

EFEITO DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS SOBRE  
A DISPONIBILIDADE DO P NATIVO E A SOLUBILIZAÇÃO  
DA APATITA DE ARAXÁ (\*)

C.T. Feitosa<sup>^^</sup>  
V.C. Bittencourt<sup>\*\*\*</sup>  
Q.A.C. Carmello<sup>^^^</sup>

RESUMO

Vasos contendo amostras de 17 solos do Estado de São Paulo receberam superfosfato triplo como tratamento comparativo e apatita de araxá, nas doses correspondentes a 0 e 400 kg de  $P_2O_5$  total/ha. Um mês após, semeou-se arroz nos mesmos, sendo a parte aérea das plantas colhida no início da formação da panícula.

---

(\*) Parte da tese apresentada à ESALQ/USP pelo primeiro autor.

(\*\*) Pesquisador Científico do Instituto Agronômico de Campinas, área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

(\*\*\*) E.S.A. "Luiz de Queiroz" - USP, Departamento de Química, Piracicaba, SP.

A produção de matéria seca, usada como índice biológico, mostrou que os teores de P disponível dos solos, determinados pelos métodos do  $H_2SO_4$  e da resina de troca iônica evidenciam bem a capacidade de suprimento do elemento nas amostras estudadas.

Por outro lado, não foi possível identificar as características dos solos que são responsáveis pela solubilização da apatita de araxá, porém o pH e o teor de P nativo do solo parecem esclarecer alguns aspectos do processo.

## INTRODUÇÃO

O teor de P disponível dos solos pode ser considerado como resultante de um estado de equilíbrio que é estabelecido entre os processos de solubilização do P nativo e do adicionado como fertilizante, e as interações dessas formas com os constituintes presentes. Desse modo, os processos nos solos atuam de duas maneiras distintas sobre o teor de P disponível, isto é, insolubilizam formas solúveis de P ou contrariamente, solubilizam formas insolúveis de tal modo que, dependendo da intensidade de cada um o teor final é variável (BITTENCOURT & MONTANHEIRO, 1975; NOVELINO *et alii*, 1985).

Para o fosfato natural tem sido verificado que a acidez do solo associada a baixos níveis de Ca e P disponível e ainda a uma alta capacidade de adsorção de P, são os maiores responsáveis pela solubilização do material (FENSTER & LEON, 1978). Entretanto apesar da maioria dos solos brasileiros apresentarem essas condições, diversos trabalhos têm evidenciado uma baixa reatividade da rocha fosfática e portanto, seu valor fertilizante tem sido questionado por vários autores (BRAGA, 1970; LOPES *et alii*, 1982; RAIJ *et alii*; 1982; GOEDERT

& SOUZA, 1984).

De acordo com métodos analíticos de rotina a acidez do solo é normalmente caracterizada pela determinação do pH em água ou em solução de eletrólitos e também pelos teores de Al e H trocáveis (BITTENCOURT & BARRICHELLO, 1974) e é devida principalmente à presença do cátion  $Al(H_2O)_6^{3+}$  (JACKSON, 1960), que apresenta uma constante de ionização de  $1,8 \times 10^{-5}$ , a qual é correspondente à do ácido acético e conseqüentemente, tem um poder significativo de solubilização da rocha fosfática.

Quanto ao Ca, é de conhecimento geral que a afinidade das cargas do solo por esse íon é maior quando o seu teor trocável é baixo, pois um maior número de cargas estão disponíveis para os processos de adsorção. Desse modo, uma menor atividade de Ca é esperada na solução do solo e, segundo os princípios do produto de solubilidade, a tendência de solubilização da apatita será maior (KHASAWNEH & DOLL, 1978).

Com relação as altas capacidades de retenção de P dos nossos solos, sabe-se também que ela provoca a diminuição da atividade do íon fosfato na solução e conseqüentemente provoca a formação de um gradiente positivo no potencial eletroquímico do  $H_2PO_4^-$ . Do mesmo modo, de acordo com os princípios do produto de solubilidade, melhores condições de solubilização da rocha fosfática são estabelecidas (KHASAWNEH & DOLL, 1978). Além desses aspectos, tem sido verificado que a capacidade de retenção do P está ligada às interações físicas e químicas, principalmente com óxidos de Fe e Al, matéria orgânica e minerais de argila (KITTRICK & JACKSON, 1956; LARSEN *et alii*, 1959; CATANI & PELLEGRINO, 1960; HSU, 1964; RAIJ & PEECH, 1972; BITTENCOURT & ZAMBELLO JR., 1975; BITTENCOURT & MONTANHEIRO, 1975; BITTENCOURT & GOMES, 1975). Esses constituintes no seu global formam a fração argila, a qual influe diretamente nas quantida-

des de P disponível dos solos, tanto das formas consideradas nativas como das provenientes dos adubos (COLEMAN *et alii*, 1960; BITTENCOURT & ZAMBELLO JR., 1975).

Finalmente deve também ser considerado que o pH influe diretamente sobre a manifestação das cargas positivas e negativas do solo (RAIJ, 1971) e portanto determina a intensidade das interações do P com os vários constituintes, as quais podem ocorrer simultaneamente, dando origem a formação preferencial de compostos que apresentam maior ou menor solubilidade (RALTJE, 1960).

