

TRANSFORMAÇÕES DO FÓSFORO EM SOLOS ÁCIDOS
E SUA DISPONIBILIDADE PARA A CULTURA DE
ARROZ DE SEQUEIRO (*Oryza sativa* L.)

MOREL PEREIRA BARBOSA FILHO

Orientador: Prof. Dr. TOSHIKI KINJO

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Maio - 1986

*Esta tese é dedicada a
minha esposa FLÁVIA
e ao meu filho RÉGIS.*

*A meus pais, irmãos e a
família de minha esposa,
OFEREÇO.*

AGRADECIMENTOS

O autor é grato à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz, Feijão (CNPAF), pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas; a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), pelos ensinamentos e facilidades oferecidas.

Ao Professor Orientador, Dr. Toshiaki Kinjo, pela orientação constante e segura e amizade com que sempre me distinguiu; Dr. Takashi Muraoka, pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), pela valiosa colaboração e orientação nas análises do material vegetal; Dr. Bernardo Van Raij, do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) pela gentileza e realização das análises de fósforo pelo método da Resina; aos membros da banca examinadora, pelas sugestões e críticas ao trabalho; Dr. Luis Fernando Stone e sua esposa Sandra Maria Chaffe Stone, pela presteza dispensada durante todo período de realização do curso, na resolução de meus interesses particulares em Goiânia; Dr. Nand Kumar Fageria e Dr. José Francisco Valente Moraes, ambos pesquisadores do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz, Feijão (CNPAF), pela colaboração e apoio dispensados; ao programador do CIAGRI-CENA, Sr. Ariovaldo Miguel Carvalho, pela ajuda prestada durante as análises estatísticas dos dados.

O autor agradece ainda, ao Prof. Aldi de S.

França, da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Prof. Antonio C. Fachinello, da Universidade Federal de Pelotas, RS; Dr. Antonio Renes Lins de Aquino, pesquisador e Chefe Administrativo do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz, Feijão, Goiânia, GO; José Antonio da Silva, Extensionista da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Santa Catarina, Florianópolis, SC; José U. Fontoura, pesquisador da UEPAE de Dourados, Mato Grosso do Sul, MS; Prof. Lourival F. Cavalcante, da Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB; Prof. Sebastião A. de Oliveira, da Universidade de Brasília, Brasília, DF; e aos demais colegas pela amizade e convívio estudantil.

Agradeço finalmente, a minha querida esposa Flávia e a meu filho Régis, que além do carinho, incentivo e compreensão, colaboraram também para o êxito alcançado no curso.

O autor

INDICE

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	xi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	05
2.1. Reações dos fertilizantes fosfatados em solos ácidos	05
2.2. Disponibilidade e formas inorgânicas de fósforo nos solos	11
2.3. Eficiência comparada dos fosfatos solúveis e parcialmente acidulados	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Características dos solos e fosfatos usados nos experimentos	28
3.2. Incubação das amostras de solos	31
3.3. Instalação e condução dos experimentos em casa de vegetação	33
3.4. Métodos de extração de fósforo do solo	36
3.5. Análise do material vegetal	39
3.6. Análises estatísticas	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Formas de fosfatos inorgânicos	41

	Página
4.2. Fósforo "disponível"	49
4.3. Relação entre fósforo "disponível" e frações inorgânicas de fósforo	57
4.4. Resposta do arroz aos fatores estudados ...	62
4.5. Relação entre teores de fósforo no solo e resposta do arroz	70
4.6. Curvas de respostas ao superfosfato simples	80
4.7. Comparação do FAPS com o superfosfato triplo	83
5. CONCLUSÕES	88
6. LITERATURA CITADA	90
7. APÊNDICE	101

TRANSFORMAÇÕES DO FÓSFORO EM SOLOS ÁCIDOS E SUA DISPONIBILIDADE PARA A CULTURA DE ARROZ DE SEQUEIRO (*Oryza sativa* L.)

Autor: MOREL PEREIRA BARBOSA FILHO

Orientador: Prof. Dr. TOSHIAKI KINJO

RESUMO

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, com superfosfato triplo (SPT) e fosfato de Araxá parcialmente solubilizado (FAPS), em dois Latossolos com os objetivos de: (a) estudar as transformações de adubos fosfatados no solo, aplicados após diferentes épocas em relação à calagem; (b) estudar as relações entre as frações de fosfatos inorgânicos e os teores de fósforo "disponível" obtidos em diferentes extratores e (c) avaliar a eficiência do FAPS e do SPT como fontes de fósforo para arroz de sequeiro, em função do tempo de aplicação.

No primeiro experimento, amostras de solos com e sem calcário foram incubadas até 180 dias, nas quais, os fosfatos na dose de 200 ppm foram misturados de acordo com o tratamento e tempo de incubação: 180, 135, 90, 45 e 0 dias. Ao fim de 180 dias e imediatamente antes do plantio, procedeu-se a amostragem de solo para análise. Em seguida, trans-

feriu-se 2,5 kg de solo para vasos de barro e fez-se o plantio do arroz, cultivar IAC-165.

Os tratamentos consistiram de combinações de dois solos, dois fosfatos, dois níveis de calcário (ausência de quantidade suficiente para elevar o pH a 6,5) e cinco períodos de incubação. O fracionamento de P do solo, P "disponível" em quatro extratores (Mehlich, Olsen + EDTA, Bray-1 e Resina) e a produção de matéria seca e P absorvido foram utilizados como parâmetros de avaliação.

O segundo experimento foi instalado com objetivo de obter curvas de resposta do arroz ao SPT em cada solo, com e sem calcário. Com base nas equações de regressão que descreveram as curvas de resposta e na produção de matéria seca da parte aérea, calcularam-se as equivalências ao SPT dos dois fosfatos para cada período de incubação. As doses de P usadas foram 0, 50, 100, 150 e 200 e 250 ppm.

Quando se considera o efeito dos dois fosfatos, da calagem e dos tempos de incubação estudados no presente trabalho, os teores de fosfatos inorgânicos decrescem na seguinte ordem: $P\text{-Fe} > P\text{-Ca} > P\text{-Al} > P\text{-NH}_4\text{Cl}$ para o Latossolo Vermelho Amarelo (LVd) e $P\text{-Fe} \approx P\text{-Al} > P\text{-Ca} > P\text{-NH}_4\text{Cl}$ para o Latossolo Vermelho Escuro (LEd). Dependendo do tipo de solo, a calagem altera diferentemente os teores das frações de P do solo. No LVd, há aumento dos teores de $P\text{-NH}_4\text{Cl}$ e $P\text{-Ca}$, ao passo que no LEd ocorre uma redução nos teores de $P\text{-Al}$, um aumento dos teores de $P\text{-NH}_4\text{Cl}$ e nenhuma alteração nos teores

de P-Fe e P-Ca. Com adição de SPT aos dois solos, os teores de P-NH₄Cl, P-Al e P-Fe são significativamente maiores, comparados ao FAPS. A adição desse último fosfato aumenta os teores de P-Ca, em ambos os solos. As quantidades das diversas frações de P não variam com o tempo de incubação das amostras de solos, dentro do período estudado de 45 a 180 dias.

Independentemente da calagem, em solos adubados com SPT as soluções de Mehlich, Olsen + EDTA e Bray-1 extraem fósforo predominantemente das frações P-NH₄Cl e P-Fe. Quando se aduba com FAPS, essas soluções extraem mais fósforo das frações P-Ca e P-Fe. Essas relações também se verificam com a resposta da planta. Com o aumento do tempo de incubação há uma diminuição dos teores de P "disponível" extraídos com Olsen + EDTA, Bray-1 e Resina. O mesmo ocorre com relação às variáveis de planta consideradas, havendo um rápido decréscimo na produção de matéria seca, concentração de P e P acumulado na parte aérea, sendo que os maiores valores são obtidos quando se efetua o plantio imediatamente após a aplicação dos fosfatos.

A equivalência dos dois fosfatos ao SPT diminui à medida que aumenta o tempo de incubação, tendo sido a do FAPS sempre menor em todos os períodos de incubação, principalmente em solos que recebem calcário, exceto no LVd quando o FAPS é aplicado no tempo zero.

