATO POR SOLOS DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA

Autora: MARIA DOMITILA THOMAZI

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS FERRAZ DE MELLO

RESUMO

A finalidade deste trabalho foi o de estudar alguns aspectos relativos à fixação¹ do fósforo por solos do município de Piracicaba. Para isso foram utilizados 8 amostras representativas dos mesmos retiradas das camadas de 0-20 cm.

Foram feitos dois ensaios:

a) Primeiro ensaio

Este ensaio teve por finalidades determinar os fatores que concorrem para a retenção do elemento nos solos em apreço.

Para tanto foram tomadas porções de 4 g de TFSA (terra fina seca ao ar), provenientes dos solos referidos e agitados intermitentemente, durante 48 horas, com solução de 0,01M de cloreto de cálcio contendo 500 ppm de P. Seguiu-se filtração e dosagem dos teores de P dos filtrados.

¹ Neste trabalho, os termos sorção, adsorção, retenção e fixação são usados como sinônimos.

A diferença entre o teor de P da solução de trabalho (500 ppm) e os teores encontrados nos filtrados foram considerados fixações.

As quantidades de P fixados transformados em $\mu\text{g P/g}$ de terra, foram correlacionados com características e propriedades físicas e químicas dos solos.

b) Segundo ensaio

O motivo deste ensaio foi estudar os fatores que contribuem para a adsorção do P, a disponibilidade do mesmo e a fixação por amostras pré-incubadas com doses crescentes desse nutriente.

Para isso, procedeu-se da seguinte maneira:

Porções de 200 g de terra foram incubadas durante 15 dias com 0, 50, 100, 150, 200 e 250 ppm de P provenientes do KH_2PO_4 , mantida a umidade entre 50 a 70% do poder de retenção da umidade de cada solo.

b.1. Estudo para verificar os fatores que contribuem para a fixação do fosfato após a incubação

Este foi semelhante ao primeiro ensaio, exposto em a e a terra havia sido incubada com 250 ppm de P. O P fixado foi considerado como a diferença entre o adicionado na incubação e o extraído por resina.

b.2. Estudo da disponibilidade do fósforo após a incubação

Procedeu-se à extração do P disponível das amostras pelo método da resina e estudou-se a disponibilidade do mesmo por meio da equação de regressão simples, tendo como variável independente o teor de P posto na incubação e como variável dependente o teor extraído.

b.3. Estudo da fixação após a incubação

Este ensaio foi semelhante ao exposto em b.2., porém, todas as amostras submetidas à incubação foram envolvidas.

Por meio de equações de regressão simples em que a variável independente foi o teor de P posto na incubação e a dependente a quantidade de P fixada determinou-se a concentração de P solúvel que deve ser adicionada a cada terra para anular-lhe o poder de fixação.

O trabalho permite concluir o que segue: argila e óxido de ferro livre são os principais fatores que contribuem para a fixação de P nos solos de Piracicaba. Na série Iracema a gibsita deve ser importante.

Colocando-se em ordem decrescente de capacidade de fixação as terras se comportaram do seguinte modo: Iracema > Luiz de Queiroz > Monte Olimpo > Lageadinho > Pau D'Alho > Quebra-Dente = Gibóia > Ribeirão Claro.

Seguindo o mesmo critério distinguem-se três grupos de solos:

a) Os que apresentam elevado poder de fixação
Séries Iracema, Luiz de Queiroz e Monte Olimpo.

b) Os que possuem poder de fixação interme-
diário: Série Lageadinho e Pau D'Alho.

c) Os de baixo poder de fixação: Séries Que-
bra-Dente, Gibóia e Ribeirão Claro.

Após a incubação dos solos com 250 ppm de P as terras ainda continuaram a reter esse elemento mas nenhum dos fatores estudados se correlacionou com as quantidades fi-
xadas, exceto a areia negativamente.

Para os solos manterem teores médios de P disponível devem ser enriquecidos das seguintes concentrações de P.

<u>Solo</u>	<u>ppm P</u>
Iracema	59,65
Luiz de Queiroz	106,15
Monte Olimpo	64,55
Lageadinho	74,72
Pau D'Alho	47,70
Quebra-Dente	49,45
Gibóia	42,32
Ribeirão Claro	46,88

A fim de não receber mais fosfato, as terras devem receber os seguintes teores de P:

<u>Solo</u>	<u>ppm P</u>
Iracema	1448
Luiz de Queiroz	2015
Monte Olimpo	991
Lageadinho	450
Pau D'Alho	359
Quebra-Dente	97
Gibóia	185
Ribeirão Claro	62

Diante das observações obtidas neste trabalho e das conclusões dele colhidas impõem-se recomendar, a fim de reduzir a fixação do fósforo, adubação fosfatada sempre que possível, sobretudo nos solos da série Iracema, Luiz de Queiroz, Monte Olimpo e Pau D'Alho.

Finalmente, para os solos da região de Piracicaba, o teor de argila é um bom índice de avaliação da capacidade de fixação de fosfato.

**PHOSPHATE FIXATION CAPACITY OF SOILS FROM
MUNICIPALITY OF PIRACICABA**

Author: MARIA DOMITILA THOMAZI

Adviser: Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS FERRAZ DE MELLO

SUMMARY

The aim of the present work was to study a few aspects related to phosphorus fixation by soils from the municipality of Piracicaba, State of São Paulo, Brasil. For such, eight representative samples of soils were obtained from layers of 0-20 cm depth. The following experiments were carried out:

a) First experiment.

This experiment was undertaken in order to determine the factors that contribute to fixation by the employed soils.

It was used 4 g portions of air-dried fine earth. These portions were intermitently shaken during 48 hours in 0,01M calcium chloride solution with 500 ppm of P. After filtering the amounts of P were measured. The difference between the amount of P from the working solution (500 ppm) and those found in the filtered solutions were considered

as fixed.

b. Second experiment.

The aim of this experiment was to study the factors that contribute to P fixation, its availability, and its fixation by pre-incubated samples of soil with different amounts of P.

The methods were as follows: 200 g portions of soil were incubated during 15 days with 0, 50, 100, 150, 200 and 250 ppm of P proceeding from KH_2PO_4 . The moisture were kept between 50% and 70% of the water retention capacity of each soil. After this period the soils were dried and submitted to the following studies.

b₁. Study to identify the factors that contribute to phosphate fixation after incubation.

This study was similar to the first experiment (a). The difference between the amount of P from pre-incubated samples (250 ppm) of soils and P extracted by the resin method were considered as fixed.

b₂. After incubation P availability study.

The available P was extracted by the resin method and its availability was studied by means of simple regression equations, having as independent variable the concentration of P incubated with the soil and as dependent

variable the removed concentration.

b₃. After incubation fixation study.

This experiment was similar to that exposed in b₂, but here all samples submitted to incubation were involved.

By means of simple regression equations in which the independent variable was the concentration of P given for incubation and the dependent one was the fixed amount of P, it was determined the concentration of soluble P that must be added to each soil to annul its fixation capacity.

The following conclusions were obtained:

Argyle and free iron oxide are the main factors that contribute to P fixation in the Piracicaba region soils. Gibbsite must be important for the Iracema series.

In decreasing order of fixation capacity the soils behaved as follows: Iracema > Luiz de Queiroz > Monte Olimpo > Lageadinho > Pau D'Alho > Quebra-Dente = Gibõia > Ribeirão Claro. Using the same criteria three groups of soils can be distinguished.

a) Soils with high fixation capacities:
series Iracema, Luiz de Queiroz and Monte Olimpo.

b) Soils with intermediate fixation capacities: series Lageadinho and Pau D'Alho.

c) Soils with low fixation capacities: Series Quebra-Dente, Gibóia and Ribeirão Claro.

