

ALGUNS ASPECTOS DA FIXAÇÃO DO FÓSFORO POR SOLOS DA REGIÃO DE PIRACICABA

Francisco José de Albuquerque Cavalcanti

Engenheiro Agrônomo

DR. FRANCISCO DE ASSIS FERRAZ DE MELLO

Orientador

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' para a obtenção do título de Mestre.

Piracicaba

1974

a o s m e u s ,

o f e r e ç o .

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Prof. Dr. Francisco de A. F. de Mello, pela orientação dada.

Ao Dr. Sosígenes Gomes da Fonsêca, Diretor do IPEANE e ao Dr. Manoel Duarte Lopes, Chefe da E.E. de União dos Palmares-AL, pelo irrestrito apoio e estímulos recebidos.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), pela ajuda recebida durante o curso.

A todas as pessoas que tenham colaborado na execução deste trabalho.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 <u>Natureza dos compostos de fósforo</u>	3
2.2 <u>Mobilidade</u>	4
2.3 <u>Disponibilidade</u>	6
2.3.1 Cinética das reações do fósforo	6
2.3.2 Formas disponíveis	8
2.3.3 Fatores que afetam a absorção	9
2.4 <u>Fixação do fósforo</u>	12
2.4.1 Processos	13
2.4.2 Fatores	15
2.4.3 Capacidade de fixação	17
3 - MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 <u>Material</u>	19
3.2 <u>Métodos</u>	23
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5 - CONCLUSÕES	48
6 - RESUMO	50
7 - SUMMARY	52
8 - BIBLIOGRAFIA CITADA	54

1 - INTRODUÇÃO

Embora tenha sido observada há mais de um século, a fixação do fósforo pelo solo permanece sem uma explicação precisa para alguns de seus aspectos. Tanto assim que, não obstante a grande quantidade de trabalhos a esse respeito, não se chegou ainda a uma conclusão definitiva sobre o assunto.

O suprimento de fósforo às plantas é, sem dúvida, um problema duplamente crítico. Ao fato da natureza ter resguardado o tão baixo teor de fósforo presente na maioria de nossos solos, colocando-o sempre em formas de baixa solubilidade, acrescenta-se / ainda que os fertilizantes fosfatados adicionados sofrem transformações que resultam em formas igualmente pouco solúveis. Por outro lado, não sendo as reações desse elemento no solo completamente irreversíveis, uma vez que a fração fixada poderá vir a ser utilizada pelas plantas, deve-se também considerar as vantagens decorrentes de seu efeito residual.

Em suma, quer se considere como sendo um processo que afeta diretamente a absorção do fósforo pelas plantas ou, com maior razão, que promove a sua proteção contra as perdas, pode-se afir-

mar que se tem atribuído enorme importância à fixação do fósforo pelo solo.

A capacidade de fixação de fósforo é geralmente avaliada através do próprio solo ou, indiretamente, através da análise de plantas. Em qualquer um dos casos tornou-se bastante comum recorrer-se ao emprego do ^{32}P , dada a possibilidade de poder-se distinguir o fósforo aplicado do existente no solo.

Embora o mecanismo da fixação do fósforo pelo solo não se ache totalmente compreendido, o mesmo não acontece com a ação dos fatores que o influencia. Disso resulta a possibilidade de poder se quantificar para um determinado solo os efeitos de tais fatores, quer estejam atuando em conjunto ou isoladamente.

O presente trabalho foi levado a efeito no sentido de se obter informações mais detalhadas acerca do comportamento do fósforo em alguns solos, da região de Piracicaba, Estado de São Paulo. Dentre os fatores que interferem na retenção do fósforo / foram escolhidos para este estudo: (a) tempo de contacto entre u ma solução de fosfato monocálcico e o solo e (b) concentração da referida solução.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O fósforo ocorre no solo sob as mais diversas formas e em diferentes graus de solubilidade. Assim, ele poderá estar presente nos minerais primários, adsorvido à superfície de partículas, combinado com o cálcio, ferro, alumínio ou, imobilizado pelos seres vivos.

2.1 - Natureza dos compostos de fósforo

Cerca de 200 minerais primários contendo fósforo são encontrados na natureza (39). Não obstante, apenas os do grupo das apatitas merecem uma maior atenção. De um modo geral, os minerais desse grupo apresentam uma composição química tal que podem ser representados pela fórmula $M_{10}(PO_4)_6X_2$, onde X vem a ser o fluor, cloro ou o radical OH^- , e M, na maioria das vezes, representa o íon Ca^{+2} (30, 39, 54 e 72).

Dentre os compostos inorgânicos de fósforo que contêm cálcio, estão aqueles que se apresentam como os mais solúveis: fosfato mono e bicálcico (8).

O fósforo do solo é também encontrado sob a forma de fosfatos de ferro e alumínio. Com respeito a essa última forma, COOKE (16) põe em dúvida se ela deve ser considerada como um composto quimicamente precipitado ou como ânions adsorvidos.

RUSSEL (63) situa-se entre os que se referem aos fosfatos retidos na superfície dos óxidos hidratados de Fe e Al, quando deseja mencionar tais compostos. Mais recentemente, e levando-se em conta apenas o alumínio, há quem afirme tratar-se mais de uma adsorção do que de uma precipitação (60).

O fósforo poderá ainda ser fixado pelos componentes da fração argila do solo. BASS & SIELING (4) chegam a admitir a possibilidade de serem os átomos de Fe e Al, da rede cristalina dos argilo-minerais, responsáveis pela fixação desse elemento.

Finalmente, uma fração variável do fósforo do solo acha-se numa forma orgânica. Diversos autores (8, 11, 18, 30, 59, 63 e 72) apontam as fitinas e seus derivados, fosfolipídios e ácidos nucleicos como os principais componentes desta fração. Esses compostos, provenientes de resíduos de plantas, animais e microorganismos, sofrem algumas transformações durante o processo de mineralização sendo o fósforo liberado numa forma tão assimilável para as plantas quanto os fosfatos recém-formados de Fe, Al e Mn (8).

2.2 -Mobilidade

O movimento do fósforo no solo depende da ação dos seres vivos e de processos como difusão e fluxo de massa (LARSEN, 39). Trabalhando com diversos tipos de solo, OMANWAR & ROBERTSON (57) concluíram que o fluxo de massa foi o mais importante dos processos responsáveis pelo movimento do fósforo em solos tratados com formas solúveis desse elemento.

A translocação vertical do fósforo e a sua perda nas águas de percolação foram estudadas por GOEDERT et al. (24) e PATNAIK et al. (58), respectivamente. De acordo com esses últimos, o teor de fósforo contido nas águas de percolação era desprezível

para as condições em que o seu trabalho foi realizado.

Para o caso dos fertilizantes aplicados sobre a superfície do solo, desde que não haja condições que favoreçam a sua lixiviação, tanto a difusão como a capilaridade respondem pelo movimento do fosfato (WILLIAMS, 76). Lewton & Vomocil, citados por esse autor, referem-se ao movimento rápido do fosfato proveniente das partículas de superfosfato em contacto com o solo, mesmo nos casos em que o teor de umidade não excede os 2%.

Em trabalho também realizado na Austrália, WILLIAMS (77) mostra como processou-se a penetração do fósforo em um solo úmido. Nessas condições houve uma acentuada penetração do fosfato proveniente das partículas do fertilizante durante 5 ou 6 dias. Em seguida, num ritmo cada vez mais lento, esse movimento perdurou por aproximadamente 2 meses.

Utilizando solos previamente tratados com matéria orgânica, AHMAD MOSTAFA (1) observou uma redução no movimento do fósforo. A pronta imobilização do fósforo transportado pelas águas ou por outros agentes de lixiviação, foi explicada como sendo devida à formação de complexos.

O emprego do ^{32}P e ^{33}P tem proporcionado respostas para alguns aspectos relacionados com o movimento do fósforo. LEWIS & RACZ (41) fazendo uso de duas fontes desse elemento, marcadas com ^{32}P , constataram que o seu movimento era menos intenso em solos ricos em CaCO_3 .

Com o auxílio de autoradiografias EVANS & SYERS (22) e LEWIS & QUIRQ (40) conseguiram demonstrar, respectivamente, a penetração do fósforo para o interior de uma partícula de solo e sua distribuição dentro e em torno das raízes de trigo. Coube aos dois primeiros a utilização do mais recente isótopo do fósforo, o ^{33}P . Técnica menos usual, a autocromatografia foi empregada com sucesso em casos onde a fonte desse nutriente não poderia ser marcada com ^{32}P (SINCLAIR, 65).

2.3 - Disponibilidade

A disponibilidade do fósforo para as plantas tem sido abordada sob os mais diversos aspectos. Os critérios estabelecidos por SCHOFIELD (64), por exemplo, são considerados como os / que melhor se prestam para avaliá-la (COOKE, 16). Para aquele autor, "intensity of supply" indicaria a quantidade do elemento que se encontra numa forma prontamente disponível, enquanto "pool" representaria todo o fósforo capaz de vir a ser utilizado.

Das relações entre os valores pertinentes a cada um desses conceitos resulta a capacidade que um solo reúne, tanto para atender às necessidades das plantas com respeito ao elemento em questão como para retê-lo sob uma forma menos solúvel (64).

O estudo da cinética das reações do fósforo no solo assume uma importância tal que merece ser abordado de um modo todo especial. O mesmo acontecerá também quando forem levados em consideração, tanto as formas assimiláveis de fósforo como os fatores que afetam a sua disponibilidade.

2.3.1 - Cinética das reações do fósforo

O fósforo presente na solução do solo participa de várias reações de equilíbrio. Essas reações abrangem as que se verificam no interior da fase líquida e na interface entre essa última e a fase sólida.

As formas de fósforo que são encontradas na solução do solo dependem das reações de protonação e formação de complexos, enquanto que o produto de solubilidade e a adsorção controlam, / respectivamente, a dissolução e a precipitação das formas menos solúveis (LARSEN, 39).

De conformidade ainda com esse autor as reações do fósforo presente na fase sólida, ao contrário do que se passa na fase líquida, são bastante lentas. Tanto assim que apenas a relação entre o que se verifica numa e noutra fase, "reaction rate",

é considerada na prática.

A constante de dissociação dos diversos compostos de fósforo foi utilizada por LINDSAY & MORENO (42) na construção do que eles denominaram de diagrama de solubilidade para os compostos de fósforo no solo. A partir do diagrama, a formação e a estabilidade dos compostos fosfatados poderão ser determinadas para diferentes valores de pH.

BOHN & PEECH (7) referem-se às constantes de equilíbrio dos complexos P-Ca e P-Mg para assegurar que tais formas predominam na solução do solo quando o pH ultrapassa o valor de 7,2.

Uma das mais significativas descobertas ao se estudar as reações que envolvem o fósforo do solo, conforme opinião de HUFFMAN (33), é o elevado número de compostos formados juntamente com a larga faixa das respectivas solubilidades. Além disso, diversos autores citados por LARSEN (39) chegaram à conclusão de que a concentração do fósforo na solução do solo não está de acordo com o princípio do produto de solubilidade.

O emprego da "reaction rate" para subdividir o fósforo do solo em "labile" e "nonlabile" e, ainda, para fracionar a primeira parte, recebeu uma especial atenção por parte de LARSEN / (39).

O uso de traçadores nas reações entre as superfícies das partículas e a solução que as envolve vem sendo utilizado desde 1922, McAULIFFE et al. (49). Esses autores, investigando as intensidades das reações reversíveis que ocorrem entre o íon fosfato presente na superfície dos minerais do solo e o íon fosfato da solução, constataram que pelo menos ocorriam duas etapas no processo, uma bastante rápida e outra mais lenta.