A eficiência agrônômica do FAPS comparada à do SPT varia com o tempo de incubação, apresentando no tempo ze-

ro, uma eficiência superior a do SPT. Entretanto, quando se considera todos os períodos de incubação, o FAPS é inferior ao SPT, principalmente quando se faz calagem.

PHOSPHORUS TRANSFORMATIONS IN ACID SOIL, AND ITS AVAILABILITY
TO UPLAND RICE (*Oryza sativa* L.) CROP.

Author: MOREL PEREIRA BARBOSA FILHO

Adviser: Prof. Dr. TOSHIAKI KINJO

SUMMARY

Transformations of triple superphosphate (SPT) and partially solubilized Araxa rock phosphate (FAPS) in two latosols under Cerrado vegetation were studied, in two experiments carried out in greenhouse. The objectives were to quantify and correlate the content of inorganic forms of phosphorus with the content of "available" phosphorus obtained in different extractants, to verify the effect of reaction time of phosphates with the soil and to evaluate the efficiency of FAPS as source of phosphorus to the upland rice crop.

In the first experiment, soil sample with and without lime were incubated for 180 days, in which phosphates had been mixed at the rate of 200 ppm of P according to the incubation period: 180, 135, 90, 45 and 0 days. At the end of incubation period and immediately prior to the seeding, soil samples were collected for analysis; 2.5 kg of soil were transferred to the ceramic pots and rice, IAC-165 cultivar, were sown.

The treatments consisted of combinations of two soils, two rates of lime (without and amount enough to raise the pH to 6.5) and five incubation time. The soil P fractionation, "available" P determined by four extractants (Mehlich, Olsen + EDTA, Bray-1 and Resin), the dry matter yield and the absorbed P were utilized as the evaluating parameters.

The second experiment was carried out with the objective of obtaining the response curve of rice to SPT in each soil, with and without liming. Based on the regression equations of response curves and on the dry matter yields of above ground parts, the equivalencies of two phosphates to SPT for each incubation time were calculated. The rates of P used were 0, 50, 100, 150, 200 and 250 ppm P.

Considering the effect of the two phosphates, liming and incubation time used in this work, the content of inorganic phosphates decrease in the following sequence $P\text{-Fe} > P\text{-Ca} > P\text{-Al} > P\text{-NH}_4\text{Cl}$ in the Red Yellow Latosol (LVd) and $P\text{-Fe} \approx P\text{-Al} > P\text{-Ca} > P\text{-NH}_4\text{Cl}$ for Dark Red Latosol (LEd). Depending on the soil type, liming alters unevenly the content of the different fractions of soil P. There is an increase in the $P\text{-NH}_4\text{Cl}$ and $P\text{-Ca}$ content in the LVd, while in the LEd occurs a reduction in the $P\text{-Al}$ contents, an increase in the $P\text{-NH}_4\text{Cl}$ content and no alteration in the $P\text{-Fe}$ and $P\text{-Ca}$ content. With the addition of SPT, significantly higher content of $P\text{-NH}_4\text{Cl}$, $P\text{-Al}$ and $P\text{-Fe}$ are obtained in

both soils, compared to FAPS. The addition of this phosphate (FAPS), increases the content of P-Ca form, in both soils. The amounts of different P fractions extracted are not affected by incubation time, from 45 to 180 days.

In the soils fertilized with SPT, irrespective of the liming, the Mehlich, Olsen + EDTA and Bray-1 solutions extract P predominantly from P-NH₄Cl and P-Fe fractions. When fertilized with FAPS, these solutions extract more P from P-Ca fractions. These relations are also observed in the plant response.

With increasing incubation time there is a decrease in the "available" P contents extracted with Olsen+ EDTA, Bray-1 and Resin. The same occurs with regard to the plant variables considered, in which there is a sharp decrease in dry matter yield, P content and P stored in the above ground part, the highest values being obtained when the sowing is done immediately after the application of phosphates.

The equivalency of the two phosphates to SPT decreases with increasing incubation time, being always FAPS equivalency lower at all incubation times, mainly in the limed soils, except in LVd when the FAPS is applied in time zero.

The agronomic efficiency of FAPS compared to SPT's varies inconsistently with incubation time, presenting at time zero an higher efficiency than the SPT's one. However,

considering all the incubation times, the FAPS is less effective than SPT, mainly in the treatments with lime.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de cultivo do arroz predominante no Brasil é o de sequeiro. Aproximadamente 70% da produção é proveniente de regiões centrais, abrangendo grande parte dos Estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A maior parte destas regiões, no entanto, está localizada em solos de cerrado, cuja produtividade está limitada por problemas de deficiências de alguns nutrientes, entre eles, o fósforo.

Os altos investimentos iniciais, com adubação fosfatada, tem dificultado a exploração efetiva do potencial dos solos de cerrado, pois a correção da deficiência de fósforo se faz normalmente, pela aplicação de fosfatos altamente solúveis, como os superfosfatos simples, triplo e de amônio, de elevado custo para o produtor. Estes fertilizantes ao se dissolverem em água, transformam-se em ácido fosfórico e fosfatos ácidos de cálcio. Essa solução ácida que se forma no

local de aplicação do fertilizante exerce um efeito marcante na disponibilidade de fósforo para as plantas, uma vez que o H_3PO_4 produzido concorre para a dissolução dos óxidos de Fe, Al e Mn, acelerando o processo de fixação de fósforo. Em razão disso, a adubação fosfatada é uma prática indispensável para a obtenção de altas produtividades.

Algumas das medidas mais conhecidas para reduzir a fixação de fósforo, baseiam-se na prática da calagem e na utilização de fósforo "in natura" ou parcialmente acidulado como fontes de fósforo, de modo a prolongar a sua liberação para as culturas. Os fosfatos parcialmente acidulados reagem bem nos solos ácidos e deficientes em fósforo, apresentando uma eficiência muito próxima a dos fosfatos monocálcicos, quanto aos seus efeitos sobre o solo e a planta, conforme demonstram os estudos realizados por FERREIRA & KAMINSKI (1979); MALAVOLTA et alii (1981); NAKAYAMA (1982); FREIRE et alii (1983); NOVAES et alii (1983); BARBOSA FILHO et alii (1983). Entretanto, os resultados destes trabalhos não são definitivos quanto a sua real aplicação agronômica, sendo, portanto, necessários maiores estudos para responder a muitas indagações notadamente sobre o efeito do tempo de contato dos fosfatos naturais parcialmente acidulados com o solo e sua eficiência na presença e na ausência de calagem. Estas questões ainda permanecem sem resposta, conquanto, já as conhecem para os fosfatos naturais aplicados em diferentes solos.

Outro problema muito comum, quando do uso de

diferentes fontes de fosfatos, é a escolha de extratores que estimam com certo grau de precisão o fósforo do solo que as plantas são capazes de absorver. Por exemplo, os métodos químicos convencionais de análise de P, selecionados através de estudos de correlação significativa com os rendimentos das culturas, não levam em consideração as formas inorgânicas de P nos solos que mais contribuem para o P da solução do solo, ou seja, para o P "disponível" às plantas. Esta falta de seletividade dos extratores na dissolução dos fosfatos do solo tem levado a uma variação dos resultados de análise do fósforo residual e nativo "disponível" para as plantas. Vários experimentos com fracionamento de fósforo mostram que a maior porção dos fosfatos adicionados em solos ácidos, são extraídos, depois de algum tempo, sob a forma de fosfatos de Fe e Al (CHANG e JACKSON, 1958; SMITH, 1969; BRAGA e DEFELIPO, 1972a). Isto sugere que um extrator com tendência de dissolução seletiva para fosfatos de Fe e Al, fornece uma boa avaliação de fósforo "disponível" em solos ácidos.

Portanto, o conhecimento dessas formas de fósforo, relacionadas com o fósforo "disponível" obtido pelos extratores é importante porque permite identificar as formas extraídas preferencialmente em determinado solo e, conseqüentemente, escolher um método mais adequado para uma área particular. Obviamente, a quantidade extraída de fósforo deve ser correlacionada com o crescimento ou absorção de fósforo pela planta.