Com relação ao valor fertilizante dos fosfatos naturais, isto é, o fornecimento de P para as plantas, tem sido estabelecido que os métodos químicos que se baseia nas frações solúveis em determinados solventes, fornecem apenas uma medida da "reatividade do material". Esses dados entretanto para terem um valor agrônômico, necessitam ser correlacionados com a produção de matéria seca ou o P absorvido por uma planta índice que irá definir a chamada "eficiência agrônômica do fosfato". Este parâmetro por sua vez, tem sido usado para mostrar as condições de solubilização do fosfato natural nos solos (LEON *et alii*, 1986).

Portanto com base nessas considerações, realizou-se o presente trabalho, que teve por objetivo determinar as características dos solos que podem influir no teor de P nativo disponível e nos processos de solubilização do apatita de araxá.

## MATERIAL E MÉTODOS

Coletou-se amostras de 17 solos na profundidade 0-20 cm, os quais foram classificados segundo o Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo (Brasil, 1960) e reclassificados pelos critérios utilizados no Levantamento Pedológicos Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo - Quadrícula de Campinas (Oliveira *et alii*, 1979) como: Latossolos Roxos: LR-1 (distrófico, A moderado, textura muito argilosa); LR-2 (distrófico, A moderado, textura argilosa); Latossolo Vermelho Escuro: LE (âlico, A moderado, textura argilosa); Latossolos Vermelhos Amarelos: LV-1 (distrófico, A moderado, textura muito argilosa); LV-2 e LV-3 (distrófico, A moderado, textura argilosa); Podzólicos Vermelhos Amarelos: PV-1 e PV-2 (distrófico, A moderado, textura média/argilosa); PV-3 (âlico, A proeminente, textura arenosa/média); PV-4 e PV-5 (distróficos, A moderado, textura arenosa/média); Terra Roxa Estruturada: TE (eutrófica, A moderado, textura muito argilosa); Cambissolo: Cb (âlico, A proeminente, textura argilosa); Areia Quartzosa: AQ (Podzólica profunda, âlica, A moderado); Solos Hidromórficos: Hi-1 (Gley pouco húmico, distrófico, textura média) e Hi-2 (Gley húmico, distrófico, textura argilosa).

Nessas Amostras determinou-se o teor de argila, pelo método do densímetro e conduziu-se as análises químicas (tabela 1) de acordo com a metodologia descrita por RAIJ e ZULLO (1977). Apenas para a determinação do pH em  $\text{CaCl}_2$  e para o H+Al usou-se metodologia diferente. Assim, a primeira foi conduzida em solução  $10^{-2}$  M do eletrólito na relação solo:solução de 1:2,5 com agitação por 10 minutos e repouso de 30 minutos, sendo a medida feita no sobrenadante. Por sua vez a determinação do H+Al foi realizada em solução 1N de acetato de Ca, pH 7,0 na relação solo:solução de 1:10.

Os teores totais (tabela 2) foram obtidos segundo metodologia descrita por RAIJ & VALADARES (1974) e

o fracionamento do P (tabela 3), pelo método de CHANG & JACKSON (1957) com percolação lenta em lugar de agitação.

A determinação do P disponível, foi realizada através de extração com  $H_2SO_4$  0,05N na relação solo:solução de 1:10, com resina IRA-400 na relação solo:resina de 1:2,5 e com resina dupla IRA-400 + IR-120 na relação 1:1, com agitação por 16 horas (tabela 3).

A adsorção máxima foi conduzida através do equilíbrio de 5 g de solo (peneira 1 mm) com 25 ml de solução padrão de P, ajustada a pH 7,0 com NaOH e 25 ml de solução de  $CaCl_2$   $2 \times 10^{-2}$  M, durante 24 horas. As concentrações finais de P nessas soluções foram de 0, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 200 e 250 ppm de P.

O estudo com vasos foi conduzido com amostras peneiradas através de malha de 2 mm, em recipientes com capacidade para 2,8 l sendo que o superfosfato triplo usado continha 45,8% de  $P_2O_5$  total e a apatita de araxá 36,5% total, com 5% solúvel em ácido cítrico a 2%. Esses fertilizantes foram adicionados aos vasos, um mês antes da semeadura do arroz (IAC-165) em doses correspondentes a 0 e 400 kg de  $P_2O_5$  total por ha. A planta teste, recebeu todos os tratamentos fitossanitários e adubações completa com macro (menos P) e micronutrientes. Após o desenvolvimento por 4 meses, isto é, no início da formação das panículas, a parte aérea foi colhida, seca, pesada e submetida a determinação do P.

Maiores detalhes sobre a metodologia podem ser encontrados em FEITOSA (1982).

Tabela 1 - Características físicas e química dos solos estudados.