Os vários métodos para a determinação da fração "labile" do fósforo do solo, baseados na diluição isotópica, diferem principalmente nas condições sob as quais esta diluição ocorre.

O teor de fósforo disponível foi objeto de estudo, por exemplo, por parte de NELLO (52) mediante a determinação do va -

lor L, modificado. Por sua vez, o valor A foi também utilizado por NELLO (51) e MALAVOLTA et al. (46) visando semelhante objetivo.

2.3.2 - Formas disponíveis

O termo fósforo disponível há muito que vem servindo para designar as formas de fósforo do solo que são utilizáveis pelas plantas (18). LARSEN (39) adianta que as formas presentes na solução do solo são controladas pelas reações de protonação e pela formação de complexos solúveis.

Parece não haver dúvida que o $H_2PO_4^-$ predomina entre as espécies iônicas contidas na solução do solo, como também, que esse íon é tido como a principal fonte de fósforo para as plantas. Em menor proporção, o HPO_4^{2-} poderá ser absorvido, conforme constatarem HAGEN & HOPKINS (26), e até mesmo certas formas orgânicas (66).

A química do fósforo do solo gira em torno dos ânions do ácido ortofosfórico. Dependendo do pH da solução do solo verifica-se o predomínio de um desses íons; para valores abaixo de 7,2 constata-se uma maior concentração do $H_2PO_4^-$, enquanto que para valores superiores a 7,2 tem-se justamente o inverso (PRATT, 59).

Os íons fosfatos, quer adsorvidos ou precipitados, são igualmente considerados como fonte supridora desse elemento para as plantas. Nesse sentido, TISDALE & NELSON (72), ao analisarem os resultados de diversos ensaios, concluíram que algumas culturas desenvolveram-se melhor quando o solo foi tratado com fosfato de ferro ou de alumínio, recém-formados, do que com fosfato de cálcio. Como explicação para esse fato eles asseguram que em tais circunstâncias deve-se levar em conta que a solubilidade de muitos sais decresce com o tempo. Por outro lado, essa afirmativa não chega a reduzir a importância que se vem dando à formação de precipitados de ferro e alumínio no solo.

Com relação ao $Al(OH)_2H_2PO_4$, existem aqueles que concordam com o fornecimento de fósforo para as plantas a partir des

se hidrofosfato (8, 10, 15, 31 e 72). Por sua vez, o $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ possui a mais baixa solubilidade entre esses compostos (CHANG & JACKSON, 14 e TAYLOR; GURNEY & FRAZIER, 71). Em trabalho realizado com fosfatos de Ca, Fe, Al BASU & MUKHERJEE (6) chegaram a conclusão idêntica sobre a solubilidade do fosfato de Fe e comprovaram que o Fe^{+2} interfere na disponibilidade do fósforo das outras duas formas.

BOHN & PEECH (7) consideram tanto o fosfato de cálcio como o de magnésio, como as formas predominantes na solução do solo, para valores de pH acima de 7,2. Dentre os compostos inorgânicos de cálcio, BUCKMAN & BRADY (8) apontam, em ordem decrescente de solubilidade, os fosfatos mono e bicálcico. Suspeita-se, inclusive, que outras formas de fósforo possam ser utilizáveis pelas plantas, dentre elas os metafosfatos e pirofosfatos (30 e 72).

Restam ainda os compostos orgânicos de fósforo. Esses compostos orgânicos, juntamente com aqueles no qual esse elemento possa estar ligado, geralmente só tomam uma forma assimilável durante a decomposição ou humificação da matéria orgânica.

Se por um lado COOKE (16) admite que, pela oxidação da matéria orgânica, quantidades proporcionais de fósforo e enxôfre são liberadas para as plantas, há quem assegure que certos fosfatos orgânicos solúveis também são absorvidos pelas raízes (72).

SINHA (67), ao descrever os benefícios trazidos pela adição de matéria orgânica, chega a afirmar que parte dos fosfatos organo-metálicos são formados pela reação dos íons fosfatos com complexos de Ca, Fe e Al dos ácidos húmico e fúlvico. Em outra ocasião (66), esse mesmo autor refere-se aos fosfatos fúlvico-metálicos como sendo a fração mais móvel dos fosfatos organo-metálicos do solo e, baseado nos resultados de radioautografias, adverte que não se pode afirmar que ocorra a absorção de moléculas intactas de tais compostos

2.3.3 - Fatores que afetam a absorção

Deixando-se de lado os fatores relacionados com os pro

cessos que resultam na fixação do fósforo pelo solo, uma vez que eles serão analisados no próximo item, inúmeros outros tomam parte direta ou indiretamente na absorção desse elemento pelas plantas. Dentre os fatores a serem abordados encontram-se aqueles que dependem, tanto das características do solo como da própria planta.

No solo, os fatores que interferem na disponibilidade do fósforo, além dos que participam de sua fixação, são bastante numerosos. Alguns relacionam-se com as características do solo, manejo e até mesmo, conteúdo e flutuações periódicas desse elemento.

JORGE & VALADARES (37) estudando as diversas formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo observaram que, com exceção da Terra Roxa Estruturada, a forma mineral mais facilmente aproveitável pelos vegetais, ou seja, o fósforo ligado ao cálcio, ocorria sempre em níveis baixos. Em um Planossolo do Rio Grande do Sul GOEDERT et al. (24) relatam que o seu teor de fósforo total é bastante baixo e a maior parte encontra-se na forma orgânica. FRANCIK & NEUBERG (23) mencionam uma flutuação no teor de fósforo disponível durante todo o ano em terras ocupadas com pastagens.

A absorção do fósforo é também afetada pela presença de outros íons. Dentre os que favorecem este processo, o NH_4^+ e o Mg^{+2} (MILLER et al., 55 e LOURENÇO, 43) servem como exemplo.

Por sua vez, as características do solo contribuem ainda para uma maior ou menor disponibilidade do elemento em estudo. Os efeitos causados pela compactação, na absorção do fósforo e no crescimento do milho, foram apreciados por VERMA (73). Por outro lado, SIPITANOS (68) e IVANOVA & SPIRIDOVSKAVA (36) analisaram a influencia da temperatura na resposta das plantas à adubação fosfatada.

A textura do solo, juntamente com o teor de umidade, acham-se relacionados com a utilização do fósforo pelas culturas.

MANTAB et al. (45) recomendam a aplicação de uma maior quantidade de fertilizantes fosfatados em solos de textura mais grosseira, para um dado teor de umidade. COOKE (16) julga que a difusão desse elemento seja mais ativa para os solos argilosos e discorda desses autores (45) ao acentuar que as plantas cultivadas em solos arenosos exigem menos fertilizantes fosfatados.

STANFORD & DEMENT (70) concluíram, para as condições de seu trabalho, que o Equivalente de umidade aproximava-se bastante do teor de umidade do solo capaz de proporcionar a máxima / absorção do fósforo. Com relação ao excesso d'água, ele geralmente proporciona um aumento no suprimento do fósforo (IAEA, 35), quando não acarreta a sua perda por lixiviação (GOEDERT et al., 24).

Através do manejo adequado do solo pode-se, até certo ponto, incrementar a absorção do fósforo ou evitar a sua perda. BARROWS & KILMER (3) apontam a erosão como sendo uma das causas das perdas de argila e matéria orgânica da camada arável do solo e, conseqüentemente, de elementos nela contidos. Sob condições de alagamento foi constatado o deslocamento de fósforo para horizontes mais profundos (24).

Em solos com quantidades satisfatórias de elementos nutritivos a irrigação mostrou-se mais compensatória do que a adição de fertilizantes contendo fósforo, o mesmo não ocorrendo para com os solos de baixa fertilidade (DEBRECZENI et al., 19). Além disso, DEBRECZENI et al. (19) constataram que as plantas utilizaram-se mais do nutriente proveniente do próprio solo do que diretamente do material aplicado.

Independentemente da quantidade de fósforo disponível, deve-se considerar ainda que a própria planta concorre para uma maior ou menor absorção. Por certas culturas apresentarem a habilidade de absorver algumas formas de fósforo que não chegam a ser assimiláveis por outras, MARRAIS et al. (48) procuram explicar tal fato através, inclusive da redução da energia livre de certos fosfatos proporcionada em escala maior por determinadas espécies. Esses mesmos autores ressaltam o interesse desse fato sob

o ponto de vista prático.

Para HEMWALL (30) a resposta das culturas à aplicação de fertilizantes fosfatados depende, em parte, da idade das plantas, sendo tanto mais acentuada quanto mais jovens forem estas. Ao que tudo indica inúmeros fatores dessa ordem poderiam afetar a absorção do fósforo pelas plantas. Contudo, apenas aqueles que envolvem o sistema radicular foram estudados com maior profundidade.

Além do comprimento total (48), outros aspectos relacionados com uma melhor absorção do fósforo pelo sistema radicular têm sido abordados pelos que se dedicam ao assunto. ROVIRA & DOWNEN (62) citam que as regiões de maior absorção correspondem à extremidade da raiz primária e à zona de raízes laterais, para o caso de plântulas de trigo. MELLO (39) juntamente com esses autores, referem-se às perdas do fosfato absorvido das raízes para a solução.

Resta citar ainda os trabalhos de HAI (27) e HAI et al. (28) desenvolvidos em meio de cultura, relacionando a repulsão e eletrostática de ânions devido à carga elétrica negativa apresentada pelas raízes. Num desses estudos (28) chega a ser mencionado que, em baixas concentrações, a intensidade de absorção de fosfatos pelo arroz é função do potencial elétrico das raízes.

2.4 - Fixação do fósforo

A importância da fixação do fósforo pelo solo reside no fato das plantas só conseguirem utilizar uma pequena fração do fósforo adicionado. Embora este problema tenha sido levantado em meados do século passado (HEMWALL, 30), ainda permanece obscuro muitos de seus aspectos, a começar pelo termo adequado para designá-lo.

Sem a intenção de separar um tópico dos outros, o que não seria muito proveitoso, subdividiu-se o assunto em três partes. Assim, a fixação do fósforo será abordada segundo os seus

processos, fatores e capacidade de fixação apresentada pelos solos.

2.4.1 - Processos

Ao se estudar a fixação do fósforo costuma-se distinguir os processos que predominam em solos ácidos dos que predominam em solos alcalinos. No entanto convém frizar que todos eles podem atuar sob quaisquer condições de pH.

A presença de Ca^{+2} , Fe^{+3} , Al^{+3} , Mg^{+2} , K^+ , H^+ , OH^- e F^- constitui, independentemente da fase do solo em que se encontrem, uma ameaça constante para os íons fosfatos (LINDSAY & MORENO, 42). Coube a esses autores relacionar a atividade de cada um desses íons com a estabilidade dos respectivos compostos encontrados na fase sólida. Para eles, o produto das reações que ocorrem poderá ser ou não precipitado segundo a concentração de tais íons na solução do solo.

Suspeita-se que os óxidos hidratados cristalinos e/ou amorfos de Fe e Al, comuns na fração coloidal de solos bastante intemperizados, são responsáveis pela retenção do fósforo na forma de fosfato-oxidrilas (BUCKMAN & BRADY, 8). Para esses autores a quantidade de fósforo fixada através desse processo excede bastante, para os solos ácidos, àquela devida à precipitação química pelos íons presentes na solução do solo.

Em solos alcalinos a fixação do fósforo é provocada, em grande parte, pelos compostos de cálcio. Além da formação de precipitados a partir do Ca^{+2} , os fosfatos reagem com o carbonato / desse elemento (8).

