

EXTRAÇÃO DE VÁRIAS FORMAS DE FÓSFORO EM ALGUNS  
SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO, UTILIZANDO  
VÁRIOS MÉTODOS QUÍMICOS

Alfredo Lopez Perez \*  
André Martin Louis Neptune \*\*

RESUMO

Vários métodos de extração para o P solúvel, o P orgânico e o P total foram comparados em 5 (cinco) solos do Estado de São Paulo, que são: a) areia quartzosa (Entissol); b) podzolizado vermelho amarelo, variação Lara (Ultissol); c) latossol vermelho (Oxissol); d) podzolizado vermelho amarelo, variação Piracicaba (Ultissol); e) terra Roxa Estruturada (Alfissol).

De acordo com os dados, as seguintes conclusões foram tiradas:

---

\* Universidade del Tachira - San Cristobal - Estado Tachira - Venezuela.

\*\* Universidade de São Paulo - ESALQ - Piracicaba - Estado de São Paulo - Brasil.

1. Os melhores extratores para o P solúvel foram  $H_2SO_4$  0,05 N (método IAC) e  $H_2SO_4$  0,025 N + HCl 0,05 N (método Mehlich).
2. Para remover e medir o P orgânico, os extratores foram equivalentes.
3. O método químico de Sommers e Nelson e aquele de Jackson foram os melhores para o P total no solo.

## INTRODUÇÃO

O ânion fosfato liga-se com facilidade a cargas positivas livres, compostos ou partículas coloidais - formando os mais diversos sistemas, com diferentes graus de solubilidade, os quais contribuem para manter o equilíbrio do fósforo na solução do solo.

O conteúdo de fósforo total na maioria dos solos minerais varia entre 0,02 a 0,5% (JACKSON, 1964). Este pode se subdividir em duas frações principais: uma inorgânica que inclui principalmente fosfatos complexos de Al, Fe e Ca, a qual por sua vez se subdivide em uma parte solúvel em extratores químicos e uma insolúvel, e outra fração orgânica.

A análise de fósforo solúvel por dois métodos pode apresentar correlação entre si em um grupo de solos e não em outro. No entanto, a quantidade de trabalhos técnicos sobre comparação entre extratores químicos, para a determinação de fósforo solúvel, e testes de avaliação em casa de vegetação ou campo, cresce continuamente, sugerindo que, de forma geral, a melhor técnica de extração ainda não existe (CHANG, 1965).

A função do fósforo orgânico no solo é geralmente esquecida, provavelmente porque, em solos minerais cultivados, a maior parte do fósforo total está sob forma inorgânica. Acredita-se que a contribuição do fósforo orgânico no aproveitamento da planta é pequeno nos solos de regiões temperadas (RUSSELL, 1973), embora esta possa ser significativa em solos de regiões tropicais (WILLIAMS, 1967).

As principais formas de fósforo orgânico no solo, são as seguintes: Ácidos Nucleicos, Fosfato de Inositol e Fosfolipídeos. No entanto, existem fosfoproteínas e fosfoaçúcares, tais como Glucose-1-Fosfato, as quais se apresentam em quantidades menores a 1% do fósforo orgânico (ANDERSON, 1967).

Assim o presente trabalho teve como objetivo extrair várias formas de fósforo em alguns solos do Estado de São Paulo, Brasil, por vários métodos químicos.

## REVISÃO DE LITERATURA

A maior parte dos solos das regiões tropicais e subtropicais possuem um nível muito baixo em fósforo disponível. Por isso os rendimentos das culturas são geralmente muito baixos, a menos que se apliquem fertilizantes fosfatados.

De acordo com CATANI (1947), os solos do Estado de São Paulo são realmente pobres em fósforo. Verificou-se pelos seus estudos, que a Terra Roxa Legítima é a mais rica, vindo depois os solos da formação Corumbataí. PASQUAL e NEPTUNE (1971), encontraram teor até de 4% de fósforo total em uma Terra Roxa Estruturada do Estado de

São Paulo. De fato os solos Terra Roxa do Brasil acusam uma quantidade consideravelmente mais alta de fósforo total e inorgânico, do que aqueles solos altamente meteorizados (NEPTUNE, 1976).

Nem todo o fósforo do solo é disponível para as plantas. A proporção das diversas formas de fósforo e o pH do sistema, vão influenciar na atividade ou concentração de íons fosfato na solução do solo e, portanto, na disponibilidade aos vegetais (CATANI e BATAGLIA, - 1968). Deduz-se então que o conhecimento das diversas formas de fósforo ocorrendo em um solo reveste-se de importância na análise química do mesmo como supridor do elemento às culturas.

Tem sido propostos diversos métodos para a determinação do fósforo total em solos. Os dois métodos mais comumente usados para a extração do fósforo total de solos são: a digestão com Ácido Perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) (SOMMERS e NELSON, 1972), e a fusão com Carbonato Sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e posterior extração com Ácido Sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (JACKSON, 1970).

A digestão com Ácido Perclórico pode dar resultados algo baixos na ausência de HF, o qual garante a destruição dos silicatos que contêm fosfatos minerais (SOMMERS e NELSON, 1972; SYERS et alii, 1968). Por outro lado, o método de fusão com Carbonato Sódico dá recuperação quantitativa de todas as formas de fósforo em solos, mas é tedioso e consome muito tempo (MATTINGLEY, 1965; SHERRELL e SAUNDERS, 1966; SYERS et alii, 1967, 1969). A diferença que pode aparecer entre os valores de fósforo total pelos métodos de fusão com carbonato de sódio, e digestão com ácido perclórico, pode ser atribuída ao fósforo não extraível pelo ácido perclórico.

DICK e TABATABAI (1977), preconizam um novo método para a determinação do fósforo total, baseados na ebulição, até a secagem do solo, com  $\text{NaBrO}$ , e a poste-

rior extração do ortofosfato com ácido sulfúrico 1 N , determinando fotocolorimetricamente o fósforo extraído, pelo método de azul de molibdênio (MURPHY e RILEY, 1962). CATANI e BATAGLIA (1968), usaram o método por ataque com ácidos Clorídrico, Nítrico e Sulfúrico concentrados, na proporção 10:3:5, e posterior extração com água.

Diversos pesquisadores, relacionando o extrator químico com as formas inorgânicas do fósforo no solo, puderam identificar aquele que mais contribui ao teor disponível deste extrator, e assim chegar à preferência do vegetal (PÉREZ MÉNDEZ et alii, 1978; FERREIRA et alii, 1978; ANDERSON, 1975; SÁ et alii, 1974). Deve-se acrescentar que os próprios extratores utilizados são mais específicos a um tipo de composto de fósforo, não impedindo que extraia também os outros tipos, conforme apontam SMITH (1970) e PRATT e GARBER (1964).

FASSBENDER et alii (1968), ressaltam que a distribuição dos fosfatos de Fe, Al e Ca, e a sua predominância nos solos, depende do pH dos mesmos, do produto de solubilidade dos distintos fosfatos, dos cátions presentes no solo e do grau de meteorização destes solos. Com o aumento do pH favorece-se a predominância dos fosfatos de Ca, por outro lado, a meteorização e consequente acidificação dos solos favorece a predominância de fosfatos de Fe e Al.

Acresce ainda à dificuldade de se definir estas predominâncias, a própria credibilidade que se dá à metodologia do fracionamento do fósforo segundo CHANG e JACKSON (1956). Diversas objeções e modificações tem surgido na literatura, muito bem apanhadas em SMITH (1970).

Muitas pesquisas têm sido feitas a respeito de diferentes métodos de extração de fosfatos solúveis, através das quais se tem constatado que, uns ou outros,

para as condições de solo específico de cada trabalho, deram a melhor estimativa do suprimento de fósforo.