After incubation of the soils with 250 ppm of P they still continued to retain this element by none of the studied factors correlated with the fixed quantities, except sand negatively.

In order for the soils to keep median amounts of available P, they must be enriched with the following P concentrations:

<u>Soil</u>	<u>ppm of P</u>
Iracema	59,65
Luiz de Queiroz	106,15
Monte Olimpo	64,55
Lageadinho	74,72
Pau D'Alho	47,70
Quebra-Dente	49,45
Gibóia	42,32
Ribeirão Claro	46,88

In order for the soils not to fix more phosphate they must receive the following amounts of P, approximately.

<u>Soil</u>	<u>ppm of P</u>
Iracema	1448
Luiz de Queiroz	2015
Monte Olimpo	991
Lageadinho	450
Pau D'Alho	359
Quebra-Dente	97
Gibõia	185
Ribeirão Claro	62

Based on observations and conclusions obtained in the present study, suggestions are offered in order to reduce the fixation of phosphorus:phosphated fertilisers must be applied whenever possible, especially when concerning the series Iracema, Luiz de Queiroz, Monte Olimpo and Pau D'Alho.

The amount of argyle is a good index for the evaluation of the phosphate fixation capacity for the soils from the Piracicaba municipality.

1. INTRODUÇÃO

A fixação do fósforo pelo solo é um fenômeno de elevado significado agrícola.

Pesquisadores ligados à adubação de culturas, à fertilidade do solo e os químicos de solo têm dado muito valor a ela.

Como prova da importância da retenção do fósforo pelo solo dois fatos podem ser citados:

a - A grande quantidade de adubos fosfatados utilizada, igualando-se e, às vezes, até ultrapassando as quantidades de adubos nitrogenados e potássicos, embora se saiba que o total de fósforo necessário à vida normal das plantas seja várias vezes menor que o total de nitrogênio ou de potássio.

b - O número elevado de trabalhos publicados a respeito do assunto.

Vários autores têm apresentado importantes revisões bibliográficas relativos ao fato (DEAN, 1949; KURTZ, 1953; OLSEN, 1953; HEMMWAL, 1957; CATANI, 1947).

A fixação de fósforo pelo solo se dá rapidamente de forma que ele compete com a planta na aquisição desse elemento. Em condições de laboratório o fenômeno se completa quase totalmente em poucas horas (HIBBARD, 1935; OLSEN & WATANABE, 1957; RENNIE & MCKERCHER, 1959; FROTA, 1973; GHANI & ISLAM, 1946).

Por um lado, a fixação do fosfato é um processo prejudicial às plantas, conforme foi dito acima, por outro lado, trata-se de um fenômeno benéfico porque evita as perdas por lixiviação. Além disso, não se pode afirmar que o fósforo fixado está totalmente perdido para os vegetais, pois há trabalhos que comprovam que o citado nutriente, após a sorção no terreno de cultivo, continua sendo absorvida durante muitos anos, embora de maneira parcimoniosa, conforme citam CATANI (1947) em algodoeiro, MENDES (1950) em cafeeiro e GOEDERT et alii (1987) em milho e Brachiaria humidicola.

Considerando a significância do fato em discussão, que Piracicaba é um município importante sob o ponto de vista agrícola e que a fixação do fosfato não tem sido suficientemente estudada em solos desta região, decidiu-se fazer o presente trabalho, com as seguintes finalidades:

a - Determinar os fatores que causam ou que mais contribuem para o processo.

b - Conhecer o poder relativo, entre si, de retenção de fosfato pelos mais representativos de Piracicaba.

c - Obter uma idéia das quantidades de P que podem ser retidas pelos referidos solos.

d - Estimar quanto desse elemento deve ser incorporado para manter um teor de P disponível suficiente às plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A literatura internacional e mesmo a brasileira, relativa à fixação de fósforo pelo solo é muito rica. Por esse motivo, neste trabalho serão apresentados apenas os estudos feitos com solos do município de Piracicaba.

Contudo, é conveniente destacar o que dizem MELLO et alii (1983). Eles salientam que há os mecanismos que causam a retenção do fósforo em solos ácidos, os que operam em solos alcalinos e aqueles que são comuns aos dois casos de sorte que a fixação do fósforo acontece em qualquer ponto da escala do pH do solo.

Nos solos ácidos, a fixação do elemento em foco se dá devido à precipitação como compostos de ferro e de alumínio, sobretudo, e por reação com óxidos hidratados desses mesmos metais.

Nos solos com pH superior a 7,0 as princi-

as principais causas de fixação do fósforo são a formação de fosfato de cálcio pouco solúveis e a precipitação do elemento à superfície de partículas de carbonato de cálcio.

Em qualquer ponto da escala de pH do solo as argilas silicatadas podem reter o fósforo, sobretudo as do tipo 1:1.

Devido ao que foi considerado acima ou devido a um efeito direto no pH formou-se a idéia de que a disponibilidade do fósforo está em grande parte condicionada à reação do mesmo. Assim, entre muitos outros trabalhos semelhantes (JENNY et alii, 1950) apresentaram os dados da Tabela 1 e FASSBENDER (1969) apresenta a equação:

$$y = 266,37 - 68,22x + 4,91x^2$$

em que y representa o P fixado, em porcentagem do adicionado e x o pH do solo.

Tabela 1 - Efeito da reação do solo sobre a disponibilidade do fósforo

pH do solo	Nº de solos observados	Nº de solos, em % do total, pobres em P disponível
< 5,9	105	79
6,0-6,3	91	65
6,4-6,7	89	37
6,8-6,9	116	26
8,0-8,3	27	44
> 8,3	20	80

Com relação aos solos do município de Piracicaba, não existe um trabalho sistemático, continuado, referente à fixação de fósforo. O que existe são trabalhos isolados feitos por vários pesquisadores em épocas diferentes. Serão vistos a seguir.

Alguns autores apenas constataram o fenômeno, sem fazerem qualquer menção das suas causas.

MELLO (1970) apresentou um método para avaliação da fixação de P por solos de Piracicaba, baseado no princípio do valor "A" de FRIED & DEAN (1952). Para isso utilizou de 09 amostras de terras diferentes e constatou que as quantidades sorvidas variavam de 0,06 mg P/100 g de terra a 1,91 mg P/100 g de terra.

CAVALCANTI & MELLO (1977a) mediram, em condições de laboratório, as capacidades de fixação de fosfato de 3 latossolos (Séries Iracema, Guamium e Luiz de Queiroz), 2 podzólicos (Séries Ibitiruna e Gibóia) e um hidromórfico (Série Três Municípios) e concluíram que elas decresciam na seguinte ordem: Latossolos > Hidromórficos > Podzólicos.

ROVERI et alii (1976) estudaram o arrastamento do P adicionado como fosfato monocálcico às superfícies de coluna de 30 cm de altura de 05 amostras de terra provenientes de solos de Piracicaba. Os autores constataram que a tendência do elemento era de permanecer nas camadas super-

ficiais contra a lavagem por água, havendo, porém, arrastamento em todos os casos.

CAVALCANTI & MELLO (1977b) constataram, em condições de laboratório, a existência de uma interação entre tempo de contacto terra-fósforo e quantidades do elemento adicionadas. Também constataram que a sorção máxima se dava em cerca de 120 horas de contacto. A terra provinha da camada arável do Hidromórfico Três Municípios.