Com respeito à retenção de íons fosfatos pelas partículas de CaCO_3 , TISDALE & NELSON (72) evitam definir o tipo de reação, uma vez que existe um bom número daqueles que consideram o fenômeno como sendo uma reação de precipitação. Não obstante, esses autores referem-se a um aumento na quantidade de fósforo / retido pelo CaCO_3 em função do teor de fosfato na solução, fato

esse que caracteriza a adsorção iônica. Tudo que se passa com a retenção do fósforo pelas partículas de CaCO_3 acontece também com as reações que envolvem os óxidos hidratados.

Novamente TISDALE & NELSON (72) advertem que embora a reação inicial entre os óxidos hidratados de Fe, Al, Ti e Mn e o íon fosfato possa ser considerada como uma adsorção, os compostos que se formam em seguida são similares aos quimicamente precipitados.

MILLAR (54) admite a inexistência de informações seguras a esse respeito, no que foi precedido por RUSSEL (63) quando assegurava que não existia uma diferença marcante entre os fosfatos retidos na superfície dos óxidos hidratados de Fe e Al e os fosfatos inorgânicos desses elementos. Em determinadas condições, acentua RUSSEL (63), provavelmente aconteceria a cristalização / desses complexos.

Argilo-minerais que possuem grupos OH^- são capazes de reter íons fosfatos. MILLAR (54) adianta que tal processo ocorre principalmente na superfície desses minerais, sem excluir a possibilidade de tais íons penetrarem entre as suas unidades básicas. Os que concordam que a troca de ânions seja responsável pela remoção do fósforo solúvel da solução do solo apontam os átomos de Fe e Al expostos da rede cristalina como responsáveis pela retenção do fósforo (BASS & SIELING, 4).

Estudando as reações do fosfato com a caulinita LOW & BLACK (44) verificaram que, para soluções diluídas, a fixação obedece a isoterma de Freundlich. Esses mesmos autores, citados por HEMWALL (30), chegaram a conclusão de que o Al seria necessário para que houvesse a fixação do fósforo. A retenção do fósforo segue também a isoterma de Langmuir (KURO & LOTSE, 38 e PRATT, 59).

LARSEN (39) parece esclarecer um pouco melhor o problema quando afirma que, mesmo na ausência de íons causadores da precipitação dos fosfatos, ocorre uma remoção do fósforo por adsorção. Como os argilo-minerais saturados com cálcio são capazes de

reter maior quantidade de fósforo do que os saturados com Na^+ ou outro íon monovalente, uma ligação entre o fosfato e o argilo-mineral através do Ca^{+2} tem sido sugerida (72).

COOKE (16) ao se referir à natureza dos fosfatos inorgânicos parece ter resumido tudo o que acaba de ser citado. Conforme seu ponto de vista, discute-se ainda se essa fração poderá ser considerada como compostos quimicamente precipitados ou como ânions adsorvidos.

Procedimento semelhante ocorre com PRATT (59) ao tratar das substituições entre os fosfatos e outros ânions. Para esse autor, embora a adsorção do fósforo seja provavelmente uma reação de troca, sua capacidade é demasiadamente específica para ser chamada de capacidade de troca de ânions.

A troca de ânions vem sendo alvo de controvérsias, havendo até quem assegure (30) que o emprego dessa teoria para explicar, em parte, a fixação de fósforo pelo solo possui muito pouco sustentáculos.

Os compostos orgânicos de fósforo são também fixados no solo. HEMWALL (30) cita a fitina e seus derivados como susceptíveis de formarem compostos orgâno-metálicos com o ferro e alumínio.

2.4.2 - Fatores

A quantidade de fósforo fixada pelo solo depende da concentração do íon fosfato na solução, do pH, da temperatura e tempo de reação. A presença de Fe, Al, argilo-minerais, matéria orgânica e de microorganismos também interfere no processo.

Relacionando a adsorção com a precipitação do fósforo, LARSEN (39) acha que essa última só ocorre quando o sistema responsável pela adsorção atinge o ponto de saturação. Desse modo, a solubilidade dos compostos precipitados dependerá da concentração do fósforo na solução.

Entre os fatores envolvidos, o pH do solo chega a ser tão importante que é geralmente empregado para separar em dois grupos os processos responsáveis pela fixação do fósforo. A calagem presta-se muito bem para comprovar o efeito do pH na disponibilidade desse elemento. MALAVOLTA et al. (46) lembram a possibilidade da elevação do pH acarretar um aumento no teor de fósforo disponível de tal ordem que possa desaparecer, por um certo tempo, a necessidade de se aplicar fertilizantes fosfatados.

Inúmeros resultados comprovando a eficácia da calagem são encontrados na literatura. CAVALCANTI (13), por exemplo, obteve um aumento de matéria seca da ordem de 300% ao estudar o efeito dessa prática e da adubação fosfatada na cultura do milho.

HALL & BAKER (29) apresentam resultados bastante interessantes sobre a importância do tipo de argila na retenção do fósforo, em função do pH. Esses autores constataram que a montmorilonita contribui para elevar a quantidade de fósforo fixada pelo solo quando o pH eleva-se, enquanto que a quantidade fixada pela vermiculita diminui com o aumento do pH.

A solubilidade da forma do fósforo adicionado ao solo também poderá contribuir para uma fixação mais acentuada. Em solos com alta capacidade de fixação McLEAN & LOGAN (50) mostraram que o teor de fósforo em plântulas de milho decresce à medida que aumenta a solubilidade em água do fertilizante utilizado.

O tempo de contacto do solo com o íon fosfato tem sido objeto de estudo por vários autores. ENGELSTAD & ALLEN (20) demonstraram que a incubação do solo reduz o efeito desse elemento, principalmente em regiões de clima quente. O fator tempo de incubação foi estudado de modo bastante detalhado por BASS & SIELING (4) que levaram em consideração intervalos de tempo de apenas uma hora entre os tratamentos.

O excesso de umidade poderá afetar a fixação do fósforo. Em condições de alagamento os fosfatos férricos são reduzidos para compostos ferrosos relativamente mais solúveis, diminuindo dessa forma os problemas causados pela retenção do fósforo

(24 e 47). Para a cultura do arroz irrigado, chega-se até a recomendar uma inundação do solo com uma antecedência de 20 dias do plantio (61).

Os solos argilosos requerem uma maior quantidade de fósforo devido, sobretudo, a sua elevada capacidade de fixação. Dentre os argilo-minerais, os do grupo da caulinita parecem apresentar um maior poder de fixação. Além desse aspecto, os argilo-minerais concorrem para uma maior fixação do fósforo pela liberação do alumínio (COLE & JACKSON, 15).

Com respeito ao Al^{+3} trocável TAYLOR et al. (71) observaram ser este íon muito ativo na precipitação de fosfatos, embora REEVE & SUMNER (60) não tenham encontrado nenhuma relação entre a capacidade de fixação dos solos estudados e o teor de Al^{+3} trocável.

A adsorção do fósforo pelas partículas coloidais aumenta quando se provoca a oxidação de substâncias orgânicas com H_2O_2 (HUDCOVA & KOVAROVA, 32). A matéria orgânica, quando em contacto muito prolongado com o solo poderá, por outro lado, favorecer à imobilização do fósforo (AHMAD MOSTAFA, 1). Os microorganismos, mesmo os fungos solubilizadores desse elemento, podem ser prejudiciais às plantas por imobilizarem todo o fósforo utilizável (9).

Ao se concluir esta série de fatores será oportuno lembrar que a matéria orgânica reduz a fixação do fósforo até quando presente na forma de complexos organo-metálicos (HUSSAIN & KYUMA, 34).

2.4.3 - Capacidade de fixação

Nem todos os solos apresentam uma mesma capacidade para fixar o fósforo. Dependendo da natureza de seus constituintes e, até certo ponto, dos processos e fatores envolvidos um dado solo poderá reter uma quantidade de fósforo várias vezes superior à fixada por um outro.

Por outro lado, a um solo que recebeu fosfato até atingir a sua capacidade de saturação pode-se aplicar mais fósforo / numa forma solúvel sem se correr o risco dele vir a ser fixado (BASU et al., 5). A propósito DEAN (18) friza que a uma mudança de solubilidade não se deve aguardar, necessariamente, uma alteração na disponibilidade do elemento em estudo.

A determinação da capacidade de fixação fundamenta-se em duas técnicas: (a) aquela baseada no decréscimo da concentração desse elemento de uma solução em contacto com o solo; e (b) a que compara o fósforo extraído de um solo que não recebeu nenhum tratamento, com o extraído após esse mesmo material ter sido tratado com uma fonte de fósforo solúvel (DEAN, 18). A vantagem dos trabalhos onde se recorre ao uso do ^{32}P (12 e 51) prende-se à possibilidade de poder se distinguir entre o fósforo adicionado e o existente no solo.

BASS & SIELING (4) desenvolveram um método indireto para a determinação da capacidade de fixação desse elemento em solos ácidos, baseado na extração do ferro e alumínio. Mesmo exigindo controle de temperatura e tempo de digestão e extração, o método por eles desenvolvido é bastante simples.

É bem conhecido o fato de que o fósforo adicionado ao solo vai se tornando cada vez menos disponível para as plantas. A retenção desse elemento a curto prazo processa-se de um modo gradual. O equilíbrio do sistema solo-solução fosfatada só será atingido após um tempo de contacto mais prolongado (BASU et al., 5).

Baseado neste fato, procurou-se estudar o problema levando em consideração o tempo decorrido. Daí surgirem termos como fixação dentro de um curto, médio e longo período (DABIN, 17).

Finalmente resta mencionar que o fósforo acumulado sob as mais diversas formas não deixa de ser considerado como uma possível fonte supridora desse nutriente. Em trabalhos nesse sentido (21, 25 e 56), tornaram-se comuns aqueles em que se procura comparar o efeito residual dos diversos fertilizantes.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Foram tomadas para este estudo amostras representativas da camada arável de vários solos que ocorrem na região de Piracicaba, Estado de São Paulo.

Os trabalhos foram desenvolvidos no laboratório do Departamento de Solos e Geologia da ESALQ onde procurou-se avaliar os efeitos, na fixação do fósforo, do tempo de contacto de cada amostra com uma solução de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, ao mesmo tempo em que se variava sua concentração.

3.1 - Material

A fim de facilitar a discussão dos resultados as amostras foram numeradas de I a VI. A classificação, a nível de Grande Grupo, das Séries correspondentes aos solos utilizados pode ser vista no Quadro 1.

As amostras correspondentes aos solos I e V foram coletadas nas proximidades dos perfis anteriormente estudados por ANDRADE (2) sob as denominações de P_2Hi e P_2 .

QUADRO 1 - Classificação dos solos a nível de Série e de Grande grupo (*)

Amos- tra	Série	Grande grupo	
		(Comissão de solos/SNPA)	(7ª Aproximação)
I	Três Municípios	Hidromórfico	Plintaquult
II	Giboia	Podzólico	Typustalf
III	Ibitiruna	Podzólico	Typochrult
IV	Iracema	Latossol	Haplacrox
V	Guanium	Latossol	Haplacrox
VI	Luiz de Queiroz	Latossol	Ultustalf

(*) Adaptado da Carta de Solos do Município de Piracicaba.

Dos solos II, III, IV e VI foram tomadas amostras representativas do horizonte A_p nas imediações dos perfis designados na Carta de Solos do Município de Piracicaba (**) por P₂₆, P₂₈, P₂₀ e P₃₃, respectivamente.

O material coletado foi secado ao ar, passado em peneira de 2 mm e em seguida analisado. Os resultados analíticos destinados à sua caracterização física e química acham-se reunidos nos Quadros 2 e 3.

(**) - RANZANI, G.; FREIRE, O. & KINJO, T. Carta de Solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, Centro de Estudos de Solos da E.S.A. "Luiz de Queiroz" - U.S.P., 1966. 85p.