Solo	Σ	pH		CaCl <sub>2</sub>	----- meq/100 ml -----					CTC*	P**
		H <sub>2</sub> O	Σ		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K <sup>+</sup>		
LR-1	72	3,5	5,0	4,4	1,0	0,4	0,6	4,1	0,07	5,57	2,0
LR-2	44	2,8	4,8	4,2	0,7	0,3	0,4	4,1	0,26	5,36	2,3
LE	60	4,6	4,3	3,9	0,6	0,2	1,5	8,4	0,43	9,63	3,7
LV-1	76	7,0	4,3	3,8	0,5	0,2	2,4	11,4	0,17	12,27	3,3
LV-2	49	3,1	5,5	4,8	3,5	1,9	0,2	4,4	0,47	10,27	9,8
LV-3	39	2,2	4,6	3,9	0,4	0,2	1,1	4,5	0,14	5,24	2,8
LV-4	17	1,2	4,8	4,0	0,4	0,7	0,5	2,3	0,13	3,53	4,1
PV-1	35	2,5	4,6	4,1	0,5	0,2	0,9	5,3	0,10	6,10	2,0
PV-2	20	2,4	5,3	4,6	1,6	0,5	0,2	2,6	0,26	4,96	3,7
PV-3	16	2,2	4,9	4,3	1,3	2,2	0,2	2,7	0,10	6,30	3,3
PV-4	12	2,4	5,1	4,5	1,6	0,5	0,2	2,2	0,27	4,57	5,5
PV-5	9	1,0	5,4	4,6	1,5	0,3	0,1	1,8	0,20	3,80	8,3
TE	59	1,5	6,0	5,4	3,7	0,8	0,0	1,7	0,51	6,71	4,6
Cb	47	9,1	4,3	3,9	0,5	0,2	2,3	1,7	0,15	2,55	2,0
AQ	10	1,3	4,3	4,0	0,3	0,1	0,8	3,1	0,09	3,59	3,3
Hi-1	20	3,8	4,6	4,0	0,7	0,6	1,3	5,3	0,15	6,75	3,7
Hi-2	37	10,2	4,8	3,9	1,5	0,3	3,5	14,2	0,09	16,09	13,1

(\*). CTC calculada.

(\*\*) Extração com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 N na relação 1:10 (solo:solução).

Tabela 2 - Composição química (teores totais) dos solos estudados.

Solo	$P_2O_5$	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	Ki	Kr
LR-1	0,719	15,50	19,40	27,96	1,36	0,71
LR-2	0,270	8,91	16,73	9,97	0,90	0,66
LE	0,270	17,30	19,30	11,60	1,52	1,10
LV-1	0,205	18,80	10,00	8,50	3,20	2,07
LV-2	0,308	16,28	13,38	6,86	2,07	1,56
LV-3	0,102	12,30	10,50	2,80	1,99	1,70
LV-4	0,068	3,29	5,02	1,25	1,11	0,96
PV-1	0,102	8,91	10,04	3,21	1,51	1,25
PV-2	0,154	8,33	10,04	2,14	1,42	1,25
PV-3	0,051	3,30	3,90	1,20	1,44	1,20
PV-4	0,102	3,68	4,68	0,71	1,34	1,22
PV-5	0,051	2,52	3,01	1,25	1,42	1,13
TE	0,547	18,00	14,40	15,70	2,12	1,25
Cb	0,291	7,70	14,10	6,60	0,93	0,71
AQ	0,068	3,68	4,01	0,62	1,56	1,42
Hi-1	0,068	7,56	0,80	0,02	16,06	15,90
Hi-2	0,051	15,40	10,20	1,00	2,57	2,41



Tabela 3 - Teores de fósforo extraído pelas resinas e o fracionamento de fósforo nos solos estudados.

Solo	P resina		Fracionamento		
	Aniônica	Dupla	P-Al	P-Fe	P-Ca
LR-1	13,0	14,0	3,1	7,7	30,5
LR-2	6,1	5,4	15,5	23,1	6,9
LE	2,0	3,8	14,7	27,7	8,4
LV-1	2,0	2,7	10,8	13,1	4,6
LV-2	8,8	10,0	3,1	51,6	23,7
LV-3	3,3	3,5	9,3	9,2	33,5
LV-4	3,3	3,4	7,0	6,9	3,8
PV-1	1,2	1,8	16,3	43,1	6,1
PV-2	5,1	5,4	9,3	11,6	10,7
PV-3	4,9	3,8	9,3	10,8	6,1
PV-4	2,6	3,8	10,1	13,9	3,1
PV-5	4,7	4,6	11,6	12,3	11,4
TE	7,1	8,4	16,3	50,1	16,0
Cb	3,8	4,5	18,6	49,3	9,2
AQ	3,8	3,5	7,7	6,9	0,8
MI-1	9,3	8,7	12,4	5,4	3,8
MI-2	16,5	14,1	68,9	28,5	8,4

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. Determinação do índice biológico

Como os estudos seguintes baseiam-se em dados relativos às respostas da planta índice, procurou-se inicialmente avaliar se a produção de matéria seca ou se o P absorvido pelo arroz refletiria melhor o fornecimento de P, tanto pelo solo como pelos fertilizantes.

Assim as figuras 1 e 2 que apresentam os dados referentes ao peso da matéria seca e ao P absorvido pela parte aérea do arroz mostram que em todos os solos houve resposta aos fosfatos, sendo as maiores no tratamento com superfosfato triplo.

De um modo geral, as curvas de resposta são coincidentes, a não ser para os solos PV-5 e Hi-1 onde, apesar da produção de matéria seca nos tratamentos que receberam P ser semelhantes, não o são entretanto quanto aos teores absorvidos. Do mesmo modo nos solos AQ, Hi-1 e Hi-2, a matéria seca do tratamento testemunha aumentou de uma forma mais pronunciada nessa mesma ordem, porém não foi acompanhada pelo P absorvido. Já a figura 3 mostra que para uma mesma produção de matéria seca o P absorvido é menor no tratamento com superfosfato triplo, seguido do apatita de araxá e finalmente do testemunha.