Ainda trabalhando sob condições de laboratório e com amostras de 3 latossolos e 2 podzólicos, CAVALCANTI & MELLO (1977c) constataram que as quantidades de P fixadas aumentaram com as quantidades de P postas a incubar com as terras (500, 1.000 e 1.500 ppm) e que os latossolos fixavam mais que os podzólicos.

CAVALCANTI & MELLO (1977d) estudaram em laboratório o efeito do tempo de incubação terra-fosfato. Para isso, incubaram porções de 10 g de terra com doses crescentes de fosfato monocálcico, nos tempos de 0,2 e 200 horas (WAUGH & FITTS, 1966) após os quais o P era extraído com solução de H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05N (VETTORI, 1966).

Vários autores afirmam que a matéria orgânica do solo concorre para reduzir a fixação do fósforo. MELLO et alii (1983) relacionaram várias razões para isso.

ALEXANDER (1961) diz que os ácidos minerais formados no solo, como o sulfúrico e o nítrico, provenientes

da oxidação do enxôfre e do nitrogênio da matéria orgânica, concorrem para solubilizar fosfatos insolúveis.

Entretanto, MELLO et alii (1982) verificaram, em laboratório, que a adição de torta de mamona a um latossolo roxo e a uma terra roxa estruturada, mesmo após 30 dias de incubação, aumentava muito o poder de fixar fosfato dos mesmos, de sorte que mais de 90% do P aplicado foi fixado no período de um mês.

O seguinte trabalho de MALAVOLTA & PELEGRINO (1954) sugere o efeito de óxidos de ferro e de alumínio na fixação de fosfato por uma terra roxa.

Os autores referidos misturaram superfosfato marcado com P^{32} com Terra Roxa Legítima e determinaram as quantidades de P extraídos de 100 g de terra com água, citrato de amônio a pH 7,0 e ácido cítrico a 2% após 01 e 30 dias de incubação. Os resultados foram os constantes na Tabela 2.

Em outro ensaio, plântulas de tomateiro cultivadas durante 30 dias em porções de 100 g de terra que haviam sido incubadas com o mesmo adubo marcado e em porções iguais da mesma terra, recém misturada com o referido fertilizante, absorveram as seguintes porcentagens de P marcado (Tabela 3).

Tabela 2 - Fósforo extraído, em porcentagem do total aplicado, após 1 e 30 dias de contacto terra-superfosfato

Extrator	P extraído, % do aplicado	
	Após 1 dia	Após 30 dias
Água	9,3	6,0
Citrato de amônio a pH 7,0	33,9	18,9
Ácido cítrico a 2%	21,2	18,4

Tabela 3 - Fósforo absorvido, em porcentagem do total aplicado

Tratamento	P absorvido, % do aplicado
Recém misturado	8,3
30 dias de contacto	8,9

Como as quantidades de terra eram pequenas, supôs-se que as plantinhas tivessem absorvido quase o total de P disponível, ou seja, mais de 90% do P aplicado foi fixado.

Os autores declararam textualmente: "Os dados sugerem que a princípio forma-se uma boa porção de fosfatos de ferro e alumínio solúveis no citrato de amônio; aumentando o tempo de contacto são produzidos fosfatos de ex-

tração difícil, talvez do tipo hidroxiapatita".

Por meio de um ensaio que envolveu incubação de porções de 500 g de terra provenientes de um latossolo vermelho escuro-orto com quantidades crescentes de fosfato monocálcico e posterior fracionamento do fósforo, MELLO et alii (1979a) mostraram a importância do ferro e do alumínio na fixação do P e que o pré-tratamento das amostras de terra com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ contribuiu bastante para reduzir a intensidade do fenômeno citado. Este último aspecto do problema foi, também, ressaltado pelo trabalho de MELLO et alii (1979b) que concluíram que a capacidade de fixação de P da terra em apreço se tornaria nula com a aplicação de cerca de 560 kg/ha de P_2O_5 .

A fim de verificar a importância do pré-tratamento de um latossolo com um fosfato solúvel sobre o seu poder de fixar P MELLO et alii (1980) incubaram amostras da camada superficial (0-20 cm) desse solo em quantidades crescentes de fosfato monocálcico. A equação de regressão obtida entre as quantidades de P fixadas e as adicionadas ($r = -0,97^{**}$) revelou que 365 kg/ha P_2O_5 são suficientes para anular a capacidade de fixação de P do referido solo.

Em trabalho posterior, realizado com um solo hidromórfico e semelhante ao último citado, a equação de regressão ($r = -0,98^{**}$) revelou que o poder de retenção de P só é anulado por uma adição de fosfato solúvel aproximadamen-

te igual a 1275 kg /ha de P_2O_5 (MELLO, 1982).

Alguns trabalhos foram feitos em solos da região de Piracicaba e sugerem o efeito positivo da argila na fixação do fosfato.

MALAVOLTA et alii (1953) observaram que adubos fosfatados solúveis eram mais eficientes para milho em solo arenoso (Areia Quartzosa). Por outro lado, KIEHL (1951) e KIEHL & PIMENTEL GOMES (1951) haviam observado resultado oposto numa Terra Roxa. O fenômeno foi atribuído pelos autores do primeiro trabalho à diferença dos poderes de retenção de fosfato das duas terras.

MELLO et alii (1963) constataram que sementes de arroz, durante a germinação e as raízes das plântulas delas provenientes eliminavam parte do P que continham e que uma porção desse P permanecia na terra. As quantidades desse nutriente que ficavam nas terras eram maiores nos solos mais argilosos que nos menos argilosos.

MELLO (1968) trabalhando em condições de laboratório observou que, de um modo geral, os solos mais argilosos fixavam mais P que aqueles que continham menores teores de argila.

SOLIS & SILVEIRA (1982) misturaram amostras de terra da camada superficial de um Latossolo Vermelho Amarelo

lo, fase arenosa (Série Paredão Vermelho) e de um Podzólico Vermelho Amarelo, variação Laras (Série Quebra-Dente) com quantidades crescentes de vermiculita e incubaram durante 10 e 20 dias em quantidades de fosfato solúvel de modo a fornecerem 50 e 100 ppm de P.

Após extração e dosagem do P solúvel em solução de H_2SO_4 0,05N (CATANI & JACINTHO, 1974) verificou-se que as quantidades de P fixadas aumentavam com as quantidades de vermiculita adicionada e que mais de 80% do P adicionado foi fixado aos 10 dias em relação ao fixado aos 20 dias. O solo Quebra-Dente fixou mais fósforo que o Paredão-Vermelho.

Finalmente, alguns trabalhos evidenciam a fixação do fosfato. Serão citados dois exemplos.

MELLO (1964) e MELLO et alii (1974) citam um ensaio de adubação fosfatada em cana-de-açúcar cujas produções em soca e ressoca estão na Tabela 4:

Tabela 4 - Efeito residual de adubos fosfatados

Tratamento	Produção, kg/parcela	
	Soca	Ressoca
Testemunha, sem P	3082	965
Superfosfato Simples	3387	1075
Fertifos	3465	1073
Fosforita de Olinda	3596	1106

Como se pode observar na Tabela 4, as produções foram maiores nos casos de adubos menos solúveis, o que pode indicar que o fertilizante mais solúvel sofreu maior fixação. Esses resultados foram confirmados por outros ensaios (com fósforo radioativo, pelo método de Neubauer e Scheneider e pelo método biológico do A. niger).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com amostras superficiais de 0-20 cm de oito solos representativos dos que ocorrem no município de Piracicaba: Séries Iracema (Latossolo Roxo), Luiz de Queiroz (Terra Roxa Estruturada), Pau D'Alho (Terra Roxa Estruturada, fase rasa), Monte Olimpo (Hidromórfico), Lageadinho (Cambissolo), Quebra-Dente e Gibóia (Podzólico Vermelho-Amarelo), Ribeirão Claro (Areia Quartzosa).