Admitindo-se a hipótese de que a disponibilidade de fósforo para as plantas esteja relacionada ao tempo de contato fosfato-solo e aos produtos da reação dos fosfatos com o solo, entendeu-se que é possível através da incubação de amostras de solo com fosfatos, na presença e na ausência de calagem e usando diferentes extratores de fósforo, estudar as transformações que ocorrem no solo de duas fontes de fósforo, superfosfato triplo e fosfato de Araxá parcialmente solubilizado.

Este trabalho teve os seguintes objetivos: (a) estudar as transformações de adubos fosfatados no solo, aplicados após diferentes épocas em relação à calagem; (b) estudar as relações entre os teores de formas inorgânicas de fósforo e os teores de fósforo "disponível" obtidos em diferentes extratores; (c) avaliar sob casa de vegetação, a eficiência do fosfato de Araxá parcialmente solubilizado e do superfosfato triplo como fonte de fósforo para arroz de sequeiro, em função do tempo de aplicação.

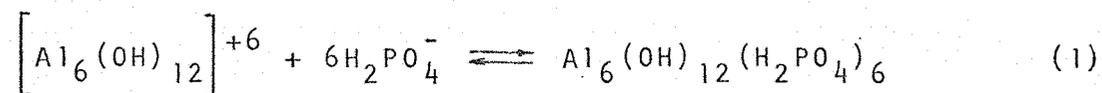
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. REAÇÕES DOS FERTILIZANTES FOSFATADOS EM SOLOS ÁCIDOS

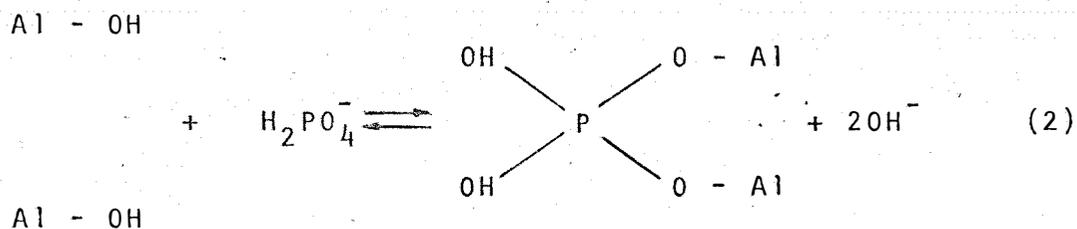
Os íons fosfatos liberados pela dissolução de fertilizantes solúveis, adicionados como adubos não permanecem estáveis no solo, passando à formas menos solúveis através de sua reação com os minerais do solo. Em solos ácidos, este fenômeno assume grande importância, já que grande parte dos fertilizantes fosfatados aplicados reage com os óxidos hidratados de Fe e Al, existentes em grandes quantidades nos solos, reduzindo, a teores mínimos o fósforo disponível para as plantas.

Dois tipos de reações que causam a retenção dos íons fosfato foram apresentados por COLEMAN et alii (1960); LINDSAY et alii (1962); HSU (1965) e PARFITT et alii (1975). A primeira é a precipitação de fosfatos de baixa solubilização do tipo $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e outros compostos crista-

lizados ou amorfos que se formam como resultado da reação do fosfato monocálcico com Fe e Al existentes na solução do solo, conforme a reação (1) sumarizada abaixo:



A segunda reação representa a adsorção, em que o fósforo entra em coordenação com os íons Fe e Al nas superfícies das argilas e dos óxidos, assim como ocorre nas reações de troca. A adsorção pode ser representada pela equação (2) como segue:



LINDSAY et alii (1962) identificaram aproximadamente trinta compostos de fósforo precipitados como produtos da reação de fertilizantes fosfatados com o solo. A natureza dos produtos da reação solo-fosfato depende, sobretudo, das condições de acidez durante a dissolução do fertilizante. No caso do superfosfato, o fosfato monocálcico monohidratado é transformado em fosfato dicálcico dihidratado ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou ainda (CaHPO_4), dependendo do teor de umidade do solo, e subsequente liberação de H_3PO_4 , resultando numa solução sa-

turada de H_2PO_4^- (pH \approx 1,5) no local de aplicação do fertilizante, de acordo com a seguinte reação:



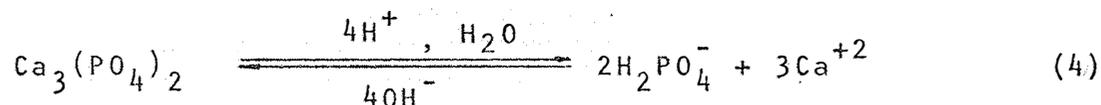
O fosfato dicálcico, embora, seja menos solúvel do que o monocálcico, reage com os compostos de Fe e Al em condições ácidas, resultando na adsorção e precipitação do fósforo como descritas anteriormente. Estes mecanismos tem grande influência na disponibilidade de fósforo aplicado nos latossolos sob vegetação de cerrado que apresentam, em geral, pH baixo e grandes quantidades de óxidos de Fe e Al. Conseqüentemente, a caracterização dos fosfatos formados e o conhecimento de suas propriedades são de muita importância por representar fontes secundárias de fósforo para as plantas.

Basicamente, os fertilizantes fosfatados diferenciam-se de acordo com sua solubilidade em H_2O , em solúveis, pouco solúveis e insolúveis, sendo os mais comuns os superfosfatos, termofosfatos e fosfatos naturais, respectivamente. Mais recentemente, desenvolveu-se nas indústrias nacionais, um processo que consiste no menor uso ($\approx \frac{1}{3}$) de ácido que é exigido para converter todo fosfato de rocha fosfatada para superfosfato. Como resultado desse processo, surgiu no mercado brasileiro os fosfatos parcialmente acidulados, de solubilidade em citrato intermediária entre os superfosfatos e fosfatos naturais. Desse modo, é possível que os fosfatos na

turais parcialmente acidulados quando aplicados em solos ácidos, produzem reações que levam a uma diminuição da velocidade de dissolução do fertilizante, de modo a prolongar a liberação de fósforo para as plantas.

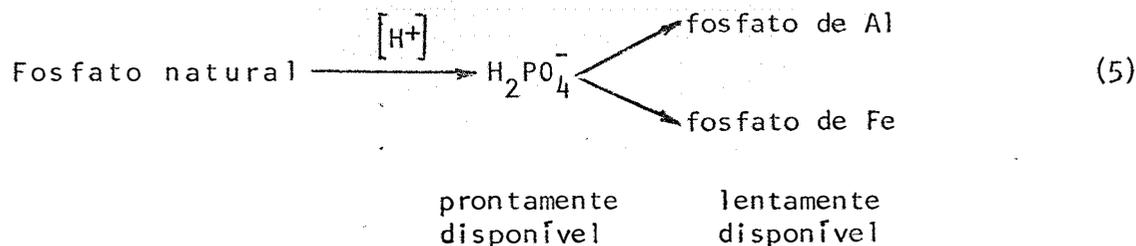
De fato, os resultados experimentais a nível de campo e condições controladas tem confirmado esta hipótese. Segundo ASHBY et alii (1966), o efeito favorável dos fosfatos de rocha parcialmente acidulados se deve a um suprimento inicial adequado de fósforo solúvel para ótimo crescimento das plantas, e ao H_3PO_4 produzido pela hidrólise do fosfato monocálcico que reage com rocha fosfatada não tratada do fosfato parcialmente acidulado, aumentando a disponibilidade de fósforo. A baixa acidez produzida no solo pelo fosfato parcialmente acidulado resulta em uma menor atividade dos ions Fe e Al e, por conseguinte, numa menor fixação de fósforo disponível comparado ao superfosfato.