Destacam-se três tipos de extratores: os de ácidos fortes diluídos, desenvolvidos para solos ácidos; os alcalinos, desenvolvidos para solos alcalinos e/ou calcários, e os de efeito complexante, desenvolvidos para solos de neutros a ácidos, principalmente os fertilizados com fosfatos naturais. Todos têm vantagens e desvantagens, no entanto nenhum é universal.

Os extratores mais usados são cronologicamente, os seguintes:

- Ácido Cítrico (Dyer, 1894, em FRIED e BROESHART, 1967).
- Água, sã ou saturado com  $CO_2$  (Burd, 1918, em MELSTED, 1967, Daubeny, 1845, em JACKSON, 1970, HAGIN et alii, 1963).
- Ácido Sulfúrico (TRUOG, 1930; Mc LEAN et alii, 1955; CATANI et alii, 1955; SUSUKI et alii, 1963).
- Lactato de Amônio em Ácido Acético (Egner, 1932, Riehm, 1942 e 1948, em FRIED e BROESHART, 1967).
- Acetato de Sódio em Ácido Acético (Morgan, 1935 e 1941, em FRIED e BROESHART, 1967; PEECH e ENGLISH, 1944).
- Ácido Acético (Spurway, 1944, em SMITH e COOK, 1953).
- Ácido Clorídrico e Fluoreto de Amônio (BRAY e KURTZ, 1945).
- Ácido Clorídrico e Ácido Sulfúrico (MEHLICH, 1953).

- Cloreto de Cálcio (Aslyng, 1954, em HAGIN e HILLIN GER, 1964).
- Resina Trocadora de Ânions (AMER et alii, 1955; MO SEUR et alii, 1959; SIBBESEN, 1977).
- Hidróxido de Sódio (Saunder et alii, 1956, em PICHOT e ROCHE, 1972).
- Carbonato diversos (GRUNES et alii, 1963; OLSEN et alii, 1954; FRIED e BROESHART, 1967).
- Ácido Bórico, no método de Eletrodiálise (PAYNE e HANNA, 1965).
- EDTA (FRIED e BROESHART, 1967; ALEXANDER e ROBERTSON, 1972; SAHRAWAT, 1977).

A porcentagem da fração orgânica no fósforo total é variável e situa-se entre os valores de 2,6 a 86%. Assim, por exemplo, BLACK e GORING (1953) indicam que esta fração varia entre 2,6 a 75% do fósforo total. Em 1961, BREMNER e HO enfatizam a importância quantitativa do fósforo orgânico em muitos solos, indicando que pode alcançar até 50% do P total. WELLS e SAUNDERS (1860), confirmaram esses resultados depois de pesquisarem 136 amostras de solos de Nova Zelândia, nos quais a porcentagem foi de 13 a 79%, com uma média de 54%. OMOSTOSO (1971) estima que em plantações de cacauieiro de Nigéria, a porcentagem varia de 21 a 74%. KAILA (1963), encontrou em 213 amostras de solos, que o P orgânico contribui com 17 a 68% do fósforo total. MORTENSEN e HINES (1964), encontraram um limite superior de 80% e, em alguns trabalhos, especialmente em solos de clima tropical, como os de AWAN (1964) e de FRIEND e BIRCH (1960), apontam valores que chegam até 86% do fósforo total.

As moléculas orgânicas dos ácidos nucleicos, as quais participam da vida da célula, não existem livres

na natureza, a menos que seja destruída a membrana celular. Elas apresentam duas formas: RNA e DNA, ambos formados por uma cadeia de nucleotídeos contendo cada uma delas o açúcar pentose, a base púrica ou pirimídica e funções crotofosfato. ANDERSON (1970), isolou duas formas de difosfato de pirimidina em extrato alcalino do solo, descobrindo assim a presença no solo da estrutura unitária característica do DNA. Em complemento a isso, ADAMS et alii (1954), ANDERSON (1961) e ISLAM e AMMED (1973), estimaram que a quantidade de ácidos nucleicos corresponde a 7% do fósforo orgânico total no solo.

Os ésteres fosfóricos do inositol representam mais de 50% do fósforo orgânico total do solo, em estimativas dadas por ANDERSON (1967), COSGROVE (1963) e MCKERCHER (1968).

O ácido fítico ou hexafosfato de inositol, e seus sais hidratados de sódio, são muito solúveis. Por outro lado, os sais de Al, Fe, Ca e Mg são insolúveis (ANDERSON, 1963). As duas formas anteriores, usualmente chamadas fitina, são na realidade os mais comuns em plantas adultas. Numerosos isômeros tem sido isolados do solo por CONSGROVE (1963, 1967, 1972), MARTIN (1964), MCKERCHER (1968) e L'ANNUNZIAIA (1975). A fitina pode se hidrolisar no solo por bactérias, liberando fosfatos sob formas disponíveis para as plantas (HANCE e ANDERSON 1963).

Os fosfolipídeos mais frequentemente encontrados no solo são: Lecitina (Fosfatidilcolina), Fosfatidiletanolamina e Fosfatidilcerina (STRICKLAND, 1975). Estas formas, as quais são extraíveis com solventes orgânicos (éter, clorofórmio e benzeno), constituem entre 0,5 e 7% do fósforo orgânico do solo (ANDERSON e MALCOM, 1974).

Num estudo do movimento do fósforo em solos calcários, HANNAPEL et alii (1964 a, b) consideraram que 90% das formas que se movimentam através do perfil são



frações orgânicas; eles também concluíram que os microorganismos tem um papel predominante neste aspecto. FARDEAU et alii (1968), encontraram que as plantas são capazes de obter uma importante parte de seu fósforo por absorção do fitato de sódio aplicado como fertilizante. FURUKAWA e KAWAGUCHI (1969), estabeleceram que a incubação a 40°C do solo sob cultivo de arroz, reduzia em 20% o conteúdo de fósforo orgânico, e concluíram que a hidrólise da fitina é estimulada pela inundação do solo. SZEMBER (1960), encontrou que 50% dos microorganismos na zona das raízes contém fitases.

Por outra parte, KOTELEV et alii (1960), os quais estudaram respectivamente 35 espécies de bactérias e 32 espécies de fungos do solo, estimaram que todos eles contêm nuclease, mas pouco fitase. BIRCH (1961), comparou a decomposição de plantas novas e velhas, e informou que a mineralização microbiológica é mais ativa em plantas novas, e que 70% do fósforo encontra-se na forma ácida solúvel, e 30% na forma ácida insolúvel. JACQUIN et alii (1968), encontraram que a proporção de fósforo orgânico formado, variava com a presença ou não de Ca, Al e Fe no meio nutritivo.

JOSHI e SAXENA (1972), afirmaram que a "Humina", a fração não extraível da matéria orgânica, não continha fósforo. SWIFT e POSNER (1972), assinalaram que as moléculas mais pesadas dos ácidos húmicos tem o maior conteúdo de fósforo.

A proporção elevada de fósforo orgânico não se deve a grande quantidades de fósforo orgânico presente, mas sim as pequenas reservas de fósforo total em muitos solos tropicais (BORNEMISZA, 1966).

Estudos recentes indicam que parte deste fósforo orgânico, especialmente suas frações mais importantes são, até certo ponto, diretamente disponíveis para as plantas, aumentando assim a importância do conhecimento

detalhado desta fração de fósforo (BOWER, 1949; MORTENSEN e HINES, 1964; DORMAAR e WEBSTER, 1963; WILLIAMS e WALKER, 1967; HONG e YAMANE, 1975; TATE, 1979).

Apesar de sua contribuição de considerável importância, existem poucos trabalhos na América Latina que se dedicam ao estudo desta categoria de fósforo (AWAN, 1964; CATANI et alii, 1957; DAHNKE et alii, 1964).