Portanto a produção de matéria seca oferece uma interpretação mais segura dos resultados e conseqüentemente foi escolhida como o índice biológico deste trabalho.

### 2. Relação entre a adsorção máxima de P, características dos solos e a produção de matéria seca no tratamento testemunha.

Afim de se obter uma visão mais geral sobre as

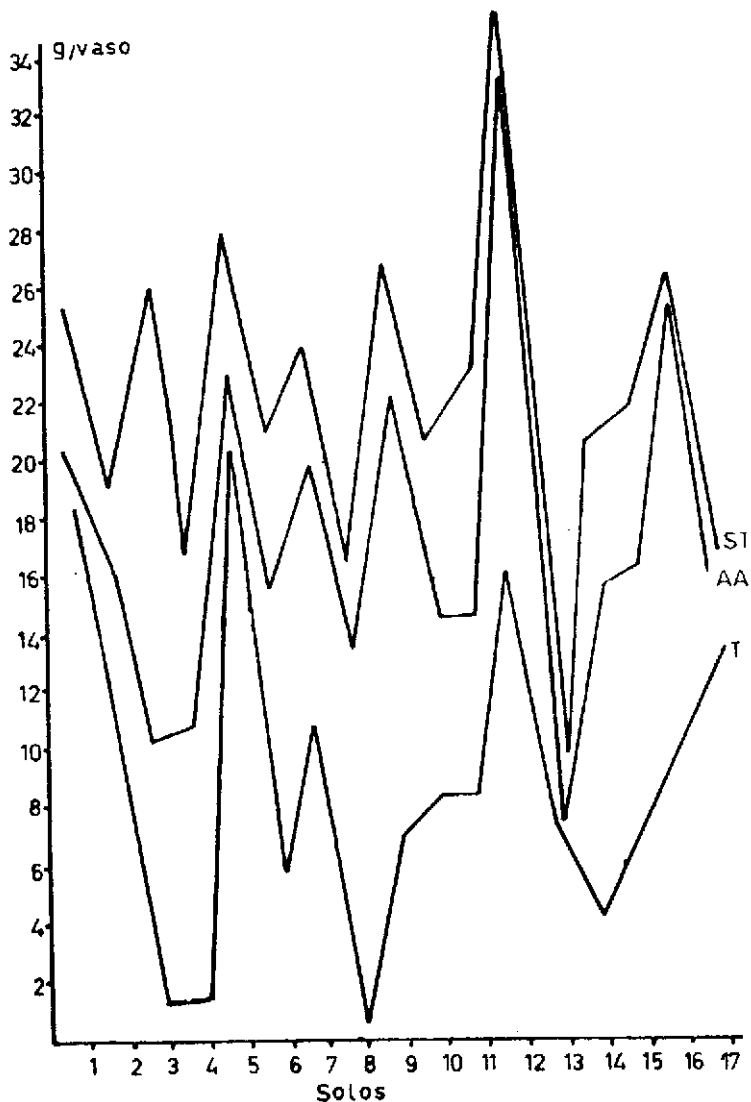


Figura 1 - Peso seco da parte aérea do arroz, colhido no início da formação da panícula, para os vários tratamentos