Ao contrário dos fosfatos solúveis em H_2O , e possivelmente dos fosfatos de rocha parcialmente acidulados, a eficiência dos fosfatos naturais tem sido menor quando se faz a correção da acidez do solo através da calagem. Isto pode ser esperado, considerando-se que os fosfatos naturais representados pela fluorapatita se decompõe em meio ácido para formar fosfato monocálcico e outros compostos solúveis. De forma simplificada, o fosfato natural pode ser representado pelo fosfato tricálcico e a reação que ocorre no solo é a seguinte:



O calcário, além de deslocar o equilíbrio da reação para a esquerda, eleva o pH e adiciona ions Ca^{+2} à solução. Deste fato, decorre que os fosfatos naturais certamente serão mais eficientes se aplicados em solos ácidos, e com certa antecedência em relação a calagem (VOLKWEISS e RAIJ, 1976; GOEDERT e LOBATO (1980); CANTARUTTI et alii (1981).

De acordo com CHU et alii (1962), o mecanismo da dissolução dos fosfatos naturais em solos ácidos pode ser ilustrado pela reação:



Os ions H_2PO_4^- , uma vez presentes na solução do solo são precipitados pelos cátions Fe^{+3} e Al^{+3} ou adsorvidos pelos óxidos ou hidróxidos de Fe e Al existentes em grandes quantidades em solos ácidos. É interessante considerar que parte do fósforo adsorvido é liberado para a solução do solo. É uma questão de tempo.

Os ions H^+ são produzidos principalmente pela hidrólise do Al e a proporção de fosfatos de Fe e Al formados dependerá da quantidade relativa de cada um existente no

solo. Outros fatores do solo que afetam a eficiência dos fertilizantes fosfatados incluem os teores de argila e matéria orgânica. Solos com semelhantes mineralogia de argila retêm mais fósforo com um aumento no seu teor de argila (LOPES, 1983).

A matéria orgânica tem influência através da sua decomposição em ácidos orgânicos e húmus, os quais formam complexos de Fe e Al, imobilizando-os e conseqüentemente, reduzindo a adsorção do $H_2PO_4^-$, além da formação de complexos fosfóricos, nos quais a disponibilidade do fósforo é aumentada (MALAVOLTA, 1976).

Quanto ao tempo de reação dos fosfatos com o solo, pesquisadores como CHIEN (1977); BRAGANÇA (1979); NOVAIS *et alii* (1980), CABALA e SANTANA (1983) e NOVELINO *et alii* (1985) tem demonstrado que, embora haja uma maior solubilização dos fosfatos naturais com o tempo de contato com o solo, essa reação nem sempre conduz a uma maior disponibilidade do fósforo para as plantas. Esses autores verificaram decréscimos na produção de matéria seca e fósforo absorvido pelas plantas, quando ocorreu o maior tempo de contato dos fosfatos naturais com o solo. A justificativa de BRAGANÇA (1979); NOVAIS *et alii* (1980) e de NOVELINO *et alii* (1985) para o menor aproveitamento pelas plantas, de fósforo liberado dos fosfatos é que os compostos formados no solo apresentavam, com o decorrer do tempo, menor disponibilidade de fósforo.

Outros autores, entretanto, trabalhando em condições de campo e casa de vegetação verificaram o contrário, que a disponibilidade de fósforo para as plantas, provenientes de várias fontes de fosfato, aumentou com o tempo de reação entre fosfato e o solo, tendo como referência o superfosfato (YOST et alii, 1975; SOUZA, 1977; CABALA e WILD, 1982 e GOEDERT e LOBATO (1984). A divergência dos resultados é atribuída por NOVELINO et alii (1985) ao critério utilizado para avaliar o efeito do tempo sobre a solubilidade e disponibilidade dos fosfatos. Além desse, outros fatores como espécie de planta, tipo de solo e, sobretudo, os produtos da reação solo-fertilizante, podem influenciar a disponibilidade de fósforo. Como as plantas absorvem o fósforo da solução do solo que está em equilíbrio como o fósforo da fração lábil, pode-se prever que quanto mais lenta for a passagem de fósforo da fração lábil para fração não lábil, maior será a capacidade do solo em suprir fósforo para as plantas.

2.2. DISPONIBILIDADE E FORMAS INORGÂNICAS DE FÓSFORO NOS SOLOS

O fósforo adicionado ao solo na forma de fertilizantes, dá origem a três frações de P muito importantes do ponto de vista nutricional. Uma fração denominada de P da solução, representa o dissolvido na fase líquida do solo nor-

malmente encontrado em concentrações muito baixas, da ordem de 0,1-1 ppm (LARSEN, 1967). A maior parte do P passa para a fase sólida, onde fica em parte como P lábil e o restante como P não lábil, que em função do tempo pode ser liberado muito lentamente e passar para a solução do solo. Portanto, a capacidade de um solo em suprir P para as culturas é determinada não somente pelo valor absoluto da concentração de P na solução do solo (fator intensidade), mas também pela capacidade de reposição do P da solução extraído pelas culturas (fator capacidade). Esta capacidade do solo em manter constante uma certa concentração de P na solução é influenciada por diversas propriedades do solo, entre as quais as formas químicas de fósforo presentes no solo.

Basicamente, o P encontra-se no solo associado à matéria orgânica (forma orgânica) e fazendo parte de compostos inorgânicos bastante insolúveis (forma inorgânica). A proporção dessas duas formas de P é muito variável, podendo o fósforo orgânico representar mais da metade de teor total na camada arável (CABALA e FASSBENDER, 1970). O P orgânico, embora, não esteja diretamente relacionado com a sua disponibilidade para as plantas, pode ser importante para a nutrição das plantas cultivadas em solos tropicais recém desmatados, devido à rápida decomposição da matéria orgânica. As formas inorgânicas de fósforo são, em geral, as que representam interesse direto para a nutrição das plantas, podendo ser agrupadas nas formas de fósforo de alumínio (P-Al), fósforo de

ferro (P-Fe), fosfato de cálcio (P-Ca) e fosfatos oclusos de ferro e alumínio.

As formas inorgânicas de P mais conhecidas em solos ácidos são as de P ligado a Fe e Al representados pela strengita e variscita, respectivamente. A transformação de uma forma de fosfato em outra é controlada principalmente pelo pH do solo. Assim que os solos tornam-se mais ácidos, a atividade do Fe e Al aumenta e as formas mais solúveis de P-Ca são convertidas para P-Al e P-Fe (CHANG e JACKSON, 1958; BACHE, 1963).

No estudo das transformações e separação dessas formas de P no solo, tem sido utilizados dois processos, a extração seletiva por vários reagentes, conhecido como fracionamento de fósforo por CHANG e JACKSON (1957), e o produto de solubilidade ou mais à rigor, atividade (LINDSAY e MORENO, 1960). O princípio do método de CHANG e JACKSON (1957) para fracionamento do P inorgânico, baseia-se na solubilidade seletiva das soluções de NH_4F a 0,5N a pH 7,0, NaOH 0,1N e H_2SO_4 0,5N, e as frações de fósforo extraídas são denominadas, respectivamente de P-Al, P-Fe e P-Ca. Entretanto, de acordo com LINDSAY e McLEAN (1961) e MIYAKE *et alii* (1984) e considerando solos em que foi adicionado fósforo, não significa que os teores de cada fração pelos citados extratores correspondem exatamente às formas de fósforo descritas por CHANG e JACKSON (1957), tendo em vista que o fósforo participa de numerosos complexos fosfóricos e, provavelmente, os reagentes poderão não

ser totalmente seletivos para cada fração de P, isto é, um reagente poderá simultaneamente estar dissolvendo, também, uma pequena fração de outras formas de fósforo. Entretanto, esta técnica de fracionamento do fósforo do solo, tem sido amplamente utilizada nos estudos sobre o comportamento químico do fosfato em diferentes solos, devido a simplicidade do processo e, também a possibilidade de conhecer a causa da deficiência desse elemento e prever a resposta das culturas à adubação fosfatada.

Do ponto de vista de disponibilidade, o P total tem pouco significado para as plantas, pois depende da forma em que o fósforo se encontra no solo. De acordo com o trabalho de CHANG e JACKSON (1957), em latossolo, o P-Fe foi encontrado representando mais de 80% do P-total. JORGE e VALADARES (1969) determinaram as formas em que se encontra o P nativo de dez solos importantes, do Estado de São Paulo, e concluíram que a maior parte do P-total acha-se ligada ao ferro, com exceção da Terra Roxa Estruturada que apresentou alto teor de P na forma mais facilmente aproveitável, isto é, o P-Ca.