## MATERIAIS E MÉTODOS:

### Solos

Foram utilizados cinco solos do Estado de São Paulo, a saber:

- a) Terra Roxa Estruturada (TRE): ordem Alfissol;
- b) Podzólico Vermelho Amarelo, variação Piracicaba - (PVp): ordem Ultissol;
- c) Latossolo Roxo, série Iracema (LR): ordem Oxissol;
- d) Podzólico Vermelho Amarelo, variação Laras (PVls): ordem Ultissol;
- e) Areia Quartzosa (AQ), cerrado: ordem Entissol.

Todos os solos foram coletados a uma profundidade entre 0 e 25 cm. Postos a secar ao ar. Amostras compostas foram peneiradas (Peneira 18) e pequenas porções das mesmas foram tomadas para análise química, análise granulométrica e determinação de umidade, no Laboratório de Solos, do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ.

### Métodos de Análises Químicas para Fósforo

Para os diferentes solos, utilizaram-se os seguintes métodos de análise química para cada classe de fósforo:

- Fósforo total

Digestão com Ácido Perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) concentrado (SOMMERS e NELSON, 1972).

Fusão com Carbonato de Sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e posterior extração com Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado (JACKSON, 1970).

Digestão com ácidos Clorídrico ( $\text{HCl}$ ), Nitríco ( $\text{HNO}_3$ ) e Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (CATANI e BATAGLIA, 1968).

- Fósforo Solúvel

Método de Bray P-1 (BRAY e KURTZ, 1945), com solução extratora de Fluoreto de Amônio ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) 0,03 N e Ácido Clorídrico ( $\text{HCl}$ ) 0,025 N, com relação solo: extrator 1:20 e 5 minutos de tempo de agitação.

Método de Bray P-2 (BRAY e KURTZ, 1945), com solução extratora de Fluoreto de Amônio ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) 0,03 N e Ácido Clorídrico ( $\text{HCl}$ ) 0,1 N, com relação solo: extrator 1:20, e tempo de agitação de 1 minuto.

Método de Mehlich (MEHLICH, 1953), com solução extratora de Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,025 N e Ácido Clorídrico ( $\text{HCl}$ ) 0,05 N, sendo a relação solo: extrator de 1:20, e o tempo de agitação de 5 minutos. Este método é conhecido também como Método da Carolina do Norte.

Método do Instituto Agronômico, Campinas, SP (CATANI et alii, 1955), com solução extratora de Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,05 N, relação solo: extrator de 1:20, e tempo de agitação de 15 minutos.

Método de Olsen (OLSEN et alii, 1954), com solução extratora de Bicarbonato de Sódio ( $\text{NaCO}_3\text{H}$ ) 0,05 N a pH 8,5, relação solo: extrator 1:20, e tempo de

agitação de 30 minutos. Foram adicionadas 3 gramas de carvão livre de fósforo para cada extração.

#### - Fósforo Orgânico

Método de extração com Ácido Clorídrico (HCl) e Hidróxido de Sódio (NaOH), (MEHTA et alii, 1954).

Método de Ignição, e posterior extração com Ácido Sulfúrico (SAUNDERS e WILLIAMS, 1954).

Em todos os casos, o fósforo foi determinado foto colorimetricamente no aparelho de Klett-Summerson, a 660 m $\mu$ , pelo método do Azul Sulfomolibdico, modificado por MURPHY e RILEY (1962).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise Química e Mecânica de Solos

Os resultados das análises químicas feitas nos diferentes solos, estão apresentados na Tabela 1.

Segundo os Padrões de Fertilidade de Solo do Instituto Agronômico, Campinas (ULTRAFERTIL, 1980), podem-se fazer as seguintes considerações.

Os solos AQ e PVIs apresentam acidez mediana e forte respectivamente; teores baixos de C%,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , assim como níveis não toleráveis de  $Al^{3+}$ .

Os solos LR e PVp, apresentam-se medianamente ácidos, sendo que o LR apresenta teores altos de C%, médio de  $K^+$ , e alto de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , sendo o  $Al^{3+}$  tolerável; o PVp apresenta alto teor de C%, teores médios de  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  e alto teor. de  $Mg^{2+}$ , sendo o  $Al^{3+}$  tolerável.

Tabela 1. Análise química dos solos.

Solo	pH	C.Org.%	Teor trocável em mEq/100 g de terra				
			K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
AQ	5,1	0,12	0,03	0,21	0,07	0,28	2,80
PV1s	4,8	0,33	0,08	0,48	0,22	1,00	4,24
LR	5,1	2,16	0,13	5,24	2,16	0,16	6,08
PVP	5,4	1,50	0,30	3,86	1,91	0,24	5,44
TRE	5,5	1,44	0,75	4,36	1,58	0,08	5,60

Tabela 2. Análise granulométrica e umidade dos solos.

Solo	Análise mecânica (%), Pipeta, Calgon.				Umidade %
	Areia	Limo	Argila		
			< 0,002	Disp.em H <sub>2</sub> O	
AQ	94,4	2,1	3,1	1,5	0,1
PV1s	81,7	10,4	7,9	2,9	0,1
LR	19,4	37,5	43,1	28,8	4,8
PVP	17,6	27,7	54,7	33,1	2,0
TRE	23,6	26,7	49,7	24,4	2,0

A TRE apresenta acidez fraca, teores altos de C%, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, tendo teor tolerável de Al<sup>3+</sup>.

Os resultados das análises granulométricas dos solos, assim como o seu conteúdo de umidade, estão apresentados na Tabela 2.

Segundo estes dados, a classificação textural dos solos é a seguinte:

AQ	: Areia
PVls	: Franco-Arenoso
LR	: Argilo-Limoso
PVp e TRE	: Argiloso

Os solos com essas classes texturais, devem apresentar as seguintes propriedades

AQ	: Baixa água disponível para as plantas e excessiva drenagem interna.
PVls	: Baixa água disponível para as plantas, e excessiva drenagem interna.
LR	: Alta quantidade de água disponível para as plantas, e drenagem interna suave.
PVp	: Alta quantidade de água disponível para as plantas, e de suave a pobre drenagem interna.
TRE	: Alta quantidade de água disponível para as plantas, e de suave a pobre drenagem interna.

## Análises Químicas para Fósforo em Solo

### Fósforo Solúvel

Também é chamado de fósforo "disponível", o qual não é muito correto, já que a "disponibilidade" dada por um extrator nem sempre é igual a quantidade disponível para a planta, pois a quantidade extraída por um método

depende de muitas variáveis.

Os valores encontrados pelos diferentes métodos de análise propostos, estão na Tabela 3.

Levando em consideração os resultados do método de análise para Fósforo Solúvel do IAC (CATANI *et alii*, 1951), e os Padrões de Fertilidade do Solo do Instituto Agrônomo, Campinas, é possível classificar estes solos, segundo o teor de Fósforo Solúvel, na forma seguinte: AQ e LR, teores muito baixos; PVls e PVp, teores médios e TRE, teor alto de fósforo solúvel.

Independentemente de considerações posteriores, na AQ o extrator mais enérgico foi o de Bray P-2 (Gráfico 1), seguido dos de Olsen, Mehlich, Bray P-1 e IAC, apresentando-se diferença estatística significativa ao nível de 1% entre todos os métodos, mas não entre os métodos de Mehlich e Bray P-1.

É de se notar, que na AQ o método do Olsen ocupou o segundo lugar. Isso pode ser devido a que, na AQ, tem-se um teor de argila muito baixo, pelo qual as interferências fotocolorimétricas são quase nulas.

No PVls, o extrator mais enérgico foi o de IAC (Gráfico 1), o qual não apresentou diferença significativa com o de Mehlich. A continuação, em ordem decrescente, vem o de Bray P-2, Olsen, e por último o de Bray P-1 como o mais fraco.

No LR, o extrator mais eficiente foi o de Bray P-2 (Gráfico 1), seguido em ordem decrescente os de Bray P-1, Mehlich, IAC e Olsen. Apresentou-se diferença estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade entre todos os métodos.