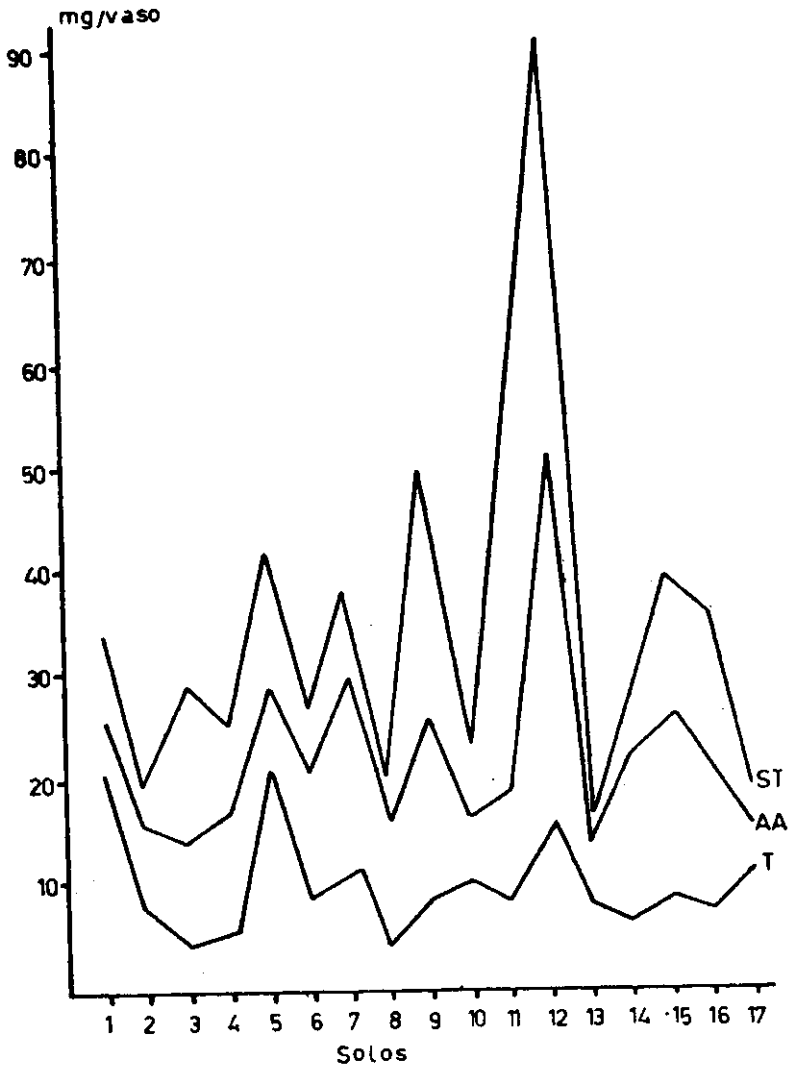


Figura 2 - Fósforo absorvido pela parte aérea do arroz, colhido no início da formação da panícula, para os vários tratamentos.

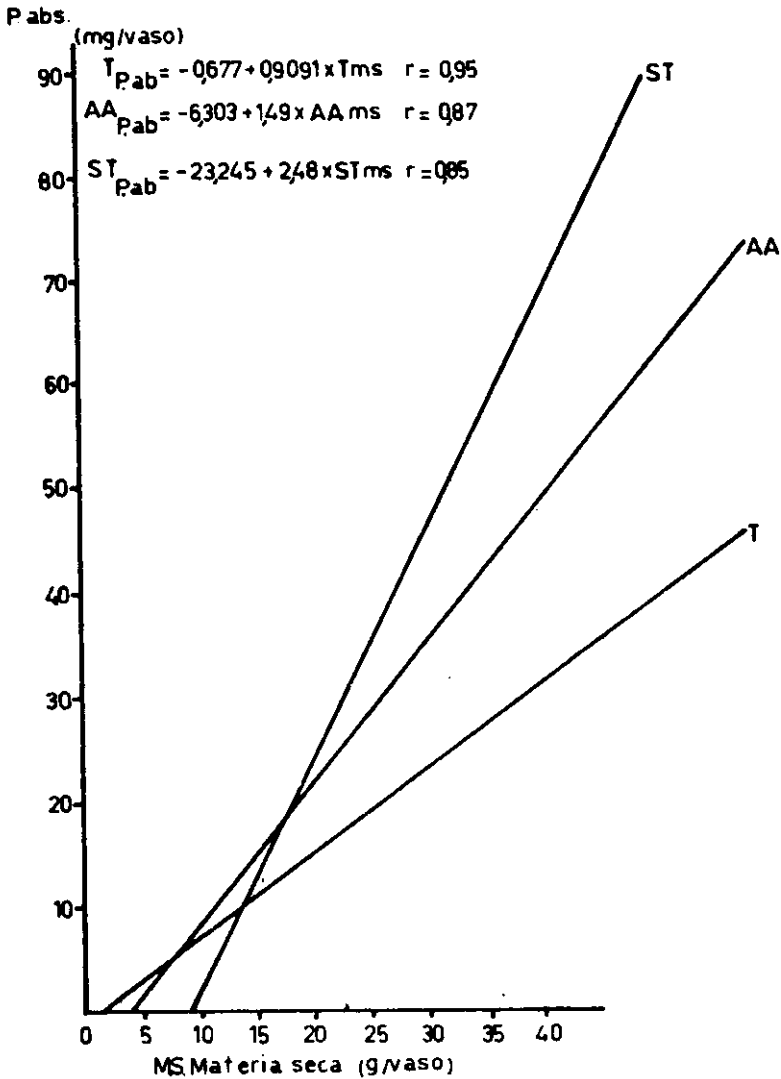


Figura 3 - Relação entre produção de matéria seca e P absorvido pela parte aérea do arroz, colhido no início da formação da panícula, para os vários tratamentos.

diversas características do solo que podem interferir nos teores de P disponível, procurou-se relacionar a adsorção máxima de cada amostra, obtida pela equação de Langmuir, com esses parâmetros. Assim a tabela 4, mostra que apenas algumas correlações apresentaram significância e portanto é esperado que essas características venham determinar o teor de P disponível nos solos.

Considerando os fatores no seu conjunto, nota-se que o valor  $b$  é determinado fundamentalmente pela fração argila dos solos, que é constituída pela matéria orgânica, óxidos de Fe e Al e é ainda responsável pela CTC e pelos constituintes ácidos os quais são definidos pelo pH e  $H+Al$ . Portanto havendo um aumento no teor de argila e na acidez, ocorre um acréscimo na adsorção máxima de P dos solos, o que corresponde, a uma diminuição na disponibilidade do elemento para as plantas. Entretanto os dados relativos à produção da matéria seca no tratamento testemunha (tabelas 5 e 6) não apresentam correlação com  $b$  pois apenas o pH e o P disponível extraído com  $H_2SO_4$  0,05 N, aparecem quando se considera os solos agrupados em grandes grupos. Portanto os dados até certo ponto são concordantes, pois aumentando o pH, há um decréscimo em " $b$ " de tal modo que maiores quantidades de P passam a ficar disponíveis para as plantas, que por sua vez reflete no teor de P extraído com o  $H_2SO_4$  0,05 N.