QUADRO 2 - Análise mecânica dos solos em estudo (*)

Amostr tra	P o r c e n t a g e m						Classe Textural		
	areia mui grossa	areia grossa	areia média	areia fina	areia mui to fina	AREIA LIMO ARGILA			
I	0,3	2,6	7,0	10,2	4,6	24,7	28,1	47,2	Argila
II	-	1,0	6,6	38,9	26,8	73,3	20,2	6,5	Areia barrenta fina
III	-	2,4	11,9	48,8	24,9	88,0	5,8	6,2	Areia fina
IV	0,1	1,4	5,0	11,4	5,8	23,6	30,5	45,9	Argila
V	-	2,3	5,5	8,1	3,9	19,8	17,3	62,9	Argila
VI	0,1	2,9	8,2	6,7	17,4	35,3	26,0	58,7	Barro argiloso

(*)- Resultados obtido com o uso de Calgon a 5% e do agitador de Wagner, durante 16 horas. A areia foi separada com peneiras (mm) enquanto o limo e a argila foram obtidos pelo método da pipeta.

- Análises realizadas pelo Centro de Estudos de Solos da ESALQ.

QUADRO 3 - Análise química dos solos em estudo (*)

Amostr tra	e mg/100g			e mg/100g			pH			Acidez total -CaOAc-			
	PO ₄ ⁻³	PO ₄ ⁻³	solúvel total	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	H ₂ O	KCl	1:1		Mat. Fe ₂ O ₃ org. livre (e mg/100g)		
I	0,05	0,64	5,2	4,2	2,30	1,57	0,67	0,19	0,25	0,77	3,13	2,77	5,68
II	0,02	0,18	5,6	4,6	1,86	1,35	0,37	0,02	0,17	0,09	1,40	0,93	2,66
III	0,03	0,16	5,2	4,3	1,90	1,22	0,20	0,04	0,22	0,21	1,07	0,25	2,64
IV	0,03	1,48	5,0	4,3	3,30	1,74	0,16	0,10	0,22	0,37	4,60	13,45	8,00
V	0,02	0,76	5,0	4,0	1,90	1,34	0,36	0,06	0,34	1,12	5,93	6,52	8,91
VI	0,02	1,31	6,1	5,4	5,90	1,38	0,38	0,16	0,19	0,03	3,73	10,56	3,04

(*)- O fósforo solúvel foi extraído com uma solução 0,025N em H₂SO₄ e 0,05N em HCl enquanto o fósforo total foi extraído com ácido sulfúrico de peso específico 1,47.

- As demais determinações foram feitas pelo Centro de Estudos de Solos da ESALQ.

3.2 - Métodos

Com base no trabalho de WAUGH & FITTS (75) fez-se um estudo sobre a interferência, na quantidade relativa de fósforo fixado, do tempo de contacto e da concentração da solução.

Foram estabelecidos 4 períodos de incubação (0-2-20 e 200 horas). As soluções empregadas continham 0-500-1.000 e 1.500 ppm de P (Fig.1), sendo o número de repetições igual a 4.

A quantidade relativa de fósforo fixado foi obtida deduzindo-se inicialmente os resultados de cada um dos tratamentos daqueles em que a solução não continha fósforo (Fig.2). Em seguida subtraiu-se os resultados assim obtidos daqueles cujo tempo de contacto foi nulo (Fig.3).

Os novos tratamentos assim constituídos tomaram uma forma fatorial 3 X 3. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado; 9 tratamentos com 4 repetições.

Para cada tratamento foi tomada uma quantidade de material equivalente a 10g de TFSE que recebeu a seguir 4 ml de uma solução de fosfato monocálcico. A temperatura média durante o ensaio foi de 26,5°C e o controle das perdas d'água foi obtido mediante pesagens.

Findo o tempo de incubação previsto para cada tratamento determinou-se o teor de fósforo, no extrato obtido com uma solução 0,025N em H_2SO_4 e 0,05N em HCl (VETTORI, 74), observando-se sempre um intervalo de aproximadamente 24 horas entre a extração e o restante da análise.

Por último foi feita a análise estatística dos dados obtidos para cada solo isoladamente e, ainda, uma análise conjunta, levando-se em conta as médias dos tratamentos nos diversos solos.

t_0p_0	t_0p_1	t_0p_2	t_0p_3
t_1p_0	t_1p_1	t_1p_2	t_1p_3
t_2p_0	t_2p_1	t_2p_2	t_2p_3
t_3p_0	t_3p_1	t_3p_2	t_3p_3

Fig. 1 - Tratamentos empregados.

-	t_0P_1 ($t_0p_1 - t_0p_0$)	t_0P_2 ($t_0p_2 - t_0p_0$)	t_0P_3 ($t_0p_3 - t_0p_0$)
-	t_1P_1 ($t_1p_1 - t_1p_0$)	t_1P_2 ($t_1p_2 - t_1p_0$)	t_1P_3 ($t_1p_3 - t_1p_0$)
-	t_2P_1 ($t_2p_1 - t_2p_0$)	t_2P_2 ($t_2p_2 - t_2p_0$)	t_2P_3 ($t_2p_3 - t_2p_0$)
-	t_3P_1 ($t_3p_1 - t_3p_0$)	t_3P_2 ($t_3p_2 - t_3p_0$)	t_3P_3 ($t_3p_3 - t_3p_0$)

Fig. 2 - Tratamentos corrigidos de p_0 .

-	-	-	-
-	T_1P_1 ($t_0P_1 - t_1P_1$)	T_1P_2 ($t_0P_2 - t_1P_2$)	T_1P_3 ($t_0P_3 - t_1P_3$)
-	T_2P_1 ($t_0P_1 - t_2P_1$)	T_2P_2 ($t_0P_2 - t_2P_2$)	T_2P_3 ($t_0P_3 - t_2P_3$)
-	T_3P_1 ($t_0P_1 - t_3P_1$)	T_3P_2 ($t_0P_2 - t_3P_2$)	T_3P_3 ($t_0P_3 - t_3P_3$)

Fig. 3 - Esquema para obter-se a quantidade relativa de fósforo fixado.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração em fósforo dos extratos obtidos com uma solução 0,025N em H_2SO_4 e 0,05N em HCl, bem como a quantidade relativa de fósforo fixado, acham-se nos Quadros 4 a 9. Por sua vez, as médias das quatro repetições referentes aos tratamentos para cada um dos solos, expressas em termos de mg de P fixado por 100g de terra, permitem uma melhor comparação entre os resultados obtidos (Quadro 10).

Nos Quadros 4 a 9 pode-se acompanhar o esquema seguido para a obtenção da quantidade relativa de fósforo fixado. Partindo-se da concentração do extrato procedeu-se inicialmente a correção para p_0 . A seguir, dentro de cada uma das concentrações estudadas, calculou-se o número de mg de P fixado por 100g de terra.

A interpretação dos dados apresentados será feita com base na análise da variância (Quadros 11 a 16). Na análise conjunta dos solos utilizados apenas o de número I não foi levado em conta devido o valor de seu quadrado médio do erro, conforme pode-se constatar no Quadro 11.

QUADRO 4 - Resultados obtidos com o solo I

TRATAMENTO	e $\mu\text{g PO}_4^{-3} / 100 \text{ ml}$							
	Extrato obtido				Extrato corrig. de P_0			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ P ₀)	5,77	5,77	5,77	5,77	-	-	-	-
(t ₀ P ₁)	111,90	111,27	109,99	109,99	106,13	105,50	104,22	104,22
(t ₀ P ₂)	254,26	256,16	255,53	259,34	248,49	250,39	249,76	253,57
(t ₀ P ₃)	425,20	429,02	430,93	434,74	419,43	423,25	425,16	428,97
(t ₁ P ₀)	5,47	5,53	5,53	5,47	-	-	-	-
T ₁ P ₁	99,83	101,74	101,74	101,74	94,36	96,21	96,21	96,27
T ₁ P ₂	225,02	225,02	226,30	225,02	219,55	219,49	220,77	219,55
T ₁ P ₃	358,48	363,56	358,48	358,48	353,01	358,03	352,95	353,01
(t ₂ P ₀)	4,96	4,96	4,96	4,96	-	-	-	-
T ₂ P ₁	85,21	87,75	87,75	87,75	80,25	82,79	82,79	82,79
T ₂ P ₂	200,88	203,42	199,60	200,88	195,92	198,46	194,64	195,92
T ₂ P ₃	294,93	313,40	305,30	300,01	289,97	308,44	300,34	295,05
(t ₃ P ₀)	5,85	5,85	5,73	5,85	-	-	-	-
T ₃ P ₁	75,25	75,25	74,61	74,61	69,40	69,40	68,88	68,76
T ₃ P ₂	171,64	171,64	171,00	171,00	165,79	165,79	165,27	165,15
T ₃ P ₃	292,39	292,39	292,39	289,85	286,54	286,54	286,66	284,00

- c o n t i n u a -

QUADRO 4 - Resultados obtidos com o solo I (continuação)

TRATAMENTO	Quantidade relativa de fósforo fixado							
	e $\mu\text{g PO}_4^{3-}$ / 10g de terra				mg P/100g de terra			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ p ₀)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ p ₁)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ p ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ p ₃)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₁ p ₀)	11,77	9,29	8,01	7,95	1,22	0,96	0,83	0,82
T ₁ P ₁	28,94	30,90	28,99	34,02	2,99	3,19	2,99	3,51
T ₁ P ₂	66,42	65,22	72,21	75,96	6,86	6,74	7,46	7,85
(t ₂ p ₀)	25,88	22,71	21,43	21,43	2,67	2,35	2,21	2,21
T ₂ P ₁	52,57	51,93	55,12	57,65	5,43	5,36	5,69	5,96
T ₂ P ₂	129,46	114,81	124,82	133,92	13,37	11,86	12,89	13,83
(t ₃ p ₀)	36,73	36,10	35,34	35,46	3,79	3,73	3,65	3,66
T ₃ P ₁	82,70	84,60	84,49	88,42	8,54	8,74	8,73	9,13
T ₃ P ₂	132,89	136,71	138,50	144,97	13,74	14,12	14,31	14,97

QUADRO 5 - Resultados obtidos com o solo II

TRATAMENTO	e $\mu\text{g PO}_4^{\text{-o}} / 100 \text{ ml}$							
	Extrato obtido				Extrato corrig. de P_0			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	K ₁	K ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ P ₀)	3,49	3,36	3,36	3,49	-	-	-	-
(t ₀ P ₁)	169,74	169,74	171,64	171,64	166,25	166,38	168,28	168,15
(t ₀ P ₂)	366,11	371,20	366,11	366,11	362,62	367,84	362,75	362,62
(t ₀ P ₃)	568,20	580,91	574,55	574,55	564,71	577,55	571,19	571,06
(t ₁ P ₀)	1,91	1,91	1,91	1,91	-	-	-	-
T ₁ P ₁	162,75	164,02	162,75	162,75	160,84	162,11	160,84	160,84
T ₁ P ₂	335,60	345,77	345,77	345,77	333,69	343,86	343,86	343,86
T ₁ P ₃	536,42	536,42	536,42	533,24	534,51	534,51	534,51	531,33
(t ₂ P ₀)	1,72	1,72	1,72	1,72	-	-	-	-
T ₂ P ₁	142,41	146,22	146,22	147,49	140,69	144,50	144,50	145,77
T ₂ P ₂	312,72	320,35	320,35	320,35	311,00	318,63	318,63	318,63
T ₂ P ₃	511,00	511,00	511,00	511,00	509,28	509,28	509,28	509,28
(t ₃ P ₀)	1,59	1,53	1,53	1,53	-	-	-	-
T ₃ P ₁	99,20	101,74	101,74	101,74	97,61	100,21	100,21	100,21
T ₃ P ₂	287,30	287,94	289,85	289,85	285,71	286,41	288,32	288,32
T ₃ P ₃	465,24	467,15	472,87	472,87	463,65	465,62	471,34	471,34