No PVp, o extrator mais enérgico foi o de Mehlich (Gráfico 1), seguido em ordem decrescente os de Bray P-2, IAC e Bray P-1, os quais não apresentaram diferença



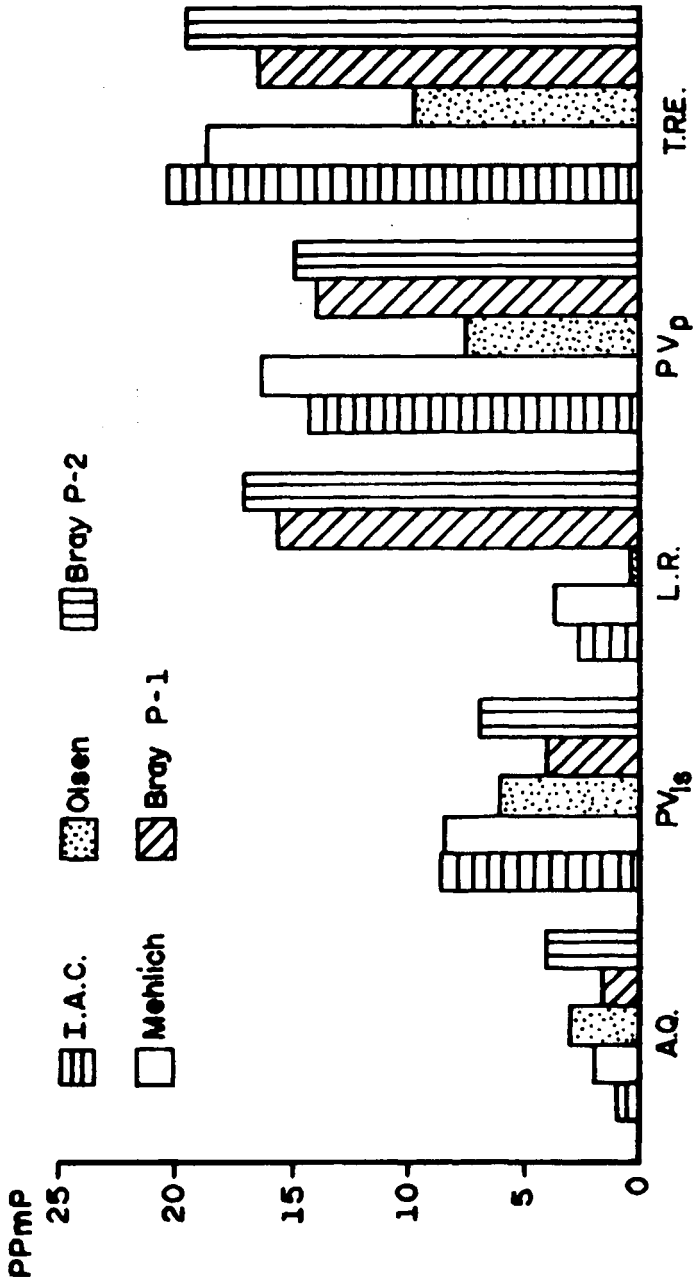


Gráfico 1 - Fósforo solúvel nos diferentes solos, por diferentes métodos de análise.

Tabela 3. Fósforo solúvel obtido por diferentes métodos de análise, para cinco solos do Estado de São Paulo.

Método	S O L O S				
	AQ	PV1s	LR	PVp	TRE
IAC	1,17 a	8,82 a	2,91 a	14,38 a	20,33 a
Mehlich	2,23 b	8,80 a	3,90 b	16,11 b	18,75 b
Olsen	3,45 c	6,01 b	0,26 c	7,85 c	9,66 c
Bray P-1	1,83 b	4,00 c	15,16 d	13,90 a	16,25 d
Bray P-2	4,95 d	6,90 d	17,00 e	14,90 d	19,34 b
D.M.S. (1%)	0,46	0,39	0,50	0,49	0,61
F	401,35	1031,25	8802,38	1645,26	1846,92
C.V. (%)	4,00	1,34	1,52	0,87	0,87

Em cada série de valores, os seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

significativa ao nível de 1% de probabilidade, e por último o de Olsen como o mais fraco.

Na TRE (Gráfico 1), o extrator mais enérgico foi o do IAC, seguido dos de Mehlich e Olsen, os quais não apresentaram entre eles diferença estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade, seguido de Bray P-1 e por último Olsen como o mais fraco.

Em resumo tem-se o seguinte para cada solo:

- AQ : Bray P-2 > Olsen > Mehlich = Bray P-1 > IAC;  
 PVls : IAC = Mehlich > Bray P-2 > Olsen > Bray P-1;  
 LR : Bray P-2 > Bray P-1 > Mehlich > IAC > Olsen;  
 PVp : Mehlich > Bray P-2 > IAC = Bray P-1 > Olsen;  
 TRE : IAC > Bray P-2 = Mehlich > Bray P-1 > Olsen

Dos resultados anteriores pode-se perceber que, de forma geral, os métodos que apresentaram maior poder extrator, são aqueles com soluções de ácidos fortes (IAC, Mehlich), e o que usa uma mistura de fluoreto e ácido diluído (Bray P-2).

Os métodos de Bray P-1 e Bray P-2, mostraram-se eficientes, sendo as soluções extratoras relativamente límpidas. Estes métodos apresentam fluoreto de amônio nas soluções extratoras, e o íon fluoreto pode interferir no desenvolvimento da cor na reação do azul de Molibdênio, como mostra o trabalho de KURTZ (1942); tal fato também foi lembrado por JACKSON (1970). BIASI (1978), verificou em dois solos de Santa Catarina, que a adição de ácido bórico aumentou o teor de P de 2% a 4%. Em vista das citações anteriores, é aconselhável a adição de ácido bórico 0,8M nos métodos que usam fluoreto de amônio no extrator, aumentando as vantagens dos mesmos.

O método de CATANI et alii, ou IAC, apresentou resultados muito bons, justificando o seu uso como análise de rotina no IAC. Apresentou solução extratora límpida, adequada relação solo: extrator, e fácil metodologia.

O método de Mehlich apresentou resultados bons, solução extratora límpida, adequada relação solo: extrator, e facilidade no trabalho de laboratório.

O método de Olsen et alii, foi o que apresentou maiores problemas. Apresentou solução extratora amarelada, por dispersão de argila e matéria orgânica, sendo isto um grande inconveniente na determinação fotocolorimétrica do P pelo método do azul de molibdênio, já que não se pode interpolar adequadamente os dados experimentais dos solos, na curva padrão, pois o intervalo de absorção de luz nos dois casos, é diferente. Por outro lado, os carvões testados, necessários para a floculação da maioria da argila e matéria orgânica, apresentam fósforo em maior ou menor quantidade, pelo qual deve-se lavar previamente com solução de bicarbonato, com o qual o fósforo é eliminado, mas não se pode ter certeza de que posteriormente esse carvão não irá absorver parte do P contido na solução extratora. Um outro problema deste método, é a efervescência que acontece quando são misturadas a solução extratora e o reativo sulfomolibdico, o qual pode apresentar problemas. Por último, de não ser neutralizada, e acidificada a solução para o uso fotocolorimétrico de uma forma precisa, corre-se o risco de que a cor desenvolvida com o reativo sulfomolibdica, não seja estável com o tempo, o qual também é fonte de erros.

De todo o considerado anteriormente, pode-se separar os extratores usados no presente trabalho, em ordem decrescente segundo a sua importância, na seguinte forma:

- a. IAC e Mehlich;
- b. Bray P-2;
- c. Bray P-1;
- d. Olsen et alii.

### Fósforo Orgânico

Na Tabela 4 tem-se os valores obtidos para o fósforo orgânico de cada solo, com os dois métodos usados.

Observa-se uma tendência geral em quanto ao conteúdo de C. Org. % dos solos (Tabela 1) e a quantidade de Fósforo Orgânico determinado nos mesmos.

Observa-se no Gráfico 2, que a maior quantidade de P orgânico se apresenta na TRE, e a menor na Areia Quartzosa .