Os resultados das análises químicas e físicas dessas amostras estão nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Os métodos analíticos utilizados nas análises químicas são os indicados por RAIJ & QUAGGIO (1983) e RAIJ et alii (1987).

pH-em solução de CaCl_2 0,01M.

Matéria orgânica - oxidação da matéria orgânica por solução de bicromato de sódio em meio sulfúrico e determinação colorimétrica.

Tabela 5 - Resultado das análises químicas das terras

Solo	pH	MO	P resina	meq/100 cm ³						V	m	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	
				K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	S ⁺					T ⁺
Série	CaCl ₂	%	µg/cm ³											
Iracema	5,2	2,60	6,52	0,02	1,09	0,16	0,10	4,23	1,27	5,50	23,09	7,30	6,54	± 10
Pau D'Alho	6,0	3,07	14,35	1,13	3,22	0,74	0,13	2,25	5,09	7,34	69,35	2,49	3,71	
Monte Olimpo	4,1	3,44	8,26	0,02	0,30	0,06	1,40	7,25	0,38	7,63	4,98	78,65	1,84	
Ribeirão Claro	4,7	1,58	3,04	0,10	0,16	-	0,24	1,82	0,26	2,08	12,50	48,00	0,60	
Quebra-Dente	4,1	1,67	8,70	0,24	0,72	0,32	1,60	3,43	1,28	4,71	27,18	55,55	0,38	
Gibóia	6,3	1,30	19,57	0,13	0,98	0,68	0,11	1,20	1,79	2,99	59,87	5,79	1,51	
Lageadinho	4,8	4,37	9,13	0,48	1,97	1,14	0,26	5,22	3,59	8,81	40,75	6,75	1,81	
Luiz Queiroz	6,1	1,40	2,17	0,19	0,34	0,05	0,08	1,48	0,58	2,06	28,16	12,12	7,83	

*S = soma em bases

T = capacidade de troca de cátions

V% = saturação em base

m% = saturação em Al

* = gibbsita

Tabela 6 - Resultados das análises granulométricas das terras

Solo Série	Frações		
	Areia	Limo	Argila (calgon)
Iracema	23,9	18,1	58,0
Pau D'Alho	37,7	30,0	32,3
Monte Olimpo	35,7	36,2	28,1
Ribeirão Claro	91,4	0,6	8,0
Quebra-Dente	61,0	30,0	9,0
Gibóia	74,6	5,0	20,4
Lageadinho	24,7	43,3	32,0
Luiz de Queiroz	26,7	23,8	49,5

Fósforo - extração pelo método da resina e determinação colorimétrica do complexo fosfomolibdico após redução com ácido ascórbico.

Potássio, cálcio e magnésio trocáveis - extraídos pelo método da resina e determinados, o potássio por fotômetro de chama e o cálcio e o magnésio por espectrofotometria de absorção atômica.

Alumínio trocável - extraído por solução 1N de KCl e titulação com solução 0,01 N de hidróxido de sódio.

Acidez potencial - (H^+ + Al^{3+}) - extração com solução 1N de acetato de cálcio e titulação com solução de hidróxido de sódio 0,025N.

Soma de bases trocáveis, S - Soma dos teores de K, Ca e Mg trocáveis.

Capacidade de troca - T - Soma de $S + H^+ + Al^{3+}$.

Saturação em bases, V% - Pela expressão

$$V = \frac{100 S}{T} .$$

Saturação em Al^{3+} - Pela expressão $m = \frac{100 Al}{S+Al}$

A análise granulométrica foi efetuada pelo método de pipeta (MEDINA, 1972).

Foi efetuada, também a análise termo diferencial das amostras. Os resultados são a seguir, resumidamente:

Série Monte Olimpo - Dominância de caulinita e presença de vermiculita (pouco).

Série Luiz de Queiroz - Dominância de caulinita, presença de vermiculita e um pouco de mica.

Série Quebra-Dente - Presença de caulinita, mica, cerca de 10% de montmorilonita e traços de vermiculita.

Série Iracema - caulinita, cerca de 10% de gibsitita e vermiculita (pouco).

Série Pau D'Alho - Dominância de caulinita, vermiculita e aproximadamente 20% de mica.

Série Lageadinho, Dominância de mica, presença

de montmorilonita e caulinita.

Série Ribeirão Claro - Dominância de caulinita, traços de mica e de vermiculita.

Série Gibóia - Dominância de caulinita, traços de mica e vermiculita.

Foram feitos dois ensaios, ambos em laboratório.

3.1. Primeiro ensaio

Foram tomadas porções de 4 g de TFSA de cada terra e passados para frascos de Erlenmeyer de 250 ml onde se adicionaram, também, porções de 100 ml de solução 0,01 M de cloreto de cálcio contendo 500 ppm de P provenientes de KH_2PO_4 . Seguiu-se um período de agitação de 48 horas, em agitador horizontal, com períodos de repouso eventuais. Após isso, as soluções foram filtradas determinando-se os teores de P das mesmas pelo método colorimétrico do vanadomolibdato de amônio (KIEHL & PORTA, 1979). As diferenças entre estes teores e aquele da solução original (500 ppm) foram consideradas como fixadas pelas terras.

Com as quantidades de fósforo fixadas assim obtidas foram feitos estudos de correlação com os componentes das Tabelas 5 e 6 além de óxido de ferro livre.

O óxido de ferro livre foi determinado pelo método citrato-bicarbonato-ditionito (JACKSON, 1969).

3.2. Segundo ensaio

Porções de 200 g de cada terra foram passadas para copos de plástico recebendo 0, 50, 100, 150, 200 e 250 ppm de P, provenientes de uma solução de KH_2PO_4 . A seguir, as terras foram secas nos próprios vasos, destorroadas e homogeneizadas sobre lâminas de plástico e voltadas para os respectivos copos.

Nos copos, as terras receberam água até o poder de embebição. Daí por diante o conteúdo de umidade das mesmas foi mantido entre 50 e 70 por cento dos respectivos poderes de embebição durante 15 dias. Após esse período foram secas, destorroadas e homogeneizadas e guardadas nos próprios copos para os estudos posteriores.

3.2.1. Estudo para verificar os fatores que concorrem para a fixação do P após incubação

Foi feito um ensaio semelhante ao exposto em 3.1., tomando-se, porém, 4 g de terra previamente incubada com 250 ppm de P. O P fixado foi considerado a diferença entre o adicionado na incubação (250 ppm) e o extraído pela água (método da resina).

3.2.2. Estudo da disponibilidade do P após a incubação

Concluída a incubação procedeu-se à extração do P disponível das terras pelo método da resina (RAIJ & QUAGGIO, 1983) e fez-se o estudo das correlações entre os teores disponíveis encontrados e aqueles postos a incubar.

Por meio das equações de regressão foram calculadas as concentrações de P necessárias serem mantidas nas terras para que elas conservem um teor médio desse elemento na forma disponível, isto é, entre 16 e 40 ppm, segundo RAIJ et alii (1985).

3.2.3. Estudo da fixação do fósforo após a incubação

Porções de 4 g de terra (ver 3.2) foram agitadas conforme explicados em 3.1 com solução de CaCl_2 0,01M contendo 50 ppm de P na forma de KH_2PO_4 . Após a filtração, foi feita a determinação do conteúdo de P da solução. A diferença entre o conteúdo de P da solução original e o do extrato final foi considerada fixada. A dosagem do P foi feita pelo método colorimétrico do vanadomolibdato de amônio (KIEHL & PORTA, 1979).