QUADRO 5 - Resultados obtidos com o solo II (continuação)

TRATAMENTO	Quantidade relativa de fósforo fixado							
	e $\mu\text{g PO}_4^{-3}$ / 10g de terra				mg P / 100g de terra			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ p ₀)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ p ₁)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ p ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ p ₃)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₁ p ₀)	5,41	4,27	7,44	7,31	0,56	0,44	0,77	0,75
T ₁ P ₁	28,93	23,98	18,89	18,76	2,99	2,48	1,95	1,94
T ₁ P ₂	30,20	43,04	36,68	39,73	3,12	4,45	3,79	4,10
(t ₂ p ₀)	25,56	21,88	23,78	22,38	2,64	2,26	2,46	2,31
T ₂ P ₁	51,62	49,21	44,12	43,99	5,33	5,08	4,56	4,54
T ₂ P ₂	55,43	68,27	61,91	61,78	5,73	7,05	6,39	6,38
(t ₃ p ₀)	68,64	66,17	68,07	67,94	7,11	6,83	7,03	7,02
T ₃ P ₁	76,91	81,43	74,43	74,30	7,94	8,41	7,69	7,67
T ₃ P ₂	101,06	111,93	99,85	99,72	10,44	11,56	10,31	10,30

QUADRO 6 - Resultados obtidos com o solo III

TRATAMENTO	e $\mu\text{g PO}_4^{-3} / 100 \text{ ml}$							
	Extrato obtido				Extrato corrig. de P_0			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ P ₀)	8,32	8,32	8,32	7,68	-	-	-	-
(t ₀ P ₁)	197,06	197,06	197,06	197,06	188,74	188,74	188,74	189,38
(t ₀ P ₂)	392,79	392,79	390,26	390,26	384,47	384,47	381,94	382,58
(t ₀ P ₃)	612,68	612,68	612,68	612,68	604,36	604,36	604,36	605,00
(t ₁ P ₀)	3,44	3,44	3,44	3,44	-	-	-	-
T ₁ P ₁	190,71	190,71	190,71	190,71	187,27	187,27	197,27	187,27
T ₁ P ₂	381,36	381,36	387,08	387,08	377,92	377,92	374,64	374,64
T ₁ P ₃	599,97	599,97	599,97	599,97	596,53	596,53	596,53	596,53
(t ₂ P ₀)	3,12	3,12	3,12	3,12	-	-	-	-
T ₂ P ₁	175,46	178,00	178,00	178,00	172,34	174,88	174,88	174,88
T ₂ P ₂	368,65	371,20	361,02	368,65	365,53	368,08	357,90	365,53
T ₂ P ₃	574,55	580,90	574,55	568,20	571,43	577,78	571,43	565,08
(t ₃ P ₀)	3,12	3,18	3,12	3,06	-	-	-	-
T ₃ P ₁	165,92	167,19	167,19	166,56	162,80	164,01	164,07	163,50
T ₃ P ₂	358,48	355,94	553,40	355,94	355,36	352,76	350,28	352,88
T ₃ P ₃	549,13	555,49	555,49	561,84	546,01	552,31	552,37	558,78

- c o n t i n u a -

QUADRO 7 - Resultados obtidos com o solo IV

TRATAMENTO	e $\mu\text{g PO}_4^{3-}$ / 100 ml							
	Extrato obtido				Extrato corrig. de P_0			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ P ₀)	3,87	3,87	3,87	3,87	-	-	-	-
(t ₀ P ₁)	100,47	103,64	103,00	103,00	96,60	99,77	99,13	99,13
(t ₀ P ₂)	254,26	254,26	254,26	254,26	250,39	250,39	250,39	250,39
(t ₀ P ₃)	399,15	399,15	399,15	399,15	395,28	395,28	395,28	395,28
(t ₁ P ₀)	2,17	2,17	2,17	2,17	-	-	-	-
T ₁ P ₁	91,57	94,11	94,11	94,11	89,40	91,94	91,94	91,94
T ₁ P ₂	207,23	207,23	208,50	208,50	205,06	205,06	206,33	206,33
T ₁ P ₃	355,60	338,14	339,41	339,41	333,43	335,97	335,07	335,07
(t ₂ P ₀)	2,04	2,04	2,04	2,04	-	-	-	-
T ₂ P ₁	70,60	72,50	72,50	72,50	68,56	70,46	70,46	70,46
T ₂ P ₂	165,29	166,56	166,56	169,10	163,25	164,52	164,52	167,06
T ₂ P ₃	287,30	277,14	272,05	272,05	285,26	275,10	270,01	270,01
(t ₃ P ₀)	2,10	2,10	2,04	2,04	-	-	-	-
T ₃ P ₁	59,16	59,16	58,52	58,52	57,06	57,06	56,48	56,48
T ₃ P ₂	129,70	130,97	130,97	130,34	127,60	128,87	128,90	128,50
T ₃ P ₃	218,67	223,75	223,12	223,12	216,57	221,65	221,08	221,08

- c o n t i n u a -

QUADRO 7 - Resultados obtidos com o solo IV (continuação)

TRATAMENTO	Quantidade relativa de fósforo fixado							
	e mg PO_4^{-3} / 10g de terra				mg P / 100g de terra			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ P ₀)								
(t ₀ P ₁)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ P ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ P ₃)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₁ P ₀)								
T ₁ P ₁	7,20	7,83	7,19	7,19	0,74	0,81	0,74	0,74
T ₁ P ₂	45,33	45,33	44,06	44,06	4,68	4,68	4,55	4,55
T ₁ P ₃	61,85	59,31	60,21	60,21	6,39	6,13	6,22	6,22
(t ₂ P ₀)								
T ₂ P ₁	28,04	29,31	28,67	28,67	2,90	3,03	2,96	2,96
T ₂ P ₂			85,87	83,33	9,00	8,87	8,87	8,61
T ₂ P ₃	110,02	120,18	125,27	125,27	11,36	12,41	12,94	12,94
(t ₃ P ₀)								
T ₃ P ₁	39,54	42,71	42,65	42,65	4,08	4,42	4,41	4,41
T ₃ P ₂	122,79	121,52	121,49	122,09	12,68	12,55	12,55	12,61
T ₃ P ₃	76,71	173,63	174,20	174,40	18,25	17,94	17,99	17,99

QUADRO 8 - Resultados obtidos com o solo V

TRATAMENTO	e $\mu\text{g PO}_4^{-3} / 100 \text{ ml}$							
	Extrato obtido				Extrato corrig. de P_0			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ P ₀)	14,67	14,67	13,40	14,07	-	-	-	-
(t ₀ P ₁)	101,74	101,74	101,74	101,74	87,07	87,07	88,34	87,67
(t ₀ P ₂)	226,93	230,11	231,38	231,38	212,26	215,44	217,98	217,31
(t ₀ P ₃)	390,26	390,26	392,80	390,26	375,59	375,59	379,40	376,19
(t ₁ P ₀)	2,73	2,67	2,67	2,67	-	-	-	-
T ₁ P ₁	81,40	82,67	82,67	82,67	78,67	80,00	80,00	80,00
T ₁ P ₂	180,54	181,75	181,75	181,75	177,81	179,08	179,08	179,08
T ₁ P ₃	326,70	326,70	333,06	333,06	323,97	324,03	330,39	330,39
(t ₂ P ₀)	2,04	2,04	2,17	2,17	-	-	-	-
T ₂ P ₁	69,96	68,69	69,33	69,33	67,92	66,65	67,16	67,16
T ₂ P ₂	152,58	158,93	156,39	158,93	150,54	156,89	154,22	156,76
T ₂ P ₃	269,51	277,14	269,51	278,41	267,47	275,10	267,34	276,24
(t ₃ P ₀)	2,55	2,55	2,29	2,29	-	-	-	-
T ₃ P ₁	57,25	55,98	54,71	54,71	54,70	53,43	52,42	52,42
T ₃ P ₂	129,70	129,70	134,78	134,78	127,15	127,15	132,49	132,49
T ₃ P ₃	211,04	212,32	212,32	213,59	208,49	209,77	210,03	211,30

QUADRO 8 - Resultados obtidos com o solo V (continuação)

TRATAMENTO	e $\mu\text{g PO}_4^{3-}$ / 10g de terra				mg P / 100g de terra			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ P ₀)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ P ₁)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ P ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ P ₃)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₁ P ₀)	8,40	7,07	8,34	7,67	0,87	0,73	0,86	0,79
T ₁ P ₁	34,45	36,36	38,90	38,23	3,56	3,76	4,01	3,95
T ₁ P ₂	52,63	51,56	49,01	45,80	5,33	5,33	5,06	4,73
(t ₂ P ₀)	15,33	16,60	21,18	20,51	1,58	1,71	2,19	2,12
T ₂ P ₁	61,72	58,55	63,76	60,55	6,38	6,05	6,59	6,25
T ₂ P ₂	108,12	100,49	112,06	99,95	11,17	10,38	11,58	10,33
(t ₃ P ₀)	28,55	29,82	35,92	35,25	2,95	3,08	3,71	3,64
T ₃ P ₁	87,11	88,29	85,49	84,82	9,00	9,12	8,83	8,76
T ₃ P ₂	167,10	165,82	169,37	164,89	17,26	17,13	17,50	17,03
T ₃ P ₃								

QUADRO 9 - Resultados obtidos com o solo VI

TRATAMENTO	e $\mu\text{g PO}_4^{-3} / 100 \text{ ml}$							
	Extrato obtido				Extrato corrig. de p_0			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ P ₀)	10,22	9,59	9,59	9,59	-	-	-	-
(t ₀ P ₁)	99,83	99,83	100,47	97,93	89,61	90,24	90,88	88,34
(t ₀ P ₂)	239,01	240,28	239,01	239,01	228,79	230,69	229,42	229,42
(t ₀ P ₃)	422,03	415,68	422,03	422,03	411,81	406,09	412,44	412,44
(t ₁ P ₀)	2,17	2,17	2,17	2,17	-	-	-	-
T ₁ P ₁	83,94	85,22	85,22	85,22	81,77	83,05	83,05	83,05
T ₁ P ₂	216,13	216,13	214,86	214,86	213,96	213,96	212,69	212,69
T ₁ P ₃	357,21	357,21	358,48	358,48	355,04	355,04	356,31	356,31
(t ₂ P ₀)	2,17	2,04	1,91	1,91	-	-	-	-
T ₂ P ₁	77,59	75,05	75,68	75,68	75,42	73,01	73,77	73,77
T ₂ P ₂	184,35	181,81	183,08	185,62	182,18	179,77	181,17	183,71
T ₂ P ₃	315,27	315,27	315,27	314,00	313,10	313,27	313,36	312,09
(t ₃ P ₀)	1,91	1,91	1,91	1,91	-	-	-	-
T ₃ P ₁	54,71	58,52	58,52	59,80	52,80	56,61	56,61	57,89
T ₃ P ₂	143,68	146,22	146,22	148,77	141,77	144,31	144,31	146,86
T ₃ P ₃	261,88	261,88	259,34	264,43	259,97	259,97	257,43	262,52

- c o n t i n u a -

QUADRO 9 - Resultados obtidos com o solo VI (continuação)