Além dessas observações foram estabelecidas correlações múltiplas entre a produção de matéria seca no tratamento testemunha as características dos solos e o teor de P disponível determinado pelo  $H_2SO_4$  0,05 N e pelos métodos da resina de troca iônica. Assim de acordo com a tabela 7, nota-se que um alto valor de  $r$  é encontrado e que os parâmetros que apresentam uma maior probabilidade de alterar a produção da matéria seca nesse tratamento, correspondem ao P disponível seguido do P-Al, sendo que o  $pH-H_2O$  e o teor de  $Fe_2O_3$  são os de menor probabilidade.

Tabela 4 - Correlações significativas entre o valor da adsorção máxima de P (b) e as características dos solos.

Características do solo	Equação de regressão	Coefficientes de correlação
b x argila %	$y = -164,184 + 21,673 x$	0,837***
b x mat. org. %	$y = 6,486 + 168,608 x$	0,820***
b x pH H <sub>2</sub> O	$y = 2569,704 - 463,169 x$	-0,604**
b x H+Al	$y = 133,190 + 105,697 x$	0,660***
b x CTC	$y = -58,197 + 98,902 x$	0,635***
b x Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	$y = 30,230 + 60,084 x$	0,610***
b x Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	$y = 411,714 + 36,490 x$	0,470*

(\*) Para 10% de probabilidade.

(\*\*) Para 5% de probabilidade.

(\*\*\*) Para 1% de probabilidade.

Tabela 5 - Coeficiente de correlação entre algumas características dos solos e peso seco da parte aérea do arroz (tratamento teste munha).

Solos	M.O. %	pH			H+Al	CTC
		Argila	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>		
Latosolos	-0,16	0,98***	0,92***	0,89***	-0,60	0,11
Podzólicos	-0,93**	0,87*	0,81*	0,77	-0,9f*	-0,77
Todos os solos	-0,06	-0,08	0,66***	0,56**	-0,13	0,23

(\*) Para 10% de probabilidade.

(\*\*) Para 5% de probabilidade.

(\*\*\*) Para 1% de probabilidade.



Tabela 6 - Coeficiente de correlação entre algumas características dos solos e o peso seco da parte aérea do arroz (tratamento testemunha).

Solos	P		Teores totais			Fracionamento		
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Resina	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P-Al	P-Fe	P-Ca
Latossolos	0,77*	0,87**	0,58	0,16	0,39	0,80**	0,37	0,47
Podzólicos	0,92**	0,72	-0,44	-0,76	-0,75	-0,58	-0,80	0,47
Todos os solos	0,66***	0,67***	0,27	0,0008	0,23	-0,07	-0,09	0,42

(\*) Para 10% de probabilidade.

(\*\*) Para 5% de probabilidade.

(\*\*\*) Para 1% de probabilidade.

Tabela 7 - Correlação múltipla entre a produção de matéria seca do tratamento testemunha e as várias características dos solos, quando o P disponível foi determinado pelo método do  $H_2SO_4$  0,05N.

Variável	Estimativa do parâmetro	P (> t) *
Constante	-15,67	--
P- $H_2SO_4$	2,38	0,0007
P-Al	- 0,31	0,0198
K	-24,44	0,2083
KR	0,59	0,4186
SiO <sub>2</sub>	- 0,46	0,7878
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,70	0,8964
pH= $H_2O$	3,66	3,2427
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27	9,0247

(\*) Probabilidade do efeito do parâmetro ser devido ao acaso  $r = 0,96^{**}$ .

Para o método de resina dupla (tabela 8), o coeficiente  $r$  é menor do que para o método do  $H_2SO_4$ , porém novamente o P disponível e o P-Al apresentam também maiores probabilidades de afetarem a produção da matéria seca.

Finalmente para o P determinado pelo método da resina aniônica (tabela 9), o valor de  $r$  foi ainda menor, porém aproximadamente igual ao da resina dupla. Novamente os fatores com maiores probabilidades são, o P disponível e o P-Al.

Portanto pode-se concluir que o teor de P disponível realmente caracteriza o P nativo do solo e como os métodos de extração, principalmente o  $H_2SO_4$  0,05 N, solubilizam os constituintes caracterizados como P-Al

(BITTENCOURT & ZAMBELLO JR., 1975), esta fração também aparece com alta probabilidade nas correlações múltiplas com a produção de matéria seca no tratamento testemunha.

Tabela 8 - Correlação entre a produção de matéria seca do tratamento testemunha e as várias características dos solos, quando o P disponível foi determinado pelo método da resina dupla.

Variável	Estimativa do parâmetro	P (> t) *
Constante	5,93	--
P-Resina Dupla	2,28	0,0002
P-Al	0,33	0,0061
P <sub>20</sub>	-23,14	0,0458
KR <sup>5</sup>	0,72	0,2356

(\*)  $r = 0,88^{**}$ .

Tabela 9 - Correlação múltipla entre a produção de matéria seca do tratamento testemunha e as várias características dos solos quando o P disponível determinado pelo método da resina aniônica.

Variável	Estimativa do parâmetro	P (> t) *
Constante	5,40	--
P-Resina aniônica	1,97	0,0005
P-Al	- 0,36	0,0101
P <sub>20</sub>	-16,19	0,5187
KT <sup>5</sup>	- 0,67	0,6005
K	8,83	9,5726

(\*)  $r = 0,87^{**}$ .