Foram estudadas as correlações entre as doses de P postas a incubar com as quantidades fixadas em cada terra. Através da equação correspondente foi calculada a concentração

de P solúvel que deve ser adicionada a cada terra para anular
lhe o poder de retenção de fosfato.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Primeiro ensaio

Os resultados encontrados, relativos ao primeiro ensaio, se acham na Tabela 7.

Tabela 7 - Fixação de fosfato por solos do município de Piracicaba

Solo Série	ppm de P fixado $\mu\text{g/g}$ terra
Iracema	3.265
Luiz de Queiroz	2.905
Monte Olimpo	2.305
Lageadinho	1.825
Pau D'Alho	1.585
Quebra-Dente	1.105
Gibóia	1.105
Ribeirão Claro	865

O estudo das correlações mencionadas em 3.1 revelaram que somente areia, argila e óxido de ferro livre se correlacionaram com as quantidades de P fixadas, a primeira de modo negativo e os dois últimos positivamente. As equações de regressão correspondentes se acham nas Figuras 1, 2 e 3.

Vários autores têm mostrado que as argilas são componentes do solo importantes na retenção de fosfato (LOPES, 1983; LEAL & VELOSO, 1973; BAHIA FILHO, 1974; FROTA, 1973; FEITOSA, 1982; LOPES & COX, 1979; NOVAIS & KAMPRATH, 1978; REMENDRA et alii, 1983; CATANI & GLORIA, 1964) bem como o óxido de ferro livre (FASSBENDER, 1969a; LOPES, 1983; FEITOSA, 1982; UDO & UZO, 1972; KITTRICK & JACKSON, 1956; USU, 1964; ROSAND & WILD, 1982; CATANI & PELLEGRINO, 1960; CATANI & GLORIA, 1964; RODRIGUEZ & MELLO, 1981; HSU & JACKSON, 1960).

Em relação ao papel desempenhado pela areia reconhece-se que ela não é um agente fixador de fosfato no solo. Ela atua mais como um agente diluidor dos componentes que causam a fixação, isto é, quanto mais areia menor a retenção: daí a correlação negativa. Vários pesquisadores têm constatado isso (RODRIGUES & MELLO, 1981; LOPES & COX, 1979).

É interessante observar que diversos fatores que contribuem para a fixação do fosfato no solo, conforme citado por muitos investigadores, não se correlacionaram com

Figura 1 - Relação entre o teor de areia e a fixação de fosfato

Figura 2 - Relação entre o teor de argila e a fixação do fosfato

Figura 3 - Relação entre o teor de óxido de ferro livre e a fixação de fosfato

esse processo neste trabalho. Por exemplo: pH (VASCONCELOS, 1973; TOTH & BEAR, 1947; RODRIGUES & MELLO, 1981; FASSBENDER, 1969a; FEITOSA, 1982); alumínio trocável (LEAL & VELLOSO, 1973; VASCONCELOS et alii, 1975; COLEMAN et alii, 1960; WOODRUF & KAMPRATH, 1979; SYERS et alii, 1971; GHANI & ISLAM, 1946); por outro lado, vários autores têm declarado que a matéria orgânica contribui para reduzir a fixação do P adicionado ao solo (MELLO et alii, 1987; LOPES, 1983; SANCHES & UEHARA, 1980) mas há os que têm encontrado o contrário (LEAL & VELLOSO, 1973).

Constata-se que o solo com maior poder de fixação de fosfato, entre os estudados, foi o pertencente à Série Iracema. Isso se deve, ao menos em parte, ao fato de conter Al_2O_3 (LOPES, 1983; FASSBENDER, 1969b; FEITOSA, 1982; ROSAND & WILD, 1982; UDO & UZU, 1972; BLACK, 1943; SAUNDERS, 1965; WILLIAMS et alii, 1958) e dos mais elevados teores de argila e de Fe_2O_3 livre.

No que se refere à capacidade de retenção de fosfato, em ordem decrescente, os solos em estudo se comportaram assim: Iracema > Luiz de Queiroz > Monte Olimpo > Lageadinho > Pau D'Alho > Quebra-Dente = Gibóia > Ribeirão Claro.

Pode-se, também, classificar os referidos solos sob o mesmo critério de capacidade de fixação de P, em três grupos: a) os que apresentam grande poder de fixação: Iracema, Luiz de Queiroz e Monte Olimpo; b) os que apresentam poder

intermediário de fixação: Lageadinho e Pau D'Alho; c) os que apresentam baixo poder de fixação: Quebra-Dente; Gibóia e Ribeirão Claro.

4.2. Segundo ensaio

4.2.1. Estudo para verificar os fatores que concorrem para a fixação do fósforo após incubação

Os resultados deste estudo são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Fixação de fosfato por solos do município de Piraicaba, após incubação com 250 ppm de P

Solo Série	ppm de P fixado $\mu\text{g/g}$ terra
Iracema	76,8
Luiz de Queiroz	143,5
Monte Olimpo	128,3
Lageadinho	97,9
Pau D'Alho	85,2
Quebra Dente	43,0
Gibóia	38,7
Ribeirão Claro	51,4

Nota-se que, mesmo após a incubação com 250 ppm de P, as terras continuaram a fixar fósforo, embora de forma atenuada. Isto pode ser explicado pela consideração de que o fosfato anteriormente adicionado bloqueou os sítios de adsorção, tornando-os, em sua grande maioria, inábeis para retenção posterior.

Isso tem importância prática relevante. Vários autores concordam que uma das maneiras de se reduzir a fixação do fósforo é através de adubações fosfatadas suficientemente grandes para saturar os lugares de fixação (BASU & MUCHERJEE, 1972; NELSON & HANSEN, 1968; SANCHES, 1981; YOUNGE & PLUCKNETT, 1966).

Quanto às correlações envolvendo fósforo fixado (Tabela 8) e os elementos das Tabelas 5 e 6 constatou-se apenas uma correlação significativa. Trata-se da correspondente, à fração areia e aparece na Figura. 4.

Quanto à explicação do fato observado por que as correlações P-fixado x argila e P-fixado x Fe_2O_3 não resultaram significativas isso pode ser devido ao que já foi comentado anteriormente: possivelmente o fósforo aplicado na incubação bloqueou os lugares de retenção de P, sobretudo os correspondentes à Série Iracema, desestabilizando a correspondência entre os dados.

Figura 4 - Relação entre o teor de areia e a fixação do fósforo

4.2.2. Estudo da disponibilidade do fósforo após a incubação

Os resultados obtidos estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Teores de fósforo disponível em solos do município de Piracicaba, após a incubação, $\mu\text{g}/\text{cm}^3$

Solo	Concentrações de P, postos a incubação, terra $\mu\text{g}/\text{g}$					
	0	50	100	150	200	250
Iracema	8,0	25,8	62,5	109,9	118,3	173,2
Luiz de Queiroz	1,7	11,8	36,3	40,6	92,9	106,5
Monte Olimpo	9,7	27,9	48,6	99,7	109,9	121,7
Lageadinho	11,8	23,2	47,7	68,0	103,0	152,1
Pau D'Alho	18,5	40,5	66,0	93,0	135,2	164,8
Quebra-Dente	5,9	41,4	74,3	114,9	160,6	207,0
Gibóia	11,8	38,4	78,2	143,7	173,2	211,3
Ribeirão Claro	2,5	33,4	75,6	130,9	169,0	198,6

Com os dados da Tabela 9 foram calculadas as equações de regressão referidas em 3.2.2. e depois preparadas as Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 para ilustração. Com as equações de regressão foram calculadas as concentrações de P necessárias serem adicionadas a cada terra para que elas possam conter um teor médio desse elemento, isto é, de 16 a 40 ppm.