TRATAMENTO	Quantidade relativa de fósforo fixado							
	e $\mu\text{g PO}_4^{-3}$ / 10g de terra				mg P / 100g de terra			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
(t ₀ P ₀)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ P ₁)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ P ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₀ P ₃)	-	-	-	-	-	-	-	-
(t ₁ P ₀)	7,84	7,19	7,83	5,29	0,81	0,74	0,81	0,55
T ₁ P ₁	14,83	16,73	16,73	16,73	1,53	1,73	1,73	1,73
T ₁ P ₂	56,77	51,05	56,13	56,13	5,86	5,27	5,80	5,80
(t ₂ P ₀)	14,19	17,23	17,11	14,57	1,47	1,78	1,77	1,50
T ₂ P ₁	46,61	50,92	48,25	45,71	4,81	5,26	4,98	4,72
T ₂ P ₂	98,71	92,82	99,08	100,35	10,20	9,59	10,23	10,37
(t ₃ P ₀)	36,81	33,63	34,27	30,45	3,80	3,47	3,54	3,14
T ₃ P ₁	87,02	86,38	85,11	82,56	8,99	8,92	8,79	8,53
T ₃ P ₂	151,84	146,12	155,01	149,92	15,68	15,09	16,01	15,49

QUADRO 10 - Valores médios da quantidade relativa de fósforo fixado, em mg P/ 100g de terra

TRATAMENTO	S O L O					
	I	II	III	IV	V	VI
T ₁ P ₁	0,96	0,63	0,17	0,76	0,81	0,73
T ₁ P ₂	3,17	2,34	0,73	4,61	3,82	1,68
T ₁ P ₃	7,23	3,86	0,82	6,24	5,11	5,68
T ₂ P ₁	2,36	2,42	1,48	2,96	1,90	1,63
T ₂ P ₂	5,61	4,88	2,05	8,84	6,32	4,94
T ₂ P ₃	12,99	6,39	3,42	12,41	10,86	10,10
T ₃ P ₁	3,71	7,00	2,58	4,33	3,34	3,49
T ₃ P ₂	8,78	7,93	3,15	12,60	4,86	8,81
T ₃ P ₃	14,28	10,65	5,39	18,04	17,23	15,57

Pela comparação das médias, através do Teste de Tukey, ficou estatisticamente comprovado que apenas o solo IV conseguiu fixar uma quantidade relativa de fósforo superior à fixada pelo solo III (Quadro 18).

Dentre as equações de regressão obtidas, aquelas que descrevem o efeito quadrático de T dentro de P_2 e P_3 prestam-se para evidenciar a superioridade de um solo sobre o outro (Quadro 17). Ao se comparar o valor máximo das equações referentes aos solos III e IV com o das demais, observa-se que eles representam, respectivamente, os mais baixos (Solo III: 5,38 e 9,91) e os mais altos valores encontrados (Solo IV: 19,58 e 28,14).

A melhor explicação para o fato dos solos não terem reagido de igual modo aos tratamentos empregados baseia-se, sem dúvida, na diversidade de suas características.

Assim, constata-se que o solo III difere de modo bastante acentuado daquele que conseguiu superá-lo na quantidade relativa de fósforo fixado (Solo IV).

Já as características apresentadas pelo solo II assemelham-se bastante às encontradas para o de número III. Desse modo, os solos podzólicos figuram como os de mais baixo teor em fósforo total, matéria orgânica, Fe_2O_3 livre e acidez total (Quadro 3).

Comparando-se agora os teores de Fe_2O_3 livre verifica-se que enquanto o solo IV possui o mais alto teor desse composto, o solo III apresenta-se justamente com a mais baixa porcentagem. Além disso, o seu teor de argila é cerca de 7 vezes maior que o contido no solo III (Quadros 2 e 3).

Quanto ao solo Hidromórfico (Solo I) observa-se que ele figura como tendo o mais alto teor de fósforo solúvel ao mesmo tempo em que o seu teor de argila chega a superar os presentes nos solos IV e VI.

Dentre os Latossóis (Solos IV, V e VI) os dois primeiros são mais ácidos que o solo VI, conforme pode-se constatar através dos

valores para o pH, H^+ , Al^{+3} e acidez total (Quadro 3). Por outro lado, o solo V distingue-se pela maior porcentagem de matéria orgânica e por um teor de fósforo total equivalente à metade do conteúdo nos outros dois.

Na análise da variância para cada solo de per si foi pesquisado, ao nível de 5%, o efeito linear e o quadrático, tanto da concentração (P) dentro de cada período de incubação como do período (T) para cada concentração da solução tomada.

Numa tentativa para se estimar a capacidade relativa de fixação e a quantidade relativa do fósforo previamente fixado no solo - para os casos em que o efeito quadrático para P dentro de cada período de incubação não havia sido significativo - recorreu-se, sem êxito, ao emprego da Equação de Mitscherlich.

Considerando-se inicialmente o efeito quadrático de P dentro de um período de incubação de 2 horas (T_1), verificou-se que este não foi significativo para os solos II e III. Igual resultado foi encontrado ao se pesquisar este mesmo efeito para um tempo de contacto de 20 horas (T_2) com relação aos solos II, III e V, e com um tempo de contacto de 200 horas (T_3) para o solo I (Quadros 11, 12, 13 e 15).

Desse modo somente para os solos IV e VI foi significativo o efeito quadrático de P dentro de todos os três períodos de incubação observados. Por outro lado, apenas as equações de regressão obtidas para o solo IV (Efeito quadrático de P em T_1 , T_2 e T_3) e solo V (Efeito quadrático de P em T_1) admitem um máximo. Nas demais circunstâncias as curvas passam sempre por um mínimo (Quadro 17).

Quando as equações de regressão admitem um máximo este corresponde, invariavelmente, a um valor de P superior à maior dose empregada.

Conforme já foi citado, os resultados obtidos com o solo IV permitiram a obtenção de equações que apresentaram sempre um máximo (Quadro 17). Tais valores (6,30; 13,67 e 20,90) deixaram evidente que ao se aumentar o período de incubação de 2 para 20

ou de 20 para 200 horas, os acréscimos verificados na quantidade relativa de fósforo fixado foram praticamente constantes. E ainda, superaram o máximo (6,30) para T_1 .

Enquanto isso os valores de X que proporcionaram esses máximos foram mais elevados do que aquele representado por P_3 (1.500 ppm P). O ocorrido com o solo em questão sugere que numa outra oportunidade a maior dose de P deverá corresponder a uma concentração de, no mínimo, 2.500 ppm de P para a solução empregada.

Com relação ao efeito quadrático de T dentro de P constatou-se que o mesmo foi significativo para todas as doses de P (P_1 , P_2 e P_3) e em todos os solos (Quadros 11 a 16).

No Quadro 17 encontra-se o valor máximo atingido para cada caso. De acordo com esses valores, a quantidade relativa máxima de fósforo fixado seria alcançada, independentemente do solo ou da concentração da solução de fosfato monocálcico, com aproximadamente 60-70% do maior período de incubação observado.

QUADRO 11 - Análise da variância (Solo I)

Fonte de erro	SQ	GL	QM	F
E L P em T ₁	78,62	1	78,62	148,33
E L P em T ₂	225,89	1	225,89	426,20
E L P em T ₃	223,77	1	223,77	422,20
E Q P em T ₁	2,27	1	2,27	4,28
E Q P em T ₂	11,36	1	11,36	22,43
E Q P em T ₃	0,12	1	0,12	0,22
Tempo incub.	161,75	2	80,87	152,58
E L T em P ₁	12,26	1	12,26	23,13
E L T em P ₂	55,30	1	55,30	104,33
E L T em P ₃	55,78	1	55,78	105,24
E Q T em P ₁	2,87	1	2,87	5,41
E Q T em P ₂	8,12	1	8,12	15,32
E Q T em P ₃	57,11	1	57,11	107,75
Conc. da sol.	512,34	2	256,17	483,33
Resíduo	14,32	27	0,53	
Total	718,10	35		

F(5%) = 4,21 (GL=1) C.V. = 11,09%

QUADRO 12 - Análise da variância (Solo II)

Fonte de erro	SQ	GL	QM	F
E L P em T ₁	20,93	1	20,93	123,11
E L P em T ₂	31,52	1	31,52	185,41
E L P em T ₃	26,72	1	26,72	157,17
E Q P em T ₁	0,02	1	0,02	0,001
E Q P em T ₂	0,60	1	0,60	0,04
E Q P em T ₃	2,15	1	2,15	12,64
Tempo incub.	239,85	1	119,92	705,41
E L T em P ₁	83,10	1	83,10	488,82
E L T em P ₂	53,63	1	53,63	315,47
E L T em P ₃	86,25	1	86,25	507,35
E Q T em P ₁	3,18	1	3,18	18,70
E Q T em P ₂	8,99	1	8,99	52,88
E Q T em P ₃	7,91	1	7,91	46,52
Conc. da sol.	78,72	2	39,36	231,52
Resíduo	4,51	27	0,17	
Total	326,46	35		

F(5%) = 4,21 (GL=1) C.V. = 8,04%

QUADRO 13 - Análise da variância (Solo III)

Fonte de erro	SQ	GL	QM	F
E L P em T ₁	0,86	1	0,86	7,81
E L P em T ₂	7,51	1	7,51	68,27
E L P em T ₃	15,76	1	15,76	143,27
E Q P em T ₁	0,15	1	0,15	1,36
E Q P em T ₂	0,42	1	0,42	3,81
E Q P em T ₃	1,83	1	1,83	16,63
Tempo incub.	59,13	2	29,56	268,72
E L T em P ₁	9,06	1	9,06	82,33
E L T em P ₂	9,14	1	9,14	83,09
E L T em P ₃	31,55	1	31,55	286,61
E Q T em P ₁	2,65	1	2,65	24,09
E Q T em P ₂	2,63	1	2,63	23,99
E Q T em P ₃	10,34	1	10,34	94,00
Conc. da sol.	20,32	2	10,16	92,36
Resíduo	3,08	27	0,11	
Total	88,75	35		

F(5%) = 4,21 (GL=1)

C.V. = 14,94%

QUADRO 14 - Análise da variância (Solo IV)

Fonte de erro	SQ	GL	QM	F
E L P em T ₁	60,12	1	60,12	400,80
E L P em T ₂	178,60	1	178,60	1.190,60
E L P em T ₃	376,06	1	376,06	2.507,06
E Q P em T ₁	3,32	1	3,32	22,13
E Q P em T ₂	3,53	1	3,53	23,53
E Q P em T ₃	5,31	1	5,31	35,40
Tempo incub.	364,46	2	182,23	1.214,86
E L T em P ₁	18,29	1	18,29	121,93
E L T em P ₂	100,92	1	100,92	672,80
E L T em P ₃	222,10	1	222,10	1.480,66
E Q T em P ₁	7,70	1	7,70	51,33
E Q T em P ₂	26,66	1	26,66	177,73
E Q T em P ₃	56,69	1	56,69	377,93
Conc. da sol.	559,03	2	279,51	1.863,40
Resíduo	3,94	27	0,15	
Total	993,36	35		

F(5%) = 4,21 (GL=1)

C.V. = 4,91%

QUADRO 15 - Análise da variância (Solo V)

Fonte de erro	SQ	GL	QM	F
E L P em T ₁	36,98	1	36,98	369,80
E L P em T ₂	160,74	1	160,74	1.607,40
E L P em T ₃	385,59	1	385,59	3.855,90
E Q P em T ₁	1,96	1	1,96	19,60
E Q P em T ₂	0,01	1	0,01	0,11
E Q P em T ₃	4,93	1	4,93	49,30
Tempo incub.	260,40	2	130,20	1.302,00
E L T em P ₁	11,31	1	11,31	113,10
E L T em P ₂	43,17	1	43,17	431,70
E L T em P ₃	246,76	1	246,76	2.467,60
E Q T em P ₁	1,60	1	1,60	16,00
E Q T em P ₂	9,01	1	9,01	90,10
E Q T em P ₃	47,15	1	47,15	471,50
Conc. da sol.	491,70	2	245,85	2.458,50
Resíduo	2,57	27	0,10	
Total	853,28	35		