SMITH (1969), mediante extensa revisão bibliográfica, demonstrou que nos fracionamentos de P em solos ácidos, as formas predominantes obedecem a sequência seguinte: P-redutível* > P-Al > P-Fe > P-Ca. Concluiu ainda, que quando se aplica P solúvel ocorre inicialmente a forma de P-Al, diminuindo com o tempo a medida que aumenta as formas de P-Fe e

* Solúvel em ditionito de sódio.

P-ocluído. Nos solos recentemente adubados todas as formas de P podem ser utilizadas pelas plantas.

CABALA e FASSBENDER (1970) fracionaram o P-total de 54 amostras correspondentes a 8 solos representativos da região cacauzeira da Bahia, e concluíram que a deficiência generalizada de fósforo na região está associada a predominância de P-Fe (24,8%) e fósforos inativos, ou seja, P-solúvel redutível e P-ocluído (39,5%). O P-Ca e P-Al representam apenas 9,5% e 2,0%, respectivamente, do P-total.

BRAGA e DEFELIPO (1972a) encontraram para amostras superficiais, de Latossolo Vermelho Escuro, coletado em nove locais do Triângulo Mineiro, que a fração de P inorgânico presente em maior quantidade é a solúvel em redutor, seguindo-se a ligada a ferro (P-Fe), a cálcio (P-Ca) e, por último a ligada a alumínio (P-Al).

ALMEIDA NETO (1979) estudou o destino do P aplicado na forma de superfosfato em 10 unidades de solos do Estado de Goiás, com características diversas, observando uma uniformidade da distribuição, em concentração, das diferentes frações de P nos solos, apresentando em 5 solos a seguinte sequência: P-redutível > P-Fe > P-Ca > P-Al > P-solúvel, e em outros 5 solos observou-se apenas uma inversão passando o P-Ca a ser maior que o P-Fe. Portanto, a quase totalidade dos resultados concordam com a afirmação de CHANG e JACKSON (1957) de que em solos altamente intemperizados ocorre uma predominância de P-Fe e de formas inativas de fósforo, ou seja, P-redutível solúvel e P-ocluído.

A técnica de fracionamento de CHANG e JACKSON (1957) tem sido empregada também, para correlacionar formas de P inorgânico do solo com métodos de extração, produção e absorção pelas culturas. Experimentos com esta finalidade foram conduzidos por LAVERTY e McLEAN (1961), em oito solos com capacidade de fixação de 28 a 72% de P solúvel extraído pelo método de BRAY-2. Observaram que os solos retinham progressivamente mais fósforo na forma de P-Al do que P-Fe, a medida que aumentava a percentagem de fixação de fósforo. Isto sugere que o P-Al nesses solos representa melhor a forma de P "disponível" para as plantas do que P-Fe, o que foi comprovado pelas correlações positivas encontradas com P absorvido pelas plantas de aveia.

SUZUKI et alii (1963) encontraram alta correlação entre P absorvido pela cevada e P extraído pelo método de Truog, e que as frações de P-Ca e P-Al foram as que mais contribuíram para o P "disponível" obtido por esse método. A fração de fósforo ligada ao Al (P-Al) foi a única forma de P que se correlacionou com todos os parâmetros estudados, ou seja, P absorvido, valor A e P "disponível" obtidos pelos extratores de Olsen, Truog, resina e Bray-1. As frações orgânicas e P-Fe não contribuíram de maneira significativa para o P "disponível" extraído por qualquer um dos métodos. Por outro lado, AL-ABBAS e BARBER (1964) determinaram as relações entre formas de P e P absorvido pelo milho em 24 solos representativos do Sudeste e Nordeste dos EUA e concluíram que entre

todas as formas de fósforo, o P-Fe foi a que apresentou maior correlação com os valores de P absorvido.

KHANNA (1967) trabalhando com solos da Índia com pH variando de 6,8 a 8,2, mostrou que os extratores de Olsen, Bray-1 e Datta & Kamath (EDTA tetrasódico + fluoreto) fornecem com maior precisão o P "disponível" para as plantas.

GOEDERT et alii (1971) ao estudarem alguns aspectos relacionados com as formas de P do solo e a cultura do arroz irrigado, constataram uma relação estreita entre produção de arroz e os teores de P nas formas de P disponível pelo método de Mehlich e P-Fe, sendo esta fração considerada a fonte mais importante de P "disponível" para a cultura do arroz.

A calagem dos solos pode alterar profundamente a solubilidade do fosfato, dependendo, principalmente do extrator usado. BRAGA e DEFELIPO (1972a) encontraram que a forma de P "disponível" em solos com calagem, obtida com extrator Bray-1 e com o Bray-2, correlaciona com a forma de P-Fe, enquanto os extratores de Mehlich, Bray-1 e Bray-2, correlacionaram com a forma de P-Al em solos com e sem calcário; e o extrator Olsen somente correlacionou com P-Al em amostras sem calagem. A forma de P-Ca não relacionou, para estes solos, com os teores de P "disponível", obtidos com nenhum dos extratores estudados. BRAGA e DEFELIPO (1972b) observaram um aumento do fósforo "disponível" obtido com H_2SO_4 0,05N e que este aumento foi, possivelmente, causado pelo maior período de contato do calcário com o solo, alterando, no sentido P-Al para

P-Ca, o equilíbrio entre as formas de P, o que concorda com os dados de FASSBENDER et alii (1968); CABALA e FASSBENDER (1971) e BRAGA e DEFELIPO (1972a).

Ainda, de acordo com BRAGA e DEFELIPO (1972b), a fração de P-Fe foi a que melhor correlacionou com o peso das plantas de painço, percentagem de P no material vegetal e fósforo absorvido, após colheita. Encontraram também, que as quantidades de P absorvidos pelo painço correlacionaram de modo linear e positivamente com os teores de P "disponível" obtidos com os extratores Bray-1 e Olsen.

PEREIRA e FARIA (1978) conduziram experimento, com a cultura do milho em um vertissolo adubado com fosfato monocálcico e verificaram que o P adicionado, após 6 meses de incubação se encontrava praticamente em formas solúveis, formando compostos com Al, Fe e Ca. Altos coeficientes de correlação foram observados entre as diversas formas inorgânicas de P e os teores extraídos pelos métodos de Bray-1, Mehlich, Olsen, água e o absorvido pelo milho.

DELAZARI et alii (1980), ao estudarem a disponibilidade de P em solos representativos do Estado do Espírito Santo, observaram que os teores de P extraídos pelos métodos Mehlich, Bray-1, Bray-2 e do H_2SO_4 0,5N, correlacionaram significativamente entre si e com as quantidades de P oriundas do fracionamento, com exceção do NH_4Cl -P. Encontraram, também, correlação significativa ao relacionar a quantidade de P absorvido pelas plantas de sorgo do tratamento sem fós

foro com as quantidades desse nutriente extraídas pelos diferentes extratores.

TANAKA et alii (1981), ao estabelecerem o melhor extrator de P quando se utiliza o fosfato Patos de Minas em Latossolo Roxo distrófico, mostraram que o método Mehlich apresenta grande poder de extração de P, tanto na presença como na ausência de calcário. Concluíram que o extrator Bray-2 modificado foi o que melhor estimou a disponibilidade de P do fosfato Patos de Minas, por correlacionar significativamente com as frações P-Al e P-Fe e também com a produção de matéria seca e P absorvido pelo milho.

BAHIA FILHO et alii (1982), estudando a relação dos teores de P disponíveis extraídos pelos extratores Bray-1, Bray-2, Mehlich e Olsen com as formas inorgânicas após aplicação de fosfatos solúveis e de rocha em Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, fase cerrado, verificaram, no caso dos fosfatos naturais, que a forma de P-Ca removida pelo Mehlich era constituída de fosfato de cálcio proveniente do fertilizante aplicado e que ainda não reagiu com o solo. O mesmo comportamento se verificou com o extrator Bray-2. No caso do superfosfato triplo, a remoção preferencial foi P-Al, tendo em vista a maior atividade dessa forma em solos ácidos em comparação a P-Ca.