3. Avaliação das características dos solos que podem influir no aproveitamento da apatita de araxá.

A determinação do aproveitamento do P proveniente da apatita de araxá pelas plantas foi feito através do "Índice de Eficiência Agronômica" (IEA)\*, e da "Eficiência Relativa da Apatita de Araxá" (EfAA/ST), cujos valores encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 - Valores do IEA e EfAA/ST, para diversos solos que receberam apatita de araxá.

Solo	IEA	EfAA/ST
	----- % -----	
LR-1	41	84
LR-2	69	84
LE	33	38
LV-1	54	62
LV-2	38	82
LV-3	77	83
LV-4	78	87
PV-1	74	75
PV-2	78	84
PV-3	79	88
PV-4	44	61
PV-5	91	95
TE	54	87
Cb	70	75
AQ	62	73
Hi-1	93	95
Hi-2	82	96
Média	65,7	79,4

(\*) IEA = aumento de produção de matéria seca com apatita de araxá/aumento de produção de matéria seca com superfosfato triplo x 100.

(\*\*) EfAA/ST = produção de matéria seca com apatita de

araxá/produção de matéria seca com superfosfato triplo x 100.

A eficiência da apatita de araxá como fornecedora de P, chega a surpreender, pois os valores do IEA e do EfAA/Superfosfato triplo estão bem acima do esperado. Assim médias de 65,7% e 79,5% respectivamente foram obtidas, representando uma reatividade considerável, principalmente tendo-se em vista que a solubilidade do material em ácido cítrico a 2%, é da ordem de 13,7% do  $P_{205}$  total. Esses valores entretanto, poderiam também indicar que parte do superfosfato triplo aplicado é imobilizado no solo e conseqüentemente os valores dos índices tendem a se apresentar mais elevados, principalmente o EfAA/Superfosfato triplo no qual está incluída a produção devida ao P nativo dos solos.

A diferença média de aproximadamente 14% entre os dois índices, parece indicar que na presença da apatita de araxá, as plantas passam a suprir-se com maior intensidade do P nativo, enquanto que nos tratamentos com superfosfato triplo esse processo é menos significativo.

De acordo com as correlações simples que apresentam significância entre o IEA, o EfAA/Superfosfato triplo e as várias características dos solos (tabela II), observa-se que o primeiro índice não depende do teor de P nativo e dos constituintes ácidos dos solos, enquanto que o EfAA/superfosfato triplo, já mostra relação com o P-disponível e o pH.

Por outro lado o IEA correlaciona-se inversamente com o teor de argila e portanto com os processos de adsorção e retenção do P no solo. Provavelmente, com a solubilização lenta da apatita de araxá, há uma competição entre as cargas do solo caracterizadas pelo valor de "b" e as raízes das plantas, pois conforme tem sido determinado as primeiras tem alta afinidade pelo elemento.

Tabela 11 - Correlações simples e significativas entre IEA/, EFAA/Superfosfato simples e algumas características dos solos.

Características do solo	Coefficiente de correlação
<u>IEA</u>	
% Argila	-0,593**
K <sup>+</sup>	-0,537**
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,622***
SiO <sub>2</sub>	-0,544**
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,621***
FeO <sub>3</sub>	-0,617***
<u>EFAA/ST</u>	
pH-H <sub>2</sub> O	0,452*
P-Resina Dupla	0,446*
P-Resina Amônia	0,565**

(\*) Para 10% de probabilidade.

(\*\*) Para 5% de probabilidade.

(\*\*\*) Para 1% de probabilidade.

Quanto ao EFAA/Superfosfato simples, verifica-se que ele se correlaciona com o pH, indicando que quanto menor a atividade hidrogeniônica do solo, isto é, quanto menores os valores de "b", maior será a disponibilidade do P nativo e do aplicado através da apatita de araxá. Por outro lado, a correlação com o P nativo parece indicar que em um período relativamente curto, este teor tem grande influência sobre o desenvolvimento das plantas, provavelmente nas etapas iniciais, em que os processos de solubilização da apatita de araxá não são intensos. Porém em períodos posteriores, as quantidades

liberadas já conseguem suprir as plantas, o que é mostrado pelos altos valores do IEA e do EfAA/Superfosfato simples.

Desse modo, pode ser sugerido que formas prontamente disponíveis de P devam ser adicionadas aos solos que apresentem baixos teores de P nativo, juntamente com a aplicação do fosfato natural.

Finalmente as correlações múltiplas entre o índice biológico e as características dos solos não mostraram qualquer significância e portanto não se fez qualquer tipo de discussão neste trabalho.

## CONCLUSÕES

A produção de matéria seca da planta índice (arroz) refletiu melhor as condições de suprimento de P pelos diversos solos.

Correlações simples mostraram que o teor de P disponível e o pH tem influência sobre o aproveitamento pelas plantas do P nativo dos solos. Já as correlações múltiplas evidenciaram que essa disponibilidade está ligada ao teor de P nativo e também ao P-Al.

O estudo das características dos solos que poderiam influenciar na eficiência da apatita de araxá como fertilizante não foi muito esclarecedor, porém os teores de P nativo e o pH parecem indicar o tipo de processo.

## SUMMARY

EFFECTS OF SOME SOIL PROPERTIES ON  
THE AVAILABILITY OF NATIVE P AND ON  
THE ARAXA APATITE SOLUBILIZATION

In a pot experiment, samples of 17 São Paulo State soils, were fertilized with 0 and 400 kg of total  $P_2O_5$ /ha by the addition of Araxa apatite and triple superphosphate. Rice was grown and the aerial part was cut after 40 days and used as a biological index.