F(5%) = 4,21 (GL=1) C.V. = 4,86%

QUADRO 16 - Análise da variância (Solo VI)

Fonte de erro	SQ	GL	QM	F
E L P em T ₁	49,10	1	49,10	818,33
E L P em T ₂	143,40	1	143,40	2.390,00
E L P em T ₃	291,85	1	291,85	4.864,16
E Q P em T ₁	6,20	1	6,20	103,33
E Q P em T ₂	2,26	1	2,26	37,66
E Q P em T ₃	1,38	1	1,38	23,00
Tempo incub.	262,15	2	131,07	2.184,51
E L T em P ₁	14,92	1	14,92	248,66
E L T em P ₂	86,94	1	86,94	1.449,00
E L T em P ₃	169,21	1	169,21	2.820,16
E Q T em P ₁	0,95	1	0,95	17,50
E Q T em P ₂	14,90	1	14,90	248,33
E Q T em P ₃	26,95	1	26,95	449,16
Conc. da sol.	442,50	2	221,25	3.687,50
Resíduo	1,69	27	0,06	
Total	758,05	35		

F(5%) = 4,21 (GL=1) C.V. = 4,17%

QUADRO 17 - Equações de regressão obtidas (2º Grau)

Amos tra	Efeito considerado	Equação obtida (*)		Máximo		Mínimo	
		X	Y	X	Y	X	Y
I	E Q P em T1	0,00000370	-0,001130	0,6000		152,70	0,51
I	E Q P em T2	0,00000826	-0,005890	3,2400		356,53	2,19
I	E Q P em T3	(não foi significativo)					
I	E Q T em P1	-0,00035493	0,085586	0,7902	120,56	5,95	
I	E Q T em P2	-0,00059567	0,148660	2,8750	124,78	12,15	
I	E Q T em P3	-0,00157996	0,354759	6,5268	112,26	26,44	
II	E Q P em T1	(não foi significativo)					
II	E Q P em T2	(não foi significativo)					
II	E Q P em T3	0,00000358	-0,003510	7,8600		490,22	7,00
II	E Q T em P1	-0,00037373	0,107666	0,4161	144,04	8,17	
II	E Q T em P2	-0,00062710	0,154907	2,0326	123,51	11,60	
II	E Q T em P3	-0,00059034	0,153543	3,5552	130,04	13,54	
III	E Q P em T1	(não foi significativo)					
III	E Q P em T2	(não foi significativo)					
III	E Q P em T3	0,00000333	-0,003869	3,6799		579,34	2,56
III	E Q T em P1	-0,00033670	0,080185	0,0109	119,07	4,78	
III	E Q T em P2	-0,00033950	0,080802	0,5697	119,00	5,38	
III	E Q T em P3	-0,00067424	0,159277	0,5041	118,11	9,91	

(*) - Os números abaixo representam os parâmetros a, b, e c.

- c o n t i n u a -

Amos	Efeito con- siderado	Equação obtida (x)	Máximo		Mínimo	
			X	Y	X	Y
IV	E Q P em T1	-0,00000444	0,014360	-5,3100	1.617,11	6,30
IV	E Q P em T2	-0,00000462	0,018690	-5,2300	2.022,72	13,67
IV	E Q P em T3	-0,00000566	0,025030	-6,7700	2.211,13	20,90
IV	E Q T em P1	-0,00057884	0,134956	0,4924	116,57	8,36
IV	E Q T em P2	-0,00108136	0,258790	4,0967	119,65	19,58
IV	E Q T em P3	-0,00157210	0,377334	5,4915	120,01	28,14
V	E Q P em T1	-0,00000344	0,011180	-3,9200	1.625,00	5,16
V	E Q P em T2	(nao foi significativo)				
V	E Q P em T3	0,00002170	-0,029510	12,6700	679,95	2,64
V	E Q T em P1	-0,00025543	0,066395	0,6782	125,06	4,83
V	E Q T em P2	-0,00074244	0,155222	3,5125	104,53	11,63
V	E Q T em P3	-0,00143462	0,351006	4,4137	122,33	25,88
VI	E Q P em T1	0,00000610	-0,007250	2,8300	594,26	0,67
VI	E Q P em T2	0,00000370	0,001070	0,1700	-144,59	0,09
VI	E Q P em T3	0,00000288	0,006320	-0,3899	-1.097,22	-3,86
VI	E Q T em P1	-0,00020033	0,054407	0,6219	135,78	4,32
VI	E Q T em P2	-0,00080611	0,198845	1,2855	123,33	13,55
VI	E Q T em P3	-0,00108670	0,269462	5,1454	123,98	21,85

(x) - Os números abaixo representam os parâmetros a, b, e c.

QUADRO 18 - Análise da variância

Fonte de erro

Solos (Blocos)	153,17	4	38,29	9,29
Tratamentos	613,55	8	76,69	18,61
Resíduo	131,82	32	2,12	

$F(5\%) = 2,68$ (GL=4)

Teste de Tukey: d.m.s. (5%) = 4,10

Médias: Solo IV = 7,87

Solo V = 6,03

Solo VI = 5,85

Solo II = 5,12

Solo III = 2,20

5 - CONCLUSÕES

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

1. da maneira como foi obtida, a quantidade relativa de fósforo fixado prestou-se muito bem para a finalidade desejada;
2. os fatores estudados não agiram isoladamente;
3. excetuando-se o solo I que não pôde ser levado em conta na análise conjunta, apenas o de número IV conseguiu fixar uma quantidade relativa de fósforo superior à fixada pelo solo III;
4. não foi possível, em nenhum dos casos, atingir a quantidade relativa máxima de fósforo fixado com o emprego da maior dose de P (4 ml de uma solução contendo 1.500 ppm de P para 10g de terra);

5. foi obtido para todos os solos, independentemente da concentração da solução tomada, o máximo da quantidade relativa de fósforo fixado em um período de incubação inferior a T_3 (200 horas).

6 - RESUMO

Dentre os diversos fatores que interferem na quantidade de fósforo fixada pelo solo, procurou-se estudar o efeito do período de incubação e o do teor de fósforo de uma solução adicionada ao material a ser estudado.

Dos 6 solos utilizados apenas um é Hidromórfico; solo I (Série Três Municípios). Dois deles são Podzólicos; solos II e III (Séries Giboia e Ibitiruna), sendo Latossois os três últimos; solos IV, V e VI (Séries Iracema, Guamium e Luiz de Queiroz, respectivamente). Todos foram coletados na região de Piracicaba, Estado de São Paulo.

A partir de 4 períodos de incubação (0 - 2 - 20 e 200 horas) e de 4 concentrações para a solução de fosfato monocálcico empregada (0 - 500 - 1.000 e 1.500 ppm de P) obteve-se, mediante um esquema previamente estabelecido, o que foi denominado de quantidade relativa de fósforo fixado.

Tomou-se para cada tratamento o equivalente a 10g de TFSE que recebeu 4 ml. de uma solução de concentração conhecida. Findo o

período de incubação previsto para cada caso determinou-se o teor de fósforo no extrato obtido com uma solução 0,025N em H_2SO_4 e 0,05N em HCl.

As quantidades relativas de fósforo fixado, expressas em termos de mg de P por 100g de terra, foram submetidas a uma análise estatística onde constatou-se que:

1. da forma que foi obtida, a quantidade relativa de fósforo fixado revelou-se bastante útil para os fins deste trabalho;
2. os fatores estudados não atuaram isoladamente;
3. entre os solos de número II a VI apenas a quantidade relativa de fósforo fixada pelo solo IV superou a retida pelo solo III;
4. as concentrações da solução utilizada não foram suficientemente elevadas para proporcionar, dentro dos 3 períodos de incubação testados, uma quantidade relativa máxima de fósforo fixado;
5. com tão somente 60-70% do maior período de incubação ($T_3 = 200$ horas) seria atingida a quantidade relativa máxima de fósforo fixado.

7 - SUMMARY

Of the many factors conditioning phosphorus fixation by soil the effect of monocalcic phosphate solution concentration and time of contact between soil and solution were considered on this experiment.

Material under consideration was collected at Piracicaba region (State of São Paulo) and belong to three of the Great Soils Group, as shown below:

- Hydromorphic - Soil I (Três Municípios series)
- Podzolic - Soils II and III (Giboia and Ibitiruna series)
- Latosolic - Soils IV, V and VI (Iracema, Guamium and Luiz de Queiroz series)

Treatments consisted of four different incubation periods (0 - 2 - 20 - 200 hours) associated to increasing concentrations of monocalcic phosphate solutions (0 - 500 - 1.000 - 1.500 ppm P). / From data thus obtained and following a certain schema the evaluation of what was called relative quantity of fixed phosphorus became possible.

Experimental units containing the equivalent to 10 grams of oven-dry soil sample received 4 ml of varying solutions of monocalcic phosphate. At the end of each incubation period there followed the determination of extractable P with 0,025N H_2SO_4 and 0,05N HCl solution.

Statistical analysis of the relative quantities of fixed phosphorus (milligrams of P per 100 gm. of soil) allowed to conclude:

1. the relative quantity of fixed phosphorus - as it was obtained - answered the requirements of this work;
2. incubation period and concentration solution acted simultaneously;
3. from soils II to VI the IV showed to fix more phosphorus than soil III;
4. no used concentration solutions proved to be sufficiently high to afford the relative maximum quantity of fixed phosphorus;
5. just 60-70% of the longest incubation period observed ($T_3 = 200$ hours) would allow maximum relative quantity of fixed phosphorus.

8 - BIBLIOGRAFIA CITADA

1. AHMAD MOSTAFA, E.S. Movement of phosphorus in soils as influenced by chelates and soil types. Diss. Abst. 30(3): 937-938. 1969. (Original não consultado; Phosphorus in agriculture nº 55:81. 1970)
2. ANDRADE, S.S. de Gênese e classificação de solos de três catenas nos municípios de Piracicaba e Rio Claro. Tese Mestrado Piracicaba, E.S.A. "Luiz de Queiroz", 74 p. 1971. (Mimeografado)
3. BARROWS, H.L. & KILMER, V.J. Plant nutrient losses from soils by water erosion. Advances in Agronomy 15:303-316. 1963.
4. BASS, G.B. & SHIELING, H.D. Method for determining relative phosphate-fixing capacity of acid soils. Soil Sci. 69: 269-280. 1950.
5. BASU, S.N. et al. Solubility of added phosphates in a phosphate saturated soil. J. Indian Soc. Soil Sci. 20(1):7-11. 1972. (Original não consultado; Phosphorus in agriculture nº 51:57. 1972)

6. BASU, S.N. & MUKHERJEE, S.K. Phosphorus availability from different forms of iron, aluminum and calcium phosphates. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 17(4):391-397. 1969. (Original não consultado; *Phosphorus in Agriculture* nº57:24. 1971)
7. BOHN, H.L. & PEECH, M. Phosphatoiron (III) and phosphatoaluminum complexes in dilute solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33(6):837-876. 1969.
8. BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. Natureza e propriedades do solo. Trad. port. por Figueiredo, A.B.N.F^o. Rio de Janeiro, Programa de publicações didáticas da USAID, 1967. 594p.
9. CARVALHO, P. de C.T. et al. Solubilização quantitativa de fosfatos insolúveis, por algumas espécies dos gêneros Aspergillus e Penicillium. *Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"* 26:173-185. / 1969.
10. CATANI, R.A. Contribuição ao estudo dos fosfatos, sua dosagem, extração e distribuição nos solos do Estado de São Paulo. Tese inaug. ESALQ. Campinas, 65 p. 1947. (Mimeografado)
11. CATANI, R.A. & BATAGLIA, O.C. Formas de ocorrência do fósforo no Latossólico Roxo. *Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"* 25:99-119. 1968.
12. CATANI, R.A. & DA GLÓRIA, N.A. Evaluation of the capacity of phosphorus fixation by the soil through the isotopic exchange, using ³²P. *Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"* 21:230-237. 1964.
13. CAVALCANTI, F.J. de A. Efeito da calagem e da adubação fosfatada em um solo Podzólico Vermelho Amarelo. *Pesq. agropec. bras., Sér. Agron.* 7:81-85. 1972.
14. CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Solubility products of iron phosphate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21(3):265-269. 1957.