Estes teores estão na Tabela 10.

Figura 5 - Disponibilidade de P após a incubação, série Iracema

Figura 6 - Disponibilidade do P após a incubação, série Luiz de Queiroz

Figura 7 - Disponibilidade do P após a incubação, série Monte Olimpo

Figura 8 - Disponibilidade do P após a incubação, Série Lageadinho

Figura 9 - Disponibilidade de P após a incubação, série Pau D'Alho

Figura 10 - Disponibilidade do P após a incubação, série Quebra-Dente

Figura 11 - Disponibilidade do P após a incubação, série Gibóia

Figura 12 - Disponibilidade do P após a incubação, série Ribeir-

Tabela 10 - Concentrações de P, em ppm, necessárias serem adicionadas a cada terra para manter um teor médio desse elemento na forma disponível

Solo	P adicionado para manter em ppm de P	
	16	40
Iracema	23,18	59,65
Luiz de Queiroz	51,73	106,15
Monte Olimpo	15,57	64,55
Lageadinho	31,00	74,72
Pau D'Alho	6,93	47,70
Quebra-Dente	19,56	49,45
Gibóia	13,61	42,32
Ribeirão Claro	17,76	46,88

Nota-se que o solo que requer mais fósforo para manter um teor médio é o Luiz de Queiroz, seguido do Lageadinho. Os demais requerem teores menores inclusive o Iracema que foi o que apresentou maior poder de fixação quando não incubado previamente com fósforo.

As observações acima são importantes, sobretudo no caso do Lageadinho devido à sua pequena espessura.

Outra observação importante é a de que a disponibilidade do P parece não estar associada à capacidade ini

cial de fixação do solo, antes da incubação, pois solos que no primeiro ensaio revelaram altos fixadores desse elemento (Iracema e Monte Olimpo) liberaram-no tanto quanto aqueles que revelaram capacidade de retenção mais baixa. Com o Lageadinho ocorreu o inverso.

De qualquer modo, esses resultados estão de acordo com os observados por outros autores (NOVAES & KAMPRATH, 1978 e outros citados na Introdução) de que o fósforo fixado, em particular o recém-fixado, é em parte ao menos disponível às plantas.

4.2.3. Estudo da fixação do fósforo após a incubação

Os resultados obtidos após o período de incubação, a respeito dos teores de P fixados pelas terras, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Teores de P fixados pelas terras após a incubação em ppm.

Solo Série	Concentrações de P postas a incubar, µg/g terra					
	0	50	100	150	200	250
Iracema	851	829	782	732	728	716
Luiz de Queiroz	968	941	872	869	866	848
Monte Olimpo	712	688	652	604	544	524
Lageadinho	496	464	332	332	260	236
Pau D'Alho	392	317	272	173	164	140
Quebra-Dente	154	124	-52	-132	-160	-182
Gibóia	257	227	92	-4	-28	-50
Ribeirão Claro	456	428	-100	-154	-268	-280

A presença de números negativos significa que a terra, em vez de fixar fósforo da solução de contacto, liberou fósforo.

Com os dados da Tabela 11 foram calculadas as equações de regressão entre os teores de P fixado e aqueles postos na incubação. Os resultados obtidos estão nas Figuras 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20 em que y é o teor de P fixado e x os teores de P das terras colocadas a incubar.

Utilizando-se as equações de regressão referidas calcularam-se os teores de P que cada terra deve conter a fim de anular o seu poder de fixar fósforo, embora se reconheça que isso é teórico. Os resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Teores de P que cada terra deve receber a fim de não fixar mais fosfato

Solo	Teor de P, ppm
Iracema	1448
Luiz de Queiroz	2015
Monte Olimpo	991
Lageadinho	450
Pau D'Alho	359
Quebra-Dente	97
Gibõia	185
Ribeirão Claro	62

Figura 13 - Efeitos da incubação com P sobre a fixação por amostra de solo Iracema

Figura 14 - Efeitos da incubação com P sobre a fixação por amostra de solo Luiz de Queiroz

Figura 15 - Efeitos d'aincubação com P sobre a fixação por amostra de solo Monte Olimpo.

Doses de P na incubação, ppm

Figura 16 - Efeitos da incubação com P sobre a fixação por amostras de solo Lageadinho

Figura 17 - Efeitos da incubação com P sobre a fixação em amostra de solo Pau-D'Alho

Figura 18 - Efeito da incubação com P sobre a fixação por amostras de solo Quebra-Dente

Figura 19 - Efeitos da incubação em P sobre a fixação por amostra de solo Gibóia.

Figura 20 - Efeitos da incubação em P sobre a fixação por amostra de solo Ribeirão Claro

Observando-se os dados da Tabela 12 e os teores de argila e de Óxido de ferro livre (Tabela 5) constata-se que há uma relação entre eles. A análise de regressão revelou o seguinte:

a) Para a argila:

$$y = -332,157 + 34,829x$$

$$r = 0,86^{**}$$

b) Para o Óxido de ferro livre

$$y = 6,387 + 233,42x$$

$$r = 0,93^{**}$$

Esses resultados mostram que quanto mais rico em argila e em Fe_2O_3 livre (fatores que contribuem para a fixação do fósforo nos solos de Piracicaba, conforme mostrado em 4.1), mais fosfato é necessário adicionar ao solo para anular ou reduzir significativamente o seu poder de reter esse ânion e no que se refere à argila, cuja determinação é mais simples que a do Fe_2O_3 livre e este está contido nela, concorda com LOPES (1979) que diz, em relação a solos de cerrado:

"Do ponto de vista agronômico, a percentagem de argila é a variável mais recomendada para estimar a capacidade de fixação de fósforo nesses solos".

Comparando-se os resultados contidos na Tabela 12 com os obtidos em 4.1, observa-se uma concordância muito boa, ou seja:

a) Os solos que apresentaram grande poder de fixação (Iracema, Luiz de Queiroz e Monte Olimpo) são os que necessitam maiores quantidades de fosfato para anulá-los tal poder.

b) Os solos com poder intermediário de fixação (Lageadinho e Pau D'Alho) são os que requerem quantidades intermediárias de fosfato para o mesmo fim.

c) Os solos com baixo poder de fixação (Quebra-Dente, Gibóia e Ribeirão Claro) são os que precisam de menores quantidades de fosfato para a finalidade em foco.

5. CONCLUSÕES

Argila e Óxido de ferro livre são os fatores principais que contribuem para a fixação de fosfato em solos do município de Piracicaba.

De acordo com o poder de fixação, em ordem decrescente, os solos que serviram para o estudo se comportaram do seguinte modo:

Iracema > Luiz de Queiroz > Monte Olimpo > Lageadinho > Pau D'Alho > Quebra-Dente. = Gibõia > Ribeirão Claro.

Para tais solos manterem seu teor médio de P disponível devem ser-lhes adicionados fosfatos solúveis nas seguintes concentrações:

<u>Solo</u>	<u>ppm P</u>
Iracema	59,65
Luiz de Queiroz	106,15
Monte Olimpo	64,55
Lageadinho	74,72
Pau D'Alho	47,70
Quebra-Dente	49,45
Gibóia	42,32
Ribeirão Claro	46,88

A fim de anular-lhes a capacidade de fixação os seguintes teores devem ser-lhes fornecidos, sempre em termos de ppm de P no solo:

<u>Solo</u>	<u>ppm P</u>
Iracema	1448
Luiz de Queiroz	2015
Monte Olimpo	991
Lageadinho	450
Pau D'Alho	359
Quebra-Dente	97
Gibóia	185
Ribeirão Claro	62

Sempre que possível devem ser efetuadas adubações fosfatadas aos solos utilizados neste trabalho, por serem pobres nesse elemento e para reduzir-lhes a capacidade

de fixação, sobretudo nos da série Iracema, Luiz de Queiroz, Monte Olimpo e Pau D'Alho.