Os dois métodos usados não apresentaram diferença estatisticamente significativa para nenhum dos solos.

As quantidades de Fósforo Orgânico em cada solo acompanham de certa forma as médias de fósforo solúvel nos mesmos (Gráfico 1), entre os cinco solos e para os cinco métodos, sendo que a única diferença notável se apresenta no LR, o qual tem maior conteúdo de P orgânico que o Pvp, mas apresenta menor quantidade de P solúvel (Tabela 3) do que este.

### Fósforo Total

Os resultados obtidos para cada solo, pelos três métodos de análise usados, estão apresentados na Tabela 5.

Pode-se observar que, enquanto os métodos de Sommers e Nelson e de Jackson apresentaram aproximadamente os mesmos valores (Gráfico 3), o método de

Tabela 4. Fósforo orgânico obtido por diferentes métodos de análise, para cinco solos do Estado de São Paulo.

Método	S O L O S				
	AQ	PV1s	LR	PVp	TRE
			ppm P		
S e W	29,00 a	62,67 b	849,30 c	416,00 d	946,33 e
M. et alii	29,67 a	63,00 b	846,67 c	416,00 d	945,67 e
D.M.S. (1%)	3,36	3,15	32,32	8,23	16,03
F	0,446 <sup>n.s.</sup>	0,139 <sup>n.s.</sup>	0,195 <sup>n.s.</sup>	0,000 <sup>n.s.</sup>	0,020 <sup>n.s.</sup>
C.V. (%)	3,52	1,54	1,18	0,61	0,26

Em cada série de valores, os seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 1% pelo Teste de Tukey.

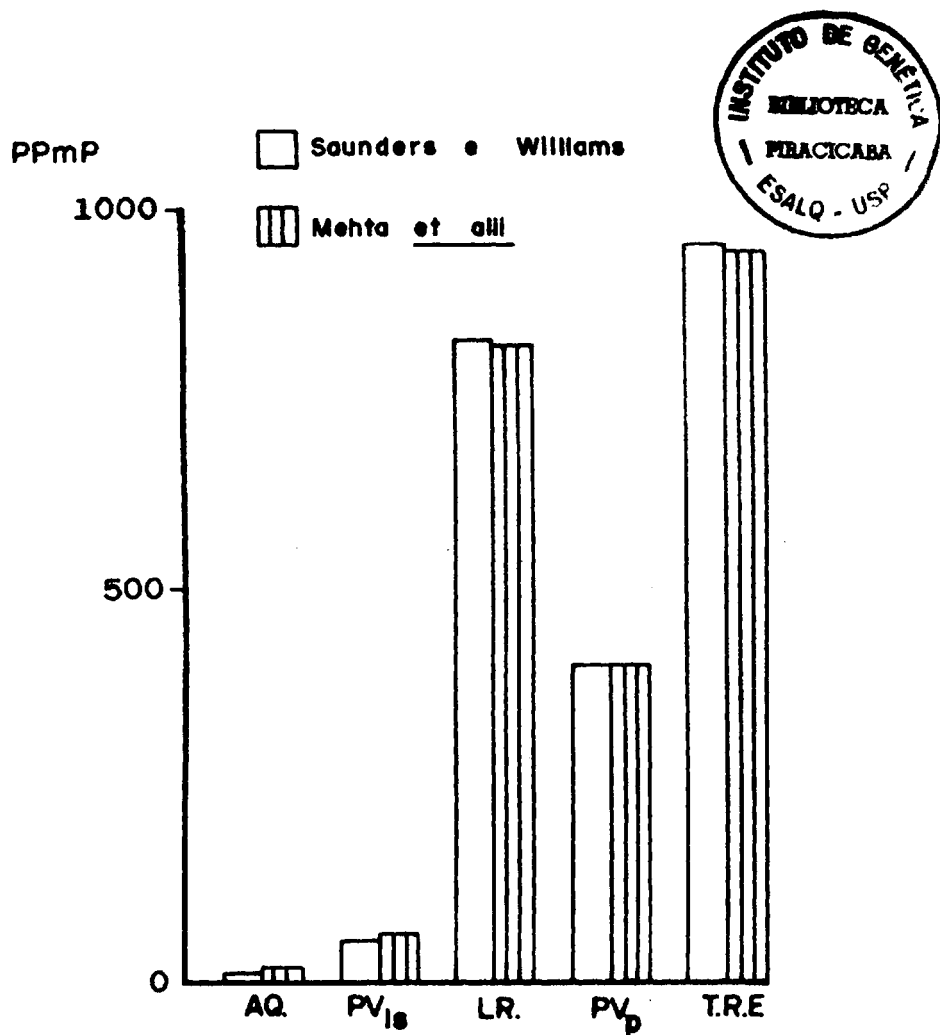


Gráfico 2 - Fósforo Orgânico nos diferentes solos, por diferentes métodos de análise.

Tabela 5. Fósforo total obtido por diferentes métodos de análise, para cinco solos do Estado de São Paulo.

Métodos	S O L O S				
	AQ	PV1s	LR	PVp	TRE
S e N	35,67 a	90,33 a	939,67 a	540,33 a	1120,00 a
Jackson	36,06 a	89,00 a	941,00 a	541,33 a	1134,33 b
C e B*	19,00 b	68,33 b	269,67 b	230,33 b	380,33 c
D.M.S. (1%)	11,23	6,56	7,81	10,96	13,82
F	30,01**	141,75**	98423,44**	10712,34**	39014,98**
C.V. (%)	8,81	1,88	0,26	0,59	0,37

Em cada série de valores, os seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 1% pelo Teste de Tukey.

\* CATANI e BATAGLIA



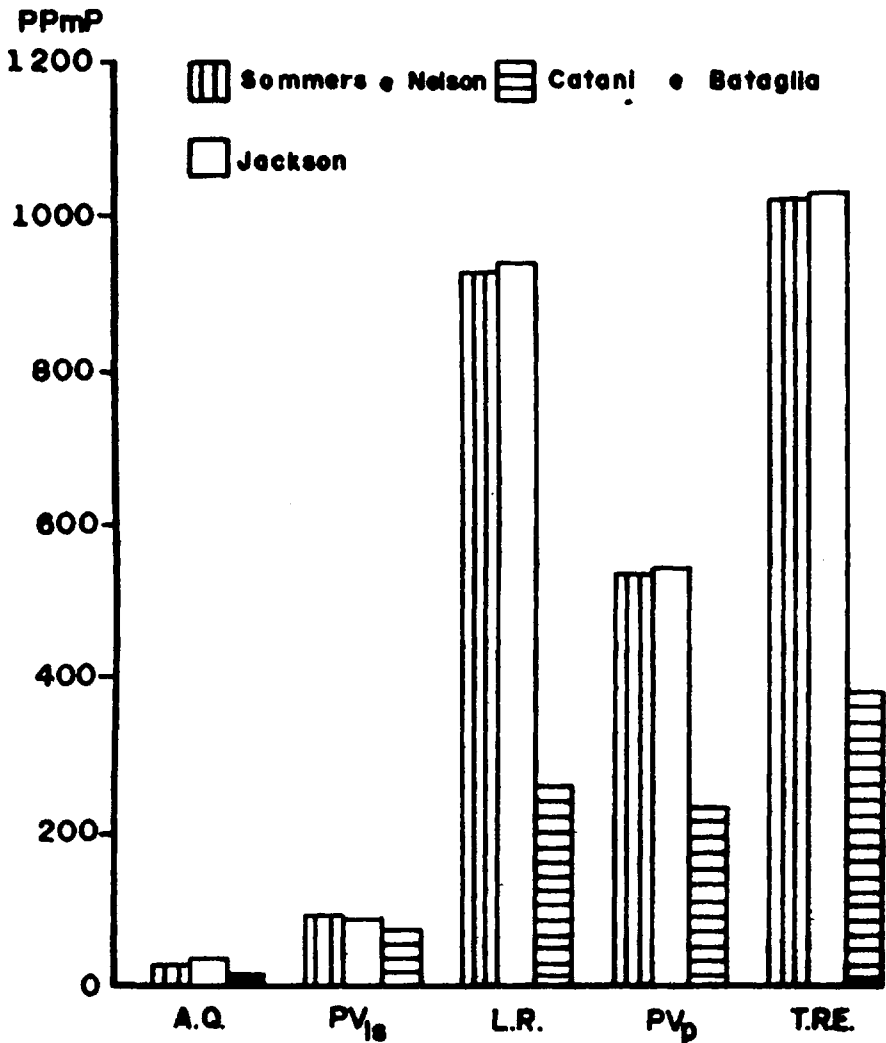


Gráfico 3 - Fósforo nos diferentes solos, por diferentes métodos de análise.