15. COLE, C.V. & JACKSON, M.L. Solubility equilibrium constant of dihydroxy phosphate relating to a mechanism of phosphate fixation in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 15:84-88. 1950.
16. COOKE, G.W. The control of soil fertility. London, Lockwood, 1967. 526 p.
17. DABIN, B. Méthode d'étude de la fixation du phosphore sur les sols tropicaux. *Coton et fibres tropicales* 25(3):289-310. 1970.
18. DEAN, L.A. Fixation of soil phosphorus. *Advances in Agronomy* 1:391-411. 1949.
19. DEBRECZENI, B. et al. Phosphorus uptake by oats studied with ^{32}P under various soil-water and nutrient conditions. *Supplement Agro-kém. Talajt.* 17:63-72. 1968. (Original não consultado; *Phosphorus in agriculture* nº 55:84. 1970)
20. ENGELSTAD, O.P. & ALLEN, S.E. Ammonium pyrophosphate and ammonium orthophosphate as phosphorus sources. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35(6):1002-1004. 1971.
21. ENSMINGER, L.E. & PEARSON, R.W. Residual effects of various phosphates as measured by yields, ^{32}P uptake, and extractable phosphorus. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21:80-84. 1957.
22. EVANS, T.D. & SYERS, J.K. An application of autoradiography to study the spacial distribution of ^{32}P -labelled orthophosphate added to soil crumbs. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35(6):906-909. 1971.
23. FRANCIK, J. & NEUBERG, J. Response of pasture to high rates of P fertilizers. *Soils and fertilizers* 35(4):369. 1972.
24. GOEDERT, W.J. et al. Formas de fósforo num Planossolo do Rio Grande do Sul e sua disponibilidade para a cultura do ar

- roz irrigado. *Pesq. agrop. bras., Sér. Agron.* 6:39-43. 1971.
25. HAGEMANN, O. et al. Possibilities of improving the P status of soils through the application of large amounts of phosphorus. *Arch. Acker. Pflanz. Bodenk.* 16(4/5):329-339. (Original não consultado; *Phosphorus in agriculture* nº 60: 86. 1972)
26. HAGEN, C.E. & HOPKINS, H.T. Ionic species in orthophosphate absorption by barley roots. *Plant Physiology* 30:193-199. 1955.
27. HAI, T. Van Phosphate uptake and root electrical potential. *J. Exp. Bot.* 22(73):830-836. 1971.
28. HAI, T. Van et al. Root electrical potential and P uptake of rice as determined by pH. *I.A.E.A. s.n.* 81-86. 1972. (Original não consultado; *Phosphorus in agriculture* nº 61: 66. 1973)
29. HALL, J.K. & BAKER, D.E. Phosphorus fixation by montmorillonite and vermiculite clays as influenced by pH and soluble aluminum. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:876-881. 1971.
30. HEMWALL, J.B. The fixation of phosphorus by soils. *Advances in Agronomy* 9:95-111. 1957.
31. HERNANDO, V. et al. Correlations between the active fraction of soil phosphorus and their availability to wheat. *Phosphorus in agriculture* nº 56:35-42. 1970.
32. HUDCOVA, O. & KOVAROVA, B. The sorption of phosphorus by clay minerals. *Rostl. Vyroba* 15:1067-1073. 1963. (Original não consultado; *Phosphorus in agriculture* nº 56:49. 1970)

33. HUFFMAN, E.O. Fertilizer-soil reactions and the phosphate status of soils. *Phosphorus in agriculture* nº 55:13-23. 1970.
34. HUSSAIN, A. & KYUMA, K. Charge characteristics of soil organo-mineral complexes and their effect on phosphate fixation. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 16(4):154-162. 1970. (Original não consultado; *Phosphorus in agriculture* nº 58:41. 1971)
35. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Rice fertilization; a six-year isotope study on nitrogen and P fertilizer utilization. *Tech. Rep. Ser. I.A.E.A.* nº 108:184. 1970. (Original não consultado; *Soils and fertilizers* 34(4):435. 1971)
36. IVANOVA, T.I. & SPIRIDOVSKAYA, S.V. Uptake of P by barley and effectiveness of applied phosphorus in relation to temperature, moisture content and agrochemical properties of soil. *Agrokimiya* 9:28-33. 1970. (Original não consultado; *Phosphorus in agriculture* nº 58:45. 1971)
37. JORGE, J.A. & VALADARES, J. Formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo. *Bragantia* 28:23-30. 1969.
38. KUO, S. & LOTSE, E.G. Kinetics of phosphate adsorption by calcium carbonate and Ca-kaolinite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36:725-729. 1972.
39. LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy* 19:151-207. 1967.
40. LEWIS, D.G. & QUIRK, J.P. Phosphate diffusion in soil and uptake by plants. *Plant and soil* 27(3):445-453. 1967.
41. LEWIS, E.T. & RACZ, G.J. Phosphorus movement in some calcareous and non-calcareous Manitoba soils. *Can. J. Soil Sci.* 43(3):305-312. 1969. (original não consultado; *Phosphorus in agriculture* nº 55:79. 1970)

42. LINDSAY, W.L. & MORENO, E.C. Phosphate phase equilibria in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24(5):117-182. 1960.
43. LOURENÇO, S. Absorção do fósforo por raízes destacadas de cevada (Hordeum vulgare) em presença de magnésio. Tese Mestrado Piracicaba, E.S.A. "Luiz de Queiroz", p. 1967. (Mimeografado)
44. LOW, P.F. & BLACK, C.A. Reactions of phosphate with kaolinite. *Soil Sci.* 70(4):273-290. 1950.
45. MAHTAB, S.K. et al. Phosphorus diffusion in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35(3):393-397. 1971.
46. MALAVOLTA, E. et al. Estudos sobre a fertilidade dos solos do cerrado; I Efeito da calagem na disponibilidade do fósforo (Nota prévia). *Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"* 22: 131-138. 1965. /
47. MANDAL, L.N. & DAS, R.K. Transformation of applied water soluble Phosphate in acid lowland rice soils. *Soil Sci.* 110(4):263-267. 1970.
48. MARRAIS, P.G. et al. Ability of different plant species to absorb phosphate. *Agrochemophysica* 2(1):7-12. 1970.
49. McAULIFE, C.D. et al. Exchange reactions between phosphates and soils; Hydroxylic surfaces of soil minerals. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 12:119-127. 1947.
50. McLEAN, E.O. & LOGAN, T.J. Phosphorus for plants grown in soils with differing phosphorus fixation tendencies. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34:907-911. 1970.
51. MELLO, F. de A.F. de Um método para avaliar a capacidade de fixação de fósforo pelo solo empregando o ^{32}P . *Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"* 27:347-352. 1970.
52. _____ . Determinação do nível crítico de fósfo

- ro do solo com auxílio do ^{32}P (Nota prévia). Anais da E. S.A. "Luiz de Queiroz" 27:353-357. 1970.
53. MELLO, F. de A.F. de et al. Eliminação de fósforo por sementes e raízes de plantas de arroz (Oriza sativa L., var. Batatais). Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz" 23:138-143. 1966.
54. MILLAR, C.E. Soil fertility. London, Chapman, 1955. 436 p.
55. MILLER, M.H. et al. Ammonium effects on phosphorus absorption through pH changes and phosphorus precipitation at the soil-root interface. Agr. Journal 62:524-527. 1970.
56. MOTSAR, M.R. & DADA, N.P. Rock phosphate as a fertilizer for direct application in acid soils. J. Indian Soc. Soil Sci. 19(1):107-113. 1971. (Original não consultado; Phosphorus in agriculture nº 59:55. 1972)
57. OMANWAR, P.K. & ROBERTSON, J.A. Movement of phosphorus to barley roots growing in soil. Can. J. Soil Sci. 50:57-64. 1969. (Original não consultado; Phosphorus in agriculture nº 50:56. 1970)
58. PATNAIK, S. et al. Nutrient availability and response to rice from N-P fertilizers. Phosphorus in agriculture nº 58:22-37. 1971.
59. PRATT, P.F. Química do solo; Curso intensivo. Trad. port. por Nascimento, A. & Vettori, L. Editado pelo Convênio Min. Agric./Div. Fert. Solo - USAID/Brasil, 1966. 88 p.
60. REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisols in Natal. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(2):263-267. 1970.
61. RICE Astrac. Ann. Rep. "Centro internacional de agricultura tropical". Colombia, pp. 27-34. 1969. (Original não

- consultado; Phosphorus in agriculture nº 59:65. 1972.
62. ROVIRA, A.D. & BOWEN, G.D. Translocation and loss of phosphate along of roots of wheat seedlings. *Planta* 93:15-25. 1970.
63. RUSSEL, E.J. Soil conditions & plant growth. 8th ed. London, Longmaus, 1950. 635 p.
64. SCHOFIELD, R.K. Can a precise meaning be given to "available" soil phosphorus? *Soils and fertilizers* 18(5):373-375. 1955.
65. SINCLAIR, A.G. Applications of anion exchange paper in soil phosphorus studies. *Soil Sci.* 112(3):167-172. 1971.
66. SINHA, M.K. Organo-metallic phosphates (III). *Plant and soil* 37:449-456. / 1972.
67. _____ . Organo-metallic phosphates (IV). *Plant and soil* 37:457-467. 1972.
68. SIPITANOS, K.M. The influence of root zone temperature on P nutrition of sugar beet seedlings. *J. Amer. Soc. Sugar Beet Technol.* 16(5):409-421. 1973. (Original nãoconsultado; Phosphorus in agriculture nº 61:84. 1973)
69. SREE RAMULU, U.S. & PRATT, P.F. Influence of various treatments on the dissolution of dicalcium phosphate in soils. *Soil Sci.* 109(3):186-189. 1970.
70. STANFORD, G. & DEMENT, Y.D. A method for measuring short - term nutrient absorption by plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21(6):612-617. 1957.
71. TAYLOR, A.W. et al. Precipitation of phosphate from ammonium phosphate solutions by iron and aluminum hydroxide. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29:317-320. 1965.

72. TISDALE, S.L. & NELSON, W. Soil fertility and fertilizers. 7th ed. New York, MacMillan, 1965. 430 p.
73. VERMA, K.S. Effect of soil compactation on P absorption and growth of corn. Indian J. Sci. Ind. Lect. 4(3/4):149-152. 1970. (Original não consultado; Phosphorus in agriculture nº 58:47. 1971)
74. VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro, 1965. 19 p. (Mimeografado)
75. WAUGH, D.L. & FITTS, J.W. Estudos para interpretação de análises de solo; de laboratório e de vasos. Boletim Técnico nº 3. International Soil Testing. 1966.
76. WILLIAMS, C.H. Reaction of surface-applied superphosphate with soil (I). Aust. J. Soil Res. 9(2):83-94. 1971.
77. _____ . Reaction of surface applied superphosphate with soil (II). Aust. J. Soil Res. 9(2):95-106. 1971.