Por fim, pode-se considerar que o teor de argila é um bom índice para avaliação da capacidade de reter fosfato dos solos do município de Piracicaba.

6. LITERATURA CITADA

ALEXANDER, M., 1961. Introduction to soil microbiology.

John Wiley & Sons Inc., New York e London, 472p.

BAHIA FILHO, A.F.C., 1974. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais. Intensidade, capacidade e quantidade de fósforo, fósforo "disponível" e crescimento vegetal. Tese de M.S. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, M.G.

BASU, N.S. & S.K. MUCHERJEE, 1972. Solubility of added phosphates in phosphate saturated soils. I. Indian Soc. Soil Sci. 20:7-11. In: Phosphorus in Agriculture Abstract nº 61:57.

BLACK, C.A. 1943. Phosphate fixation by kaolinite and other clays as affected by pH, phosphorus concentration, and time of contact. Soil Sci. Amer. Proc. 7:123-133.

- CATANI, R.A., 1947. Contribuição ao estudo dos fosfatos, sua dosagem, extração e distribuição nos solos do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, 65p. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- CATANI, R.A. & D. PELLEGRINO, 1960. Avaliação da capacidade de fixação de fósforo. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 17:19-27. Piracicaba.
- CATANI, R.A. & GLORIA, N.A., 1964. Evaluation of the capacity of phosphorus fixation by the soil through the isotopic exchange using 15 P^{32} . Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz" 21:229-237.
- CATANI, R.A. & A.O. JACINTHO, 1974. Análise química para avaliar a fertilidade do solo. Boletim Técnico Científico. E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, nº 37, 54p.
- CAVALCANTI, F.J.A. & F.A.F. MELLO, 1977d. Fatores que afetam a fixação do fósforo I. Período de incubação. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 34:445-455.
- CAVALCANTI, F.J.A. & F.A.F. MELLO, 1977c. Fatores que afetam a fixação do fósforo II. Concentração da solução adicionada. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 34:457-468.
- CAVALCANTI, F.J.A. & F.A.F. MELLO, 1977b. Quantidade relativa de fósforo fixada em um solo hidromórfico. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 34:469-477.

- CAVALCANTI, J.A. & F.A.F. MELLO, 1977a. Fixação percentual do fósforo por solos da região de Piracicaba. Rev. Agr. 52:93-103.
- COLEMAN, N.T.; J.T. THOROUGH & W.A. JACKSON, 1960. Phosphate sorption reactions that involve exchangeable Al. Soil Sci. Baltimore, 90:1-7.
- DEAN, E.A. 1949. Fixation of soil phosphorus. In: Advances in Agronomy, vol. 1, pp.391-409, edited by A.G. Norman, Academic Press. Inc., New York.
- FASSBENDER, H.W., 1969. Phosphorus fixation in tropical soils. Agric. Digest. Bruxelas, 18:20-28.
- FASSBENDER, H.W., 1969a. Estudio del fósforo en suelos de America Central. IV. Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. Turrialba, Costa Rica, 19(4):497-505.
- FASSBENDER, H.W., 1969b. Retención y transformación de fosfatos en ocho latosolos de la amazonia del Brasil. Fito-tecnia Latinoamericana, San José 6(1):1-9.
- FEITOSA, C.T., 1982. Influência do pH e teor de argila do solo na solubilização de fosfatos. Tese de Doutorado, E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 122p.

- FRIED, M. & L.A. DEAN, 1952. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Sci. Baltimore, 73:263-272.
- FROTA, J.N. & N. ESPÍNDOLA, 1973. Fixação de fósforo em solos aluviais. Cien. Agron., Fortaleza, CE, 3:89-94.
- GHANI, M.O. & M.A. ISLAM, 1946. Phosphate fixation in acid soils and its mechanism. Soil Sci., 62:293-306.
- GOEDERT, J.W., D.M. GOMES DE SOUZA & E. LOBATO, 1987. Fósforo. In: Solos de cerrado, tecnologia e estratégia de manejo. Coordenação por W.J. Goedert. Editora Nobel, São Paulo, 422p.
- HEMWAL, J.B., 1957. The fixation of phosphorus by soils. In: Advances in Agronomy. Vol. 9, pp.95-112, editado por A.G. Norman, Academic Press. Inc., Nova Iorque.
- HIBBARD, P.L. 1935. Factors influencing phosphate fixation in soils. Soil Sci., 39:337-358.
- HSU, P.H. & M.L. JACKSON, 1960. Inorganic phosphate transformations by chemical weathering in soils as influenced by pH. Soil Sci., Baltimore, 90(1):16-24.
- HSU, P.H. 1964. Adsorption of phosphorus by aluminum and iron in soils. Soil Sci. Soc., Amer. Proc. 28:474-478.
- JACKSON, M.L., 1969. Soil chemical analysis: advanced course. Dpt. of Soil Sci. University of Wisconsin. 991p.

- JENNY, H.; J. VLAMIS & W.E. MARTIN, 1950. Greenhouse assay of fertility of California soils. *Hilgardia*, 20:1-8.
- KIEHL, E.J., 1951. Estudo sobre adubos fosfatados. *Rev. Agric.* 26:75-86.
- KIEHL, E.J. & PIMENTEL GOMES, F., 1951. Ensaio sobre adubos fosfatados. *Rev. Agric.* 26:391-396.
- KIEHL, E.J. & A. PORTA, 1979. Análise de lixo e composto. Apostila, 44p.
- KITTRICK, J.A. & M.L. JACKSON, 1956. Electron microscope observation of reactions of phosphates with minerals leading to a unified theory of phosphate fixation in soils. *J. Soil Sci.* 7:81-89.
- KURTZ, L.T., 1953. Inorganic phosphorus in acid and neutral soils. In: *Soil and Fertilizer Phosphorus in Crop Nutrition*, pp.59-88, editado por W.H. Pierce & A.G. Norman, Academic Press Inc., Nova Iorque.
- LEAL, J.R. & A.C.X. VELLOSO, 1973. Adsorção de fosfatos em latossolos sob vegetação de cerrado. *Pesq. Agrop. Bras. Ser. Agron.* 8:81-88. Rio de Janeiro.
- LOPES, A.S. & F.R. COX, 1979. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:82-88.

LOPES, A.S., 1983. Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo. Editado por T. Yamada. Instituto de Potassa e Fosfato (EUA) e Instituto Internacional de Potassa (Suíça). 162p.

MALAVOLTA, E. & D. PELLEGRINO, 1954. Nota sobre algumas transformações do superfosfato radioativo em terra roxa. Rev. Agric. 29: 317-323.

MALAVOLTA, E.; T. COURY; G. RANZANI; R.A. CATANI; M.O.C. BRASIL SOBRINHO & H.V. ARRUDA, 1953. Competição entre adubos fosfatados em milho (Zea mays L.). Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 10:109-120.

MEDINA, H.P., 1972. Constituição física. In: Elementos de Pedologia, coordenado por Antonio C. Moniz. Editora da Universidade de São Paulo, 459p.

MELLO, F.A.F., 1964. O emprego dos radioisótopos no estudo da fertilidade do solo. I. Avaliação dos teores de nutrientes disponíveis e efeito residual dos fertilizantes. Rev. Agric. 39:175-184.