Catani e Bataglia apresentou resultados muito inferiores aos anteriores, com uma alta diferença significativa ( $P < 0,01$ ) com os primeiros.

Por outro lado, pode-se notar nos três métodos (Gráfico 3), que a sequência de valores para o P total dos diferentes solos, é a mesma, ou seja:  $TRE < LR > PVp > PVI_s > AQ$ . Esta sequência é similar a do fósforo orgânico nos diferentes solos.

Os resultados obtidos pelos dois primeiros métodos apresentam concordância com os valores obtidos para o P orgânico, no entanto, o método de Catani apresenta resultados muito inferiores aos do P orgânico, o qual não é possível, já que o P total do solo é a soma dos valores de P orgânico e P inorgânico.

Na Tabela 6, tem-se as porcentagens de Fósforo Solúvel, segundo os métodos empregados para analisar as quantidades de P solúvel e de P total. De uma forma geral, observa-se que a tendência das porcentagens é a seguinte:

$$PVI_s > AQ > PVp > TRE > LR$$

Isto nos indica que um solo, por exemplo o AQ e o PVI<sub>s</sub> apesar de ter muito pouco fósforo disponível em termos absolutos, apresenta uma alta porcentagem do mesmo.

Por outra parte, solo com bastante quantidade absoluta de fósforo solúvel, como a TRE (Tabela 3), apresenta uma porcentagem muito baixa em relação aos anteriores.

Na Tabela 7, apresentam-se os dados referentes às porcentagens de Fósforo Orgânico, com referência aos métodos usados para determinar o Fósforo Total e o Fósforo Orgânico.

Tabelo 6. Porcentagem de fósforo solúvel (Ps) segundo o método de análise empírico, e com referência ao método para fósforo total (Pt).\*

Método para Pt	SOMERS E NELSON						JACKSON					
	AQ	PVts	LR	PVp	TRE	S O L O S	AQ	PVts	LR	PVp	TRE	
IAC	3,28	9,76	0,31	2,66	1,02	3,24	5,91	0,31	2,66	1,79		
Mehlich	6,25	9,74	0,42	2,99	1,67	6,18	5,89	0,41	2,98	1,65		
Olsen	3,67	6,65	0,03	1,45	0,86	3,56	6,75	0,03	1,45	0,85		
Bray P-1	5,13	4,43	1,61	2,58	1,45	5,07	4,49	1,61	2,57	1,53		
Bray P-2	13,07	7,64	1,81	2,76	1,73	13,72	7,75	1,81	2,75	1,70		

\* O cálculo com o método de CATANI e BATAGLIA (1966) para Pt, não foi colocado, por ser a quantidade de Pt menor a de P org.

Tabela 7. Porcentagem de fósforo orgânico (Po) segundo o método de análise empregado, e com referência ao método empregado para fósforo total.\*

Método para Po	SOMMERS E NELSON					JACKSON					
	AQ	PV's	LR	PVp	TRE	SOLOS	AQ	PV's	LR	PVp	TRE
S e V.	81,30	69,38	90,38	77,08	84,79	80,37	70,42	90,38	76,85	83,71	
M. et alii	83,18	69,74	90,10	84,43	84,43	82,23	70,79	89,98	76,85	83,37	

\* O cálculo com o método de CATANI e BATAGLIA (1968) para Pt não foi colocado, por ser a quantidade de Pt menor a de P org.

A tendência geral é a seguinte, para os diferentes solos estudados:

LR > TRE > AQ > PVp > PVI s

Ve-se que o LR, o qual apresenta a maior quantidade de C. Org. % (Tabela 1), apresenta também a maior porcentagem de P orgânico. No entanto, a AQ, a qual têm a menor quantidade de C. Org. %, não é a que apresenta menor porcentagem de P orgânico.

## CONCLUSÕES

1. Dos extratores utilizados para determinar fósforo solúvel, os melhores foram os de IAC ( $H_2SO_4$  0,05N) e Mehlich ( $H_2SO_4$  0,025 N + HCl 0,05 N), em termos de quantidade de P extraído.

2. Os dois extratores utilizados para determinar P orgânico; Mehta *et alii* (extração com HCl e NaOH) e Saunders e Williams (ignição e extração com  $H_2SO_4$ ), foram equivalentes no referente a quantidade de P extraído.

3. Os métodos de Sommers e Nelson (digestão perclórica) e Jackson (fusão com  $Na_2CO_3$  e extração com  $H_2SO_4$ ) foram os melhores no que diz respeito a quantidade de P extraída.

## SUMMARY

EXTRACTION OF VARIOUS FORMS OF PHOSPHORUS IN  
SOIL OF THE SÃO PAULO STATE, BRAZIL,  
USING VARIOUS CHEMICAL METHODS

Various extractions methods for soluble P, organic P and total P, were compared on five soils of the State of São Paulo, Brazil, namely: a. sandy quartz (Entisol), b. red yellow podzolic, Lara variation (Ultisol); c. red-ocre latosol (Oxisol); d. red yellow podzolic, Piracicaba variation (Ultisol); e. terra roxa estruturada (Alfisol).

According to the data, the following conclusions were drawn:

1. The best extractants for soluble P were  $H_2SO_4$  0,05 N (IAC methods) and  $H_2SO_4$  0,025 N + HCl 0,05 N (Mehlich method).

2. For removing and measuring the organic P, the extractants were equivalents.

3. The chemical method of Sommers & Nelson and that of Jackson were the best for the total P in the soil.

## LITERATURA CITADA

ADAMS, A.P., M.W. BATHOLOMEU e F.E. CLARCK, 1954. Measurement of nucleic acids components in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 18:40-46.

ALEXANDER, T.G. e J.A. ROBERTSON, 1972. EDTA extractable phosphorus in relation to available and inorganic

phosphorus forms in soils. Soil Sci., 114:69-72.

- AMER, F., D.R. BOULDIN, C.A. BLACK e F.R. DUKE, 1955. Characterization of soil phosphorus by anion-exchange resin absorption and  $^{32}\text{P}$  equilibration. Pl. Soil, 6: 391-408.
- ANDERSON, A., 1975. Relative efficiency of nine differents. Sw. J. Agr. Res., 5(3):125-135.
- ANDERSON, G., 1970. The isolation of nucleoside diphosphates from alkaline extract of soil. J. Soil Sci., 21: 96-105.
- ANDERSON, G. e R.J. HANGE, 1963. Investigation of an organic phosphorus component of fulvic acid. Pl. Soil XIX(3):296-303.
- ANDERSON, G. e R.E. MALCOM, 1974. The nature of alkali-soluble soil organic phosphates. J. Soil Sci., 25: 282-297.
- AWAN, A.B., 1964. Effect of lime on availability of phosphorus in Zamorano soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28(5): 672-673.
- BIASI, J. A avaliação do Fósforo relacionado a diversos extratores químicos em solos de Santa Catarina. Piracicaba, 1978. 181 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- BIRCH, H.F., 1961. Phosphorus transformations during plant decomposition. Pl. Soil, XV(4):347-366.
- BLACK, C.A. e C.A.I. GORING, 1953. Organic phosphorus in soils. In: Soil and fertilizer phosphorus. Pierre W.H. and A.G. Norman, eds. Academic Press Inc., New York, pp. 123-152.