AMER et alii (1955) propuseram o uso de resinas aniônicas para extrair o fósforo do solo. Esta técnica baseia-se no intercâmbio reversível de íons entre o material

de troca iônica (resinas) e o soluto, no qual não há mudança permanente na estrutura da resina. A grande vantagem da troca iônica sobre outros processos é a possibilidade de uso e reuso dos materiais de troca iônica. Assim, durante o processo de troca iônica, o P do solo é trocado por uma quantidade equivalente de cloreto. Posteriormente, a resina carregada de P é tratada com HCl para remoção do P e, logo após, a resina pode ser tratada com uma solução de NaCl que lhe restitui o ânion cloreto, sendo possível novo ciclo de operação. Este procedimento é, comumente, chamado regeneração.

O uso da resina trocadora de ânions como método de avaliação da disponibilidade de P no solo para as plantas, tem sido pesquisado em todo o mundo há mais de um quarto de século. AMER et alii (1955), trabalhando em laboratório com 16 solos, encontraram coeficientes de correlação de 0,95 e 0,91 entre P adsorvido pela resina em duas horas e P extraído pela diluição isotópica e solução HCl 0,25N + NH₄F 0,03N (Bray-Kurtz), respectivamente. Dados obtidos por COOKE e HISLOP (1963), em experimentos de vasos, demonstraram que a quantidade de P extraído pela resina foi altamente correlacionada ($r = 0,91$) com a quantidade de P absorvido pelas plantas de centeio.

De acordo com os dados apresentados por HISLOP e COOKE (1966), o método da resina foi testado, entre outras com a solução extratora de Olsen, em solos calcários e não calcários. Os coeficientes de correlação obtidos entre as

quantidades de P extraídas pelos dois métodos foram 0,830 e 0,877 para os solos calcários e não calcários, respectivamente. Segundo estes autores, a técnica de extração de P pela resina reflete ambos os fatores capacidade e intensidade de fósforo no solo.

PALMA e FASSBENDER (1970), avaliando a disponibilidade de P para tomateiro, em 40 solos da América Central, demonstraram que o método da resina se mostrou superior aos extratores Bray-1, Mehlich, Olsen, Saunder modificado, Egner-Rieher e potencial fosfato, pela alta correlação (0,93) obtida entre o P extraído pela resina com 18 horas e P absorvido pelas plantas. Ainda segundo esses autores, e AMER (1955), é importante ressaltar que a técnica de extração pela resina aniônica apresenta certas vantagens em relação aos métodos convencionais pela ausência do solvente químico, reproduz com mais precisão o mecanismo de absorção de P pelas raízes e eliminam adsorção secundária dos íons fosfato durante a extração.

RAIJ et alii (1982), trabalhando com solos provenientes de ensaios com milho e algodão, no Estado de São Paulo, concluíram que o método da resina se mostrou superior aos extratores de Olsen, Bray-1 e do H_2SO_4 0,05N. Recentemente, a partir de análise de calibração, a resina aniônica foi implantada como técnica rotineira de extração de fósforo no Estado de São Paulo, pelo Laboratório de Análises de Solo do Instituto Agronômico de Campinas. Da mesma forma, no Centro

de Pesquisas do Cacau, vem sendo testado o método da resina trocadora de ânions, visando à substituição gradual do extrator Mehlich nas análises de solo (CABALA e SANTANA, 1983a).

2.3. EFICIÊNCIA COMPARADA DOS FOSFATOS SOLÚVEIS E PARCIALMENTE ACIDULADOS

Embora a maioria dos trabalhos com fosfatos naturais parcialmente acidulados tenham sido conduzidos em casa de vegetação, os resultados obtidos principalmente em solos ácidos mostram-se favoráveis à sua utilização. Em estudos realizados em condições controladas, McLEAN e WHEELER (1964) aplicou fosfato de rocha parcialmente acidulado e calcário a pH 6,0 e 6,5 intimamente misturados em dois solos. Observaram que a produção e conteúdo de fósforo em milho (*Setaria italica*) e alfafa (*Medicago sativa* L.), usadas como plantas teste, foram aproximadamente os mesmos para as rochas fosfatadas aciduladas a 10 e 100%. Em estudo semelhante com um grupo de solos ácidos, McLEAN et alii (1965) obtiveram máximo rendimento de matéria seca e fósforo absorvido pelo milho e alfafa ao nível de 20% de acidulação para alguns solos e ao nível mais alto de acidulação (100%) para outros solos. Os autores atribuíram os efeitos benéficos do fosfato parcialmente acidulado a uma menor ativação dos íons Fe e Al e, consequentemente, a menor fixação do fosfato adicionado.

ASHBY et alii (1966), estudando a acidulação parcial do fosfato natural da Flórida com H_3PO_4 a 0, 12,5, 25,50 e 100% do total de ácido exigido para converter todo o fosfato de rocha para superfosfato triplo, observaram na maioria dos casos, um aumento na produção de matéria seca de centeio e fósforo absorvido com o elevado nível de acidulação. O nível de 50% de acidulação, mostrou-se equivalente ao superfosfato triplo nos dois solos testados, mostrando um efeito ainda maior no solo de pH 6,0 do que no de pH 7,0.

McLEAN e BALAM (1967), comparando através da técnica isotópica, fertilizantes com teores similares de fósforo solúvel, mas de diferentes teores quanto ao fósforo insolúvel provenientes da rocha não tratada do fosfato parcialmente acidulado, verificaram que a recuperação de fósforo dos fertilizantes pelo milho foi em média 1,3 a 1,5 vezes maior que o fósforo solúvel adicionado, sugerindo que o aumento do fósforo "disponível" se deve à reação do H_3PO_4 formado no solo com a rocha não tratada do fosfato parcialmente acidulado.

LUTZ (1971), em experimentos de campo com milho (*Zea mays* L.), com duração de três anos, concluiu que o superfosfato concentrado foi superior à rocha acidulada a 20% com H_3PO_4 em termos de produção de grãos, particularmente nos níveis mais baixos de fósforo aplicado, enquanto na mais alta dose de fósforo (100 kg/ha) constatou equivalência entre os materiais utilizados e que a rocha acidulada a 20% foi a fonte de fósforo mais econômica. Estes resultados não concordam

com aqueles alcançados por McLEAN e WHEELER (1964), porém, são concordantes com os obtidos por ASHBY et alii (1966) em que relataram aumentos na produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo centeio com a elevação do nível de acidulação.

Dados apresentados por SHINDE et alii (1978), mostraram que fosfatos de rocha parcialmente acidulados com HCl e H_2SO_4 resultam na formação de uma mistura de fosfato solúvel em água (possivelmente dicálcico) e insolúvel. Também, observaram que, em geral, aumentando a percentagem de acidulação da rocha fosfatada resultou no aumento da quantidade de fósforo solúvel em água e ácido cítrico, e que o nível de 50% de acidulação com HCl ou H_2SO_4 foi o mais adequado para o arroz irrigado, em termos de teor disponível de fósforo no solo, produção de matéria seca e absorção de fósforo.

MOKWUNKYE e CHIEN (1980), comparando fontes de fósforo, superfosfato triplo (SPT) e fosfato de rocha acidulada a 20% (FRPA), observaram que houve maior extração do fósforo solúvel em água nos solos tratados com FRPA do que tratado com a mesma quantidade de SPT. A eficiência do FRPA foi mais alta no oxisol, que apresentava uma alta capacidade de adsorção de fósforo. Segundo os autores, as reações do FRPA no solo não restringe apenas à fração solúvel de fósforo do FRPA, mas a uma interação do fosfato monocálcico e o fosfato de rocha quando o FRPA é adicionado ao solo, resultando em uma liberação adicional do fósforo extraído em água, confirmando, assim, a hipótese de McLEAN et alii (1965).