The dry matter weight was correlated to soil available P, determined by  $H_2SO_4$  and by ionic exchange resins.

It was not possible to determine which soils properties influenced the apatite solubilization, but seems that pH and native soil P, can indicate some aspects of the process.

## LITERATURA CITADA

- BITTENCOURT, V.C. & BARRICHELLO, E.S., 1974. Potencial de calcário em solos tropicais. Científica, Jaboticabal 1(1): 118.
- BITTENCOURT, V.C. & GOMES, V.B., 1975. Avaliação da disponibilidade do P de fosfatos de Fe e de Al. CENA Piracicaba, SP, 18p.



- BITTENCOURT, V.C. & MONTANHEIRO, M.N.S., 1975. Retenção do fósforo ( $^{32}\text{P}$ ) por óxidos de ferro sintéticos. CENA, Piracicaba, SP, 18p. (BC-026).
- BITTENCOURT, V.C. & ZAMBELLO JR., E., 1975. Comportamento do fósforo em solos tropicais. I. Isotermas de adsorção. *Pesq. Agropec. Bras.* 10: 59-64 (Série Agronômica).
- BRAGA, J.M., 1970. Resultados experimentais com o uso de fosfato de araxá e outras fontes de fósforo - Revisão de Literatura. Viçosa, UFV, 61p. (Série Técnica, Boletim, 21).
- CATANI, R.A. & PELLEGRINO, D., 1960. Avaliação da capacidade de fixação de fósforo pelo solo. *Anais. E.S.A. "Luiz de Queiroz"*, 17: 19-27.
- CHANG, S.S. & JACKSON, M.L., 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84: 133-144.
- COLEMAN, N.T.; THORUP, J.; JACKSON, W.A., 1960. Phosphate sorption reaction that involve exchangeable Al. *Soil Sci.* 90(1): 1-7.
- FEITOSA, C.T., 1982. Influência do pH e teor de argila de solos na solubilização de fosfatos. Piracicaba, ESALQ/USP, 118p. Tese de Doutorado.
- FENSTER, W.E. & LEON, L.A., 1978. Utilization of phosphate rock in tropical soils of Latin America. In: Seminar on Phosphate rock for direct Application, Haifa, Israel. *Anais...*
- GOEDERT, W.J. & SOUZA, D.M.G., 1984. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira. Brasília, EMBRAPA, *Anais ...* 64p.

- HSU, P.H., 1964. Adsorption of phosphate by aluminum and iron in soils. Soil Sci. Soc. Proc. 28(2): 474 - 478.
- JACKSON, M.L., 1960. Structural role of hydronium in large silicates during soil genesis. Int. Congr. of Soil Sci, 7, Anais ... 2: 445-55.
- KHASAWNEH, F.E. & DOLL, E.C., 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. Adv. Agron. New York, 30: 159-206.
- KITRICK, J.A. & JACKSON, M.L., 1956. Electron-microscope observations of the reaction of phosphate with minerals, leading to a unified theory of phosphate fixation in soils. J. Soil Sci. 7: 82-89
- LARSEN, J.E.; WARREN, G.F.; LANGSTON, R., 1959. Effect of iron, aluminum and humic acid on phosphorus fixation by organic soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23: 438-440.
- LEON, L.A.; FENSTER, W.E. & HAMMOND, L.L., 1986. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Peru and Venezuela. Soil Sci. Soc. Am. J. 50(3): 798-802.
- LOPES, A.S.; VASCONCELLOS, C.A. & NOVAIS, R.F., 1982. Adubação fosfatada em algumas culturas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S. & GOEDERT, W.J. (Eds) Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA, DID. p. 137-200.
- NOVELINO, J.O.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; COSTA, L. M. & BARROS, N.F., 1985. Solubilização de fosfato de araxá em diferentes tempos de incubação, com amostras de cinco latossolos na presença e na ausência de calagem. R.Bras.Ci. Solo, 9: 13-22.

- RAIJ, B. VAN, 1971. Eletrochemical properties of some brazilian soils. Cornell University, Ithaca, N.Y. p. Ph.D Thesis.
- RAIJ, B. VAN & PEECH, 1972. Eletrochemical properties of some oxisols and alfisols of tropics. Soil Sci. Amer. Proc. 36: 587-593.
- RAIJ, B. VAN & VALLADARES, J.M.A.S., 1974. Análise dos elementos maiores de rochas, argilas e solos. Campinas, Instituto Agronômico. 23p. (Boletim Técnico nº 16).
- RAIJ, B. VAN & ZULLO, M.A.T., 1977. Métodos de análises do solo. Fertilidade do solo, Instituto Agronômico, Secretaria da Agricultura, Campinas-SP. 16p. (Circular nº63).
- RAIJ, B. VAN, FEITOSA, C.T. & CARMELLO, Q.A.C., 1982. A adubação fosfatada no Estado de São Paulo. In: OLIVEIRA, A.L. LOURENÇO, S. & GOEDERT, W.J. (Eds.) Adubação fosfatada no Brasil, Brasília, EMBRAPA/DID, p. 103-136.
- RALTJE, W., 1960. On the mutual conversion of calcium bound phosphoric acid and aluminium and ferric-iron bound phosphoric acid in soil. Pl. Soil 23: 159-165.