- BORNEMISZA, E., 1966. Organic phosphorus in tropical soils. Turrialba. 16:33-38.
- BOWER, C.A., 1949. Studies on the forms and availability of soil organic phosphorus. Iowa Agr. Exp. St. Res. Bulletim nº 362, p. 33.
- BRAGA, J.M. e B.V. DEFELIPO, 1972. Relações entre formas de P inorgânico, P disponível e material vegetal, em solos sob vegetação de cerrado. I: Trabalho de La boratório. R. Ceres. Viçosa, 19(102):124-136.
- BRAY, R.H. e L.T. KURTZ, 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci., 59:39-45.
- BREMNER, J.M. e C.L. HO, 1961. Use of ion exchange resins for extraction of soil organic matter. Agr. Abs. Am. Soc. Agr., 15.
- CABALA, R.P. e M.B.M. SANTANA, 1972. Comparison of chemical extractants of phosphorus in soils of southern Bahia. Turrialba. 22(1):19-26
- CATANI, R.A., 1947. Contribuição ao estudo dos fosfatos, sua dosagem, extração e distribuição nos solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 65 p. (Tese de Doutorado).
- CATANI, R.A., J.R. GALLO e H. GARGANTINI, 1955. Amostragem de solo, métodos de análises, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Inst. Agr. Campinas, Boletim nº 69, 29 pp.
- CATANI, R.A. e O.C. BATAGLIA, 1968. Formas de ocorrência de fósforo no solo latossólico roxo. Anais da ESALQ, Piracicaba, 25: 99-119.
- CATANI, R.A., A.C. NASCIMENTO e J.R. GALLO, 1957. For-



- mas de ocorrência do fósforo nos solos do Estado de São Paulo. Revista de Agricultura, Piracicaba, 32(3): 147-163.
- CHANG, S.C., 1965. Application of phosphorus fractionation to the study of the chemistry of available soil phosphorus. Soil and Fert. in Taiwan, p. 1-15.
- COSGROVE, D.J., 1963. The chemical nature of soil organic phosphorus. I. Inositol phosphates. Aust. J. Soil Res., 1:203-214.
- COSGROVE, D.J., 1967. Isolation of Myo-Inositol pentaphosphates hydrolysates of phytic acid. Biochem. J., 89: 172-175.
- COSGROVE, D.J., 1972. The origin of inositol polyphosphates in soil. Some model experiments in aqueous systems involving the chemical phosphorylation of myo-inositol and the epimerization of myo-inositol pentaphosphates. Soil Biol. Biochem., 4:387-396.
- DAZA, B.J. e L.R. MULLER, 1965. Comparación de cinco métodos químicos para la determinación de fósforo aprovechable en algunos suelos tropicales. Turrialba. 15(3):249-251.
- DICK, W.A. e M.A. TABATABAI, 1977. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. J. Environ. Qual. 6: 82-85.
- DORMAAR, J.F. e G.R. WEBSTER, 1963. Determination of total organic phosphorus in soils by extraction methods. Can. J. Soil Sci., 43: 35-42.
- FARDEAU, J.C., D. DELILLE e C. ABRAMOVICI, 1968. Utilisation de la phytine par les plantes. In: Isotopes and Radiation in soil organic matter studies., Inter.

- Atom. Ener. Agen. Vienna, pp. 555-565.
- FASSBENDER, H.W., L. MULLER e F. BALERDI, 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central: II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba, 18:333-347.
- FERREIRA, M.E., F.A.F., MELLO e M.O.C. DO BRASIL SOBRI-  
NHO, 1978. Comparação entre três técnicas de extra-  
ção de P solúvel do solo. Científica, 5(3):244-249.
- FRIED, M. e H. BROESHART, 1967. The soil-plant system,  
in relations to inorganic nutrition. New York,  
Academic Press, 358 pp.
- FRIEND, M.T. e H.F. BIRCH, 1960. Phosphate response in  
relation to soil tests and organic phosphorus con-  
tent. J. Agr. Sci., 54:341-347.
- FURUKAWA, H. e K. KAWAGUCHI, 1969. Contribution of or-  
ganic phosphorus to the increase of easily soluble  
P in waterlogged soil, especially related to phytic  
phosphorus (I.H.P.). J. Sci. Soil and Manure, Japan,  
40(4):141-148.
- GAYANDE SAMPAT, A., 1973. Física de Suelos, Principios  
y Aplicaciones. Ed. Simusa Wiley S.A., p. 40.
- GRUNES, D.L., H.R. HAISE, F. TURNER e J. ALESSI, 1963.  
Relationship between yield response to applied ferti-  
lizers and laboratory measures of nitrogen and phos-  
phorus availability. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27 :  
675-679.
- HAGIN, J. e J. HILLINGER, 1964. Methods for determina-  
tion of available phosphorus for peanuts. In: 8<sup>th</sup>  
Intern. Congres. of Soil Sci., Bucharest, pp. 5-14.
- HAGIN, J., J. HILLINGER e A. OMERT, 1963. Comparisbn of  
several ways of measuring soil phosphorus availabili-

ty. J. Agric. Sci., 60:245-249.

HANNAPEL, R.J., W.H. FULLER, S. BOSMA e J.S. BULLOCK, 1964 a. Phosphorus movement in a calcareous soil. Predominance of organic forms of phosphorus in phosphorus movement. Soil Sci., 97(5):430-557.

HANNAPEL, R.J., W.H. FULLER e R.H. FOX., 1964 b. Phosphorus movement in a calcareous soil. II. Soil microbial activity and organic phosphorus movement. Soil Sci., 97(6): 421-427.

HANCE, R.J. e G. ANDERSON, 1963. Identification of hydrolysis products of soil phosphorus. Soil Sci., 96: 157-161.

HONG, C.K. e I. YAMANE, 1975. A comparison of three methods used for determining total organic phosphorus in soil. J. Sci. Soil and Manure, Japan, 46(5):185-191.

ISLAM, A. e B. AHMED, 1973. Distribution of inositol phosphates phospholipids, and nucleic acids and mineralization of inositol phosphates in some Bangladeshi soils. J. Soil Sci., 24:193-198.

IVANOV, S.N., 1970. A new principle of determining the fertilizer requirements of plants in relation to the nutrient content of the soil. In: 8<sup>th</sup>. Intern. Congress of Soil Sci., Bucharest, pp. 861-867.

JACKSON, M.L., 1964. Chemical composition of soils. In: Chemistry of the soil, 2<sup>a</sup> ed. Bear, F.E. editor, Reinhold Publ. Corp., New York, pp. 71-144.

JACKSON, M.L., 1970. Análisis Químico de Suelos. 2<sup>a</sup> ed. MARTINEZ, J.B., Trad. Barcelona, Ed. Omega S.A., 662 p.

- JACKSON, M.L., S. VACHAROTAYAN, L. ALBAN e R. PETERSON, 1964. Phosphorus availability in reddish brown lateritic soils: II. Relationships between field, greenhouse and soil analysis. Agron. J. Madison, 56:558-560.
- JACQUIN, F. e P. SASPORTS, 1968. Dynamique du phosphore organique. Trans. 9<sup>th</sup>. Intern. Congr. Soil Sci., 11 311-319.
- JOSHI, D.C. e S.N. SAXENA, 1972. Distribution of organic phosphorus in humus fractions. J. Ind. Soc. Soil Sci., 20(2): 117-120.
- KACAR, B., F. DIDEHVAR e E. SHOKRAVI, 1967. Evaluation of various methods for the estimation of plant available phosphorus in the soils of Caspian Sea area (I-an). Yb Fac. agric. Univ. Ankara, Turkey 7:140-150.
- KAILA, A., 1963. Organic phosphorus in Finnish soils. Soil Sci. 95(1): 38-44.
- KOTELEV, V.V., E.A. MEKHTIEVA e V.I. SMIRNOV, 1960. Phosphatase activity of some soils and rhizospheres of cultivated plants. Soil and Fert. Abstr., 24 : n° 2550.
- KURTZ, L.T., 1942. Elimination of fluoride interference in the molybdenum blue reaction. Indust. Engin. Chem. Urbana, 14(11): 15.
- L'ANNUNZIATA, M.F., 1975. The origin and transformations of the soil inositol phosphate isomers. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39:377-379.
- MACLEAN, A.A., J.J. DOYLE e F.G. HEMLYN, 1955. Fertility studies on some New Brunswick soils. Soil phosphorus supply as shown by greenhouse and chemical tests. Can. J. Agr. Sci. 35: 388.396.