No Brasil, os experimentos realizados até o momento sobre fosfatos parcialmente acidulados, limitaram apenas a verificar a eficiência deles como fonte de fósforo para as culturas, em comparação aos superfosfatos. FERREIRA e KAMINSKI (1979) verificaram uma eficiência, em termos de produção de matéria seca de soja, do fosfato de Patos em relação ao superfosfato triplo, de 60 e 61% quando acidulado, respectivamente, com 25 e 50% com H_3PO_4 e aplicados num Podzólico Vermelho Amarelo, e de 68 e 80% quando aplicados no solo Latérrico Bruno Avermelhado eutrófico, ambos corrigidos para pH 6,0. Em ensaios com as culturas de soja, arroz e milho, cultivadas em campo, em Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Roxo, com pH corrigido para 6,1, MALAVOLTA et alii (1981) compararam a eficiência agrônômica do fosfato de Araxá parcialmente solubilizado (FAPS) em relação ao superfosfato simples. Os autores não encontraram diferenças significativas de produção, no primeiro ano, para as doses de 60 e 120 kg/ha de P_2O_5 total, usando FAPS e 90 kg/ha de P_2O_5 na forma de superfosfato simples. Resultados semelhantes foram obtidos também para a produção de cana planta nas doses de 160 e 120 kg/ha de P_2O_5 , usando FAPS e superfosfato simples, respectivamente (MALAVOLTA et alii, 1982).

NAKAYAMA (1982), estudando o aproveitamento do fosfato de Araxá parcialmente solubilizado em Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro, em presença e ausência da calagem, para as culturas de sorgo sacarino e fei-

jão, obteve em três cultivos sucessivos, as seguintes eficiências relativas médias: superfosfato simples = 100; FAPS = 84,79; fosfato de Gafsa = 112,91 e fosfato natural de Araxá = 44,86. Pode-se dizer que a eficiência do FAPS é pouco menor quando comparada ao superfosfato e fosfato de Gafsa, mas bem superior à do fosfato natural de Araxá, que lhe deu origem.

No caso do arroz de sequeiro cultivado em Latossolo Vermelho Escuro, foi obtida uma eficiência de 72% para o fosfato Aude parcialmente acidulado, em relação ao superfosfato triplo (EMBRAPA, 1981). Resultados de dois anos de avaliação dos fosfatos de Patos parcialmente acidulado (FPPA) e fosfato de Araxá parcialmente solubilizado (FAPS), em relação ao superfosfato triplo (SFT), medida pelo rendimento de arroz de sequeiro, em Latossolo Vermelho Escuro, pH 4,9, foram apresentados por BARBOSA FILHO *et alii* (1983). Concluíram que a produção de 90% do rendimento máximo foi obtida pela combinação de 200 kg/ha de P_2O_5 , na forma de FPPA ou FAPS, aplicado a lanço, com 60 kg/ha de P_2O_5 solúvel (SFT) e que a eficiência dos fosfatos naturais parcialmente acidulados aumenta com o segundo cultivo. Em outro experimento, quando os fosfatos foram aplicados no sulco de plantio, os autores observaram que para se obter efeitos semelhantes aos do superfosfato triplo, as doses de fosfato parcialmente acidulados tem que ser maiores.

Ensaio conduzido por NOVAES *et alii* (1983) visando verificar o comportamento do fosfato de Araxá parcialmente solubilizado (FAPS), quanto ao fósforo absorvido pelo

capim Andropogon, observaram uma eficiência do FAPS ligeiramente inferior comparada ao superfosfato simples. FREIRE *et alii* (1983) observaram eficiência relativa do fosfato Aude parcialmente acidulado, intermediária a das fontes solúveis e naturais e eficiência semelhante do fosfato superaude em relação ao superfosfato triplo, em Latossolo Vermelho Amarelo, argiloso, para a produção de matéria seca de sorgo. Os autores relatam que a calagem efetuada no Latossolo de Uberaba prejudicou a eficiência dos fosfatos, confirmando o fato de que o aproveitamento da acidez natural dos solos para acelerar a solubilidade dos fosfatos naturais ou mesmos dos parcialmente solubilizados parece uma boa estratégia a ser seguida em solos ácidos do cerrado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS E FOSFATOS USADOS NOS EXPERIMENTOS

As amostras de solo, utilizadas neste trabalho, foram coletadas em áreas ainda sob vegetação de cerrado, do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz, Feijão (Goiânia-GO) e da Estação Experimental de Anápolis (Anápolis-GO), caracterizados, respectivamente, como Latossolo Vermelho Escuro distrôfico, textura argilosa (LEd) e Latossolo Vermelho Amarelo distrôfico, textura franco argilosa (LVd). Segundo o Sistema de Classificação (Soil Survey Staff, 1975), os latossolos da região dos cerrados, no Brasil, são classificados como Oxisols, constituídos por um epipêdon Ochrico, e um horizonte de sub-superfície Óxico. Neste trabalho, os solos receberam as denominações de LEd e LVd, respectivamente.

As amostras foram coletadas numa profundidade

até 20 cm que, após secadas ao ar, foram passadas por peneira com malha de 2 mm. As amostras de solo foram analisadas objetivando, sua caracterização física e química, cujos resultados são mostrados nas Tabelas 1 e 2.

Com exceção da fração areia, há uma variação nos teores de argila e silte, quando se compara os dois solos.

TABELA 1. Algumas características físicas dos solos utilizados (0-20 cm).

Solos	argila		silte	areia	densidade aparente	classe textural
	dispersa em H ₂ O	argila				
	----- % -----				g/cm ³	
LVd	15,6	30,2	29,1	40,7	1,20	franco argilosa
LEd	25,0	47,1	13,5	39,4	1,17	argilosa

Em relação ao suprimento de nutrientes (Tabela 2) ambos solos apresentam na camada superficial baixa disponibilidade, sendo naturalmente ácidos, com baixos teores de potássio, cálcio e magnésio e de matéria orgânica. A relação Ca⁺⁺/Mg⁺⁺ é de aproximadamente 3,8 e 2,8 para o LVd e LEd, respectivamente. Estes dados demonstram uma predominância do cálcio

TABELA 2. Características químicas dos solos utilizados (0-20 cm).

Características	Unidade	SOLOS		Processo ou método
		LVd	LEd	
M.O.	%	1,66	2,74	Walkley-Black
Ca ⁺⁺	meq/100g	0,60	0,56	KCl 1N
Mg ⁺⁺	"	0,16	0,20	KCl 1N
K ⁺	"	0,07	0,10	Mehlich
Al ⁺⁺⁺	"	0,59	0,56	KCl 1N
H ⁺ + Al ⁺⁺⁺	"	3,20	5,60	Ca(AOc) ₂ pH 7
Soma de bases	"	0,83	0,86	Calculado
CTC	"	4,03	6,46	Calculado
Saturação de Al	%	41,50	39,40	Calculado
pH (1:2,5)	-	4,90	4,70	em H ₂ O
P "disponível"	µg P/cm ³	2,70	6,00	Resina
P "disponível"	ppm	1,00	2,00	Mehlich
P "disponível"	ppm	0,15	0,36	Bray-1
P-NH ₄ Cl	µg P/g	1,59	1,78	CHANG e JACKSON (1957)
P-Al	"	12,72	15,84	
P-Fe	"	23,44	30,94	
P-Ca	"	5,29	6,79	
Outros fosfatos	"	211,96	363,65	Calculado
P total	"	255,00	419,00	HESSE (1971)
SiO ₂	%	4,90	7,30	VETORI (1969)
Al ₂ O ₃	%	18,70	22,40	
Fe ₂ O ₃	%	5,30	12,00	
TiO ₂	%	1,02	1,58	
Ki	-	0,45	0,55	

cio sobre o magnésio no complexo de troca. Isto indica que se deve dar preferência aos calcários dolomíticos para correção desses solos. Os valores de alumínio trocável e % saturação de alumínio, encontrados para os dois solos, não oferecem problemas para a cultura do arroz de sequeiro (FAGERIA, 1984).

Entre as frações de P inorgânicas, e considerando os dois solos, observa-se uma variação de dados. A fração P-Fe é a mais comum, seguindo-se a ligada a alumínio (P-Al) e por último o cálcio (P-Ca). As diferenças mais evidentes entre os dois solos são para P-Fe e P-Al.