MELLO, F.A.F.; H.P. HAAG & E. MALAVOLTA, 1966. Eliminação de fósforo por sementes e raízes de plantas de arroz (Oriza sativa L. var. Batatais) (Nota Prévia). Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 23:137-143.

- MELLO, F.A.F., 1968. Capacidade de fixação de fosfato de alguns solos do município de Piracicaba (Nota Prévia). Rev. Agric., 43:23-28.
- MELLO, F.A.F., 1970. Um método para avaliar a capacidade de fixação de fosfato pelo solo empregando P^{32} . Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, 27:347-352.
- MELLO, F.A.F.; M.O.C. BRASIL SOBRINHO; S. JOLY & E.MALAVOLTA, 1974. Efeito residual do superfosfato, fosfato precipitado e fosforita de Olinda em cana de açúcar. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, 31:243-249.
- MELLO, F.A.F.; E.J.P. COELHO; J.B. PALHANO; J.C. HENKLAIN & L.C. NETO, 1979b. Efeito do tratamento de um regossol com fosfato sobre a capacidade de fixação de fósforo pelo mesmo. Ecossistema. 4:93-95.
- MELLO, F.A.F.; F.A. KRUG; J.M. CARRIEL; M.I.S. LOPES; R.N. GIRALDI & V.F. NETO, 1979a. Fixação de fósforo por um latossolo vermelho escuro-orto. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 36:53-66.
- MELLO, F.A.F.; E.A. BALLONI; J.P. JANKOVSKY; A.P. SILVA N.P. KOFFLER & M.VALÉRIO FILHO. 1980. Efeito do tratamento de um latossol com fosfato sobre a capacidade de fixação de fósforo do mesmo. Rev. Agric. 55:127-151.

- MELLO, F.A.F.; R.I. SILVEIRA & M.F.S. ROVERI, 1982. Efeito da matéria orgânica sobre a fixação de fósforo do solo. (Nota prévia). Rev. Agric. 57:262-272.
- MELLO, F.A.F., 1982. Efeitos da adição de doses crescentes de fosfato monocálcico sobre a capacidade de fixação de fosfato de um solo hidromórfico. Rev. Agric., 57:147-151.
- MELLO, F.A.F.; M.O.C. BRASIL SOBRINHO; S.A. ARZOLLA, R.I. SILVEIRA; A. COBRA NETTO & J.C. KIEHL, 1983. In: Fertilidade do Solo, 3a. edição. Editora Nobel, São Paulo, 400p.
- MENDES, C.T. 1950. Adubações fosfatadas. Rev. Agric. 25: 1-22.
- NELSON, W.L. & C.M. HANSEN, 1968. Methods and frequency of fertilizer application. In: Changing Patterns in Fertilizer Use. Soil Sci. Soc. of America, Inc., Madison, Wisconsin, 466p.
- NOVAIS, R.F. & E.J. KAMPRATH, 1978. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. Madison, 42:931-935.
- OLSEN, S.R. 1953. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils. In: Soils and Fertilizer Phosphorus in Crop Nutrition, edited by W.H. Pierce & A.G. Norman, pp. 89-122. Academic Press Inc., New York.

OLSEN, S.R. & F.S. WATANABE, 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Proc. Soil Sci. Soc. Am. Madison, 21:144-149.

RAIJ, R. van. & J.A. QUAGGIO, 1983. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, Boletim Técnico nº 81, 31p.

RAIJ, B. van. ; N.M. SILVA; O.C. BATAGLIA; J.A. QUAGGIO; R. HIROCE; H. CANTARELLA; R. BELLINAZZI JR.; A.R. DECHEN & P. E. TRANI, 1985. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Boletim Técnico nº 100. Instituto Agrônomo, Campinas, SP. 107p.

RAIJ, B. van.; J.A. QUAGGIO; H. CANTARELLA; M.E. FERREIRA; A.S. LOPES & O.C. BATAGLIA, 1987. In: Análise Química do Solo para Fins de Fertilidade. Fundação Cargill, Campinas, SP, 170p.

REMENDRA, SINGH, M.R.F. MOLLER & W.A. FERREIRA, 1983. Cinética da sorção de fósforo em solos dos trópicos úmidos da Amazônia. Rev. Bras. Ci. Solo, 7:227-231.

RENNIE, D.A. & R.B. Mc KERCHER, 1959. Adsorption phosphorus by from Soskatchervam Soils. Can. J. Soil Sci., 39:64-75.

- RODRIGUES, M.R.S. & F.A.F. MELLO, 1981. Fatores que afetam a fixação de fosfato nos solos do Estado de São Paulo. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 38:173-183.
- ROSAND, P. CABALA & ALAN WILD, 1982. Phosphate adsorption and immobilization characteristics of three soils from Southern Bahia, Brasil. Pesq. Agrop. Pec. Brasília, 17: 1013-1021.
- ROVERI, M.F.S.; W.S. MYADA; F.A.F. MELLO; R.I. SILVEIRA, 1976. Estudo da lixiviação do fósforo em cinco solos do município de Piracicaba. Rev. Agric. 51:157-163.
- SANCHEZ, P.A. & G. VEHERA, 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: The Role of Phosphorus in Agriculture. A.S.A., E.S.S.A, S.S.S.A., Madison, Wisconsin, 910p.
- SANCHES, Pedro A. 1981. Suelos del Trópico. Características e Manejo. IICA. San José, Costa Rica, 634p.
- SAUNDERS, W.M.H., 1965. Phosphate retention by New Zealand soils and its relationship free sesquioxids, organic matter and other soil properties. New Zea. J. Agric. Res. 8:30-57.
- SOLIS, F.A.M. & R.I. SILVEIRA, 1982. Fixação de fósforo em solos que receberam quantidades variáveis de argilas vermiculita e caulinita. I. Efeito da argila vermiculita. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 39:883-916.

- SYERS, J.K.; T.D. EVANS; J.D.H. WILLIAMS & J.T. MURDOCK, 1971. Phosphate sorption parameters of representative soil from Rio Grande do Sul, Brasil. Soil Science, 112: 267-275.
- TOTH, S.J. & F. BEAR, 1947. Phosphorus adsorbing capacities of some New Jersey soils. Soil Science, 64:199-211.
- UDO, E.J. & F.O. UZU, 1972. Characteristics of phosphorus adsorption by some Nigerian soils. Proc. Soil Sci. Soc. Am. Madison, 36:879-883.
- VASCONCELOS, C.A., 1973. Contribuição para o estudo do fósforo em dois latossolos do Estado de Mato Grosso. Dissertação de Mestrado, U.F.V., Viçosa, 103p.
- VASCONCELOS, C.A.; J.M. BRAGA; R.F. NOVAES & O.C.B. PINTO, 1975. Fósforo em dois latossolos do Estado de Mato Grosso. Rev. Ceres, 22:22-49.
- VETTORI, L. 1966. Métodos de análise de solos. Divisão de Pedologia. Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro, 19p. (mimeografado).
- WAUGH, D.L. & J.W. FITTS, 1966. Estudo para interpretação de análises de solo: de laboratório e de vasos. Bol. Tec. Int. Soil Test., Raleigh, nº 3, 33p.

WILLIAMS, E.G.; N.M. SCOTT & M.J.Mc DONALD, 1958. Soil properties and phosphate sorption. J. Sci. Food Agr. 9:551-559.

WOODRUFF, J.R. & E.J. KAMPRATH, 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 29:148-150.

YOUNGE, O.P. & D.L. PLUNCKNETT, 1966. Quenching the high phosphorus fixation of Hawaiian Latosols. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:653-655.