- MARTIN, J.K., 1964. Soil organic phosphorus. I. Methods for the extraction and partial fractionation of soil organic phosphorus. New Zeal. J. Agric. Res., 7: 750-760.
- MATTINGLY, G.E., 1965. Determining total phosphorus in soils. In: Rothamsted Exp. Stn. Rep., pp. 71-72.
- MEHLICH, A., 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and  $\text{NH}_4$ , by North Carolina soil testing laboratories. Univ. of N. Carolina, Raleigh, 1953.
- MEHTA, N.C., J.O. LEGG, C.A. GORING e C.A. BLACK, 1954. Determination of organic phosphorus in soil: I. Extraction method. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 18:443-449.
- MELSTED, S.W., 1967. The philosophy of soil testing. In: Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Sci. Soc. Am. Inc., Publishers, pp. 13-23. (SSSA Special Publications Series, nº 2).
- MORTENSEN, J.L. e F.L. HINES, 1964. Soil organic mater. In: Chemistry of the soil. 2<sup>a</sup> ed., Bear, F.E., editor. Reinhold Publ. Corp., New York, pp. 206-241.
- MOSEUR, U.S., W.H. SUTHERLAND e C.A. BLACK, 1959. Evaluation of laboratory index of absorption of soil phosphorus by plants. Pl. Soil, 10:356-374.
- MURPHY, J. e J.P. RILEY, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphorus in natural water. Anal. Chim. Acta., 27: 31-36.
- McKERCHER, R.B. e G. ANDERSON, 1968. Content of inositol penta and hexa-phosphates in some canadian soils. J. Soil. Sci., 19(1):47-55.
- NEPTUNE, A.M.L., 1976. O fósforo no solo. In: Curso de

Nutrição de Plantas, Fertilidade do solo, adubos e adubação. USP. ESALQ. (mimeografado).

- OLSEN, S.R., C.V. COLD, F.S. WATANABE e L.A. DEAN, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., Circular nº 939.
- OLSEN, S.R. e M. FRIED, 1957. Soil phosphorus and fertility. In: Soil, the yearbook of agriculture, Washington, pp. 94:100.
- OMOSTOSO, T.I., 1971. Organic phosphorus contents in some cocoa growing soils of southern Nigeria. Soil Sci., 112(3):195-199.
- PASQUAL, A. e A.M.L. NEPTUNE, 1976. Efeito de doses elevadas de fósforo na produção de milho e nas principais formas de ocorrência deste nutriente em dois solos do Estado de São Paulo. IX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Belo Horizonte, MG.
- PAYNE, H. e W.J. HANNA, 1965. Correlations among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus and plant content phosphorus. J. Agric. Fd. Chem., 13: 322-326.
- PEECH, M. e L. ENGLISH, 1944. Rapid microchemical soil tests. Soil Sci., 57: 167-195.
- PEREZ MENDEZ, J.A., F. GUTIERREZ, E. FERNANDEZ e J.C. TRUJILLO, 1978. Etude comparative de méthodes pour la détermination du phosphore total dans différents types d'andosols. Science du Sol, 4:241-250.
- PICHOT, J. e P. ROCHE, 1972. Phosphore dans les sols tropicaux. L'Agronomie Tropicale, 27:939-965.
- PIMENTEL GOMES, F., 1970. Curso de Estatística Experimen-

- tal. 4<sup>a</sup> ed., São Paulo. Livraria Nobel S.A. 430 p.
- PRATT, P. F. e M.J. GARBER, 1964. Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. Proc. Soil Sci.Soc. Am., 28: 23-26.
- RUSSELL, E.W., 1973. Soil conditions and plant growth, 10<sup>th</sup> ed., Logmans Green, New York, 263 pp.
- SAHRAWAT, K.L., 1977. EDTA extratable P in soils as related to available and inorganic P forms. Soil Sci. Pl. Anal., 8(4):281-287. Apud: Phosphorus in Agriculture, 1978, 32, nº 5.
- SAUNDERS, W.M.H. e E.G. WILLIAMS, 1955. Observation on the determination of total organic phosphorus in soils. J. Soil Sci., 6(6): 254-267.
- SHERREL, C.G. e W.M.H. SAUNDERS, 1966. An evaluation of methods for the determination of total phosphorus in soils. N.Z. Jl. Agric. Res., 9: 972-979.
- SIBBESEN, E., 1977. A simple ion-exchange resin procedure extracting plant available elements form In soils. Plant Soil, 46:665-669.
- SMITH, A.N., 1970. Fractionation of inorganic phosphorus in soils, the Chang and Jackson fractionation procedure; its limitations and uses. Agridigest, 17: 10-19.
- SOMMERS, L.E. e D.W. NELSON, 1972. Determination of total phosphorus in soils. A rapid perchloric acid digestion procedure. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:902-904.
- STRICKLAND, K.P., 1975. Form and function of phospholipids. J.N. Howthorne, G.B. Ansell and R.M.C. Dawson,

eds., pp. 9-42. Elsevier, Amsterdam.

- SUSUKI, A., K. LAWTON e E.C. DOLL, 1963. Phosphorus uptake and soils tests as related to forms of phosphorus in some Michigan soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27:401-403.
- SYRES, J.K., J.D.H. WILLIAMS, A.S. CAMELL e T.W. WALKER; 1967. The significance of apatite inclusions in soil phosphorus studies. Soil Sci. Am. Proc., 31: 752-756.
- SYRES, J.K., J.D.H. WILLIAMS, E.H. TYNER e T.W. WALKER, 1969. Primary and secondary origin of "nonextractable" soil inorganic phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33:635-636.
- SYRES, J.K., J.D.H. WILLIAMS e T.W. WALKER, 1968. The determination of total phosphorus in soils and parent materials. New Zeal. J. Agric. Res., 11:757-762.
- SWIFT, R.S. e A.M. POSNER, 1972. Nitrogen, phosphorus and Sulfur contents of humic acids fractionated with respect to molecular weight. J. Soil Sci., 23(1):50-57.
- SZEMBER, A., 1960. Influence on plant growth of the break-down of inorganic phosphorus compounds by microorganisms. Pl. Soil, 12(2):147-158.
- TATE, K.R., 1979. Fractionation of soil organic phosphorus in two New Zeland soils by use of sodium borate. New Zeland J. Sci., 22(2):137-142.
- TRUOG, E., 1930. The determination of the readily available phosphorus of soils. J. Amer. Soc. Agron., 22: 874-882.
- ULTRAFERTIL, 1980. Guia de adubação Ultrafertil, 3<sup>a</sup> ed., Dept. de Serviços Técnicos Agrônomicos, pp. 27.



- WELLS, N. e W.N.H. SAUNDERS, 1960. Soil Studies using sweet vernal to assess element availability. IV. Phosphorus. New Zeal. J. Agric. Res., 3 279-299.
- WILLIAMS, J.D.H. e T.W. WALKER, 1967. Comparison of "ignition" and "extraction" methods for the determination of organic phosphate in rocks and soils. Pl. Soil, 27: 457-458.