Os resultados das análises química e granulométrica dos fosfatos utilizados no experimento, são apresentados na Tabela 3. A solubilidade de um fosfato depende da forma em que o P se encontra e da reação do meio. A acidulação parcial do fosfato natural de Araxá aumenta a solubilização do P tanto em H_2O como em ácido cítrico, e produz o gesso como subproduto do processo de acidulação. O Superfosfato Triplo e o de Araxá Parcialmente Solubilizado foram denominados, neste trabalho, de SPT e FAPS, respectivamente.

3.2. INCUBAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO

Antes do plantio do arroz, amostras de 3 kg de cada solo, com e sem calcário, foram incubadas em sacos plás-

TABELA 3. Análises química e granulométrica do Superfosfato Triplo (SPT) e do Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS).

Fosfatos	%P ₂ O ₅ total	% do total extraído pelas soluções extratoras		CaSO ₄ .2H ₂ O* (mg/g)	Granulometria - mm
		solúvel em H ₂ O	solúvel em ác. cítrico a 2% (1:100)		
SPT	45	93,00	97,78	-	>2,0 2,0-1,0 1,0-0,5
FAPS	26	30,77	38,46	144,3	

* Determinado pelo método de condutividade elétrica.

ticos. As amostras com calcário receberam uma mistura de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ comerciais na forma de pó, na proporção de 4:1 equivalentes, definida mediante a correlação entre pH e a saturação de bases (CATANI e GALLO, 1955). A terra e o material corretivo foram misturados manualmente nos sacos plásticos, irrigados com água destilada até 80% da capacidade máxima de retenção de cada solo e fechados. Os fósforos, supertríplo (SPT) e fosfato de Araxá parcialmente solubilizado (FAPS), foram aplicados na dose de 200 ppm de P com base no teor de P_2O_5 total revelado pela análise química (Tabela 3). As amostras de solos com e sem calcário foram incubadas por 180 dias, iniciando em 2/9/1984 e terminando em 3/3/1985. A cada intervalo de 45 dias os fósforos eram aplicados. Para isso as amostras respectivas eram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm e os fósforos eram, então, aplicados; perfazendo dessa forma, os seguintes períodos de incubação em dias: 180, 135, 90, 45 e 0. Após aplicação dos fósforos e água, os solos eram cobertos com sacos de polietileno preto para evitar a incidência de luz e, conseqüentemente, a germinação de sementes de ervas daninhas. O último período de incubação correspondeu à mistura solo-fosfato e plantio imediato.

3.3. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS EM CASA DE VEGETAÇÃO

Após a incubação, as amostras de solo foram no

vamente secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malhas e procedeu-se a amostragem de 500g de terra para análises. Em seguida, fez-se uma adubação básica e uniforme a todos os tratamentos na forma de solução nutritiva contendo a maioria dos nutrientes essenciais às plantas, nas concentrações e quantidades indicadas na Tabela 4. Ainda como adubação básica, aplicou-se nos tratamentos sem calcário, uma solução contendo Ca e Mg nas formas de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, na relação de 4:1, em quantidades correspondentes às aquelas aplicadas como corretivo, com objetivo de fornecer Ca e Mg como nutrientes para as plantas. Desde que o FAPS apresenta na sua constituição o gesso (Tabela 3) adicionou-se aos tratamentos com superfosfato triplo, uma quantidade equivalente de gesso em forma de solução, para eliminar possível efeito do íon acompanhante $\text{SO}_4^{=}$.

TABELA 4. Concentrações de N, K e micronutrientes, fontes e suas respectivas quantidades adicionadas no início e durante o período de crescimento do arroz.

Nutriente	concentração total ppm	fonte	inicial mg/vaso	cobertura* mg/vaso
N	180 (60+120)	NH_4NO_3	448	895
K	150 (75+ 75)	KCl	360	360
B	1,0	H_3BO_3	14,3	-
Cu	1,0	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	9,8	-
Mo	0,1	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,46	-
Zn	5,0	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	54,3	-

* adicionados em 15/4/1985 - correspondeu ao início do primórdio floral.

Após uma homogeneização, a mais uniforme possível, a mistura de 2,5 kg de terra foi transferida para vasos de barro, previamente impermeabilizado com tinta pretanetox, e água destilada foi adicionada de modo a manter o nível de umidade próximo a 80% da capacidade máxima de retenção.

Os tratamentos constituíram-se num arranjo fatorial $5 \times 2 \times 2 \times 2^*$ correspondendo a cinco períodos de incubação, presença e ausência de calcário, duas fontes de fosfatos e dois solos com três repetições e dispostos no delineamento em blocos casualizados. A unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade para 2,5 kg de solo, com 3 plantas de arroz, cultivar IAC-165. Fez-se o plantio, colocando-se 10 sementes em cada vaso. Dez dias após a germinação, foi efetuado o desbaste. Foram efetuados tratamentos fitossanitários para combater o ataque de pragas, utilizando-se o piretróide, isento de fósforo, na dosagem de 1 ml/litro.

Para avaliar a eficiência do Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS) em relação ao Superfosfato triplo, foi instalado um ensaio simultaneamente ao plantio do experimento de incubação, para obter uma curva de resposta do arroz ao superfosfato triplo em cada solo, com e sem calcário. As amostras com calcário foram incubadas por um período de 18 dias, tempo suficiente para a estabilização do pH na faixa desejada. As doses de fósforo usadas foram 0, 50, 100, 150, 200 e 250 ppm de P, em três repetições. Com exceção de Fe e

* Na análise de variância, os solos foram analisados separadamente para facilitar a interpretação dos resultados.

Mn, os demais nutrientes considerados limitantes ao crescimento do arroz foram adicionados uniformemente em todos os tratamentos de acordo com a Tabela 4. Os vasos foram colocados em forma de blocos casualizados juntamente com todos os vasos do experimento de incubação e a umidade mantida, diariamente, pela adição de água destilada, próximo a 80% da capacidade máxima de retenção.

Aos 60 dias após o plantio, o que correspondeu ao início do emborrachamento, a parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo e acondicionadas em sacos de papel. Em seguida, foram colocadas para secar em estufa de ventilação forçada a 65-70°C, durante uma semana, pesadas para obter o peso de matéria seca, e, posteriormente, procedeu-se a determinação do fósforo total e zinco no tecido vegetal, de acordo com metodologia descrita no item 3.5.

3.4. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE FÓSFORO DO SOLO

As amostras de terra coletadas após a incubação foram, depois de secas ao ar e passadas em peneira de 2mm de abertura de malha, submetidas à análise química para determinação do pH, das formas inorgânicas de fósforo e fósforo solúvel em vários extratores. Os métodos de extração escolhidos foram de Olsen+EDTA, Mehlich, Resina trocadora de ânions e Bray-1, os quais são resumidamente descritos a seguir.

Método de Olsen+EDTA (MIYAKE et alii, 1984):

Amostras de 4g de TFSA foram agitadas por 30 minutos, com 80 ml da solução de NaHCO_3 0,5M + EDTA 0,02M ajustada ao pH 8,5 com NaOH 1N; filtrou-se a suspensão em papel S&S faixa azul. Uma alíquota de 5 ml do filtrado foi transferida para tubo de ensaio de 25 ml e neutralizada com solução de H_2SO_4 3N gota a gota até o desaparecimento das bolhas de CO_2 . Após adição de 10 ml do reagente ácido sulfúrico-ascórbico-molibdênio descrito por EMBRAPA (1979), procedeu-se depois de 30 minutos em repouso, à leitura de absorvância em fotolorímetro KLETT-SUMMERSON, filtro vermelho, com comprimento de onda de 680nm.

Método de Mehlich (EMBRAPA, 1979):

Agitou-se 10g de TFSA por 5 minutos, com 100ml de HCl 0,05N e H_2SO_4 0,025N; filtrou-se a suspensão e determinou-se o fósforo colorimetricamente pelo método azul de molibdato da mesma maneira que no caso anterior.

Método da Resina (RAIJ e QUAGGIO, 1983):

A extração de fósforo por este método foi realizada no Laboratório da Seção de Fertilidade do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Utilizou-se uma mistura

de volumes iguais das resinas trocadoras de ânions (Amberlita IRA-400, base forte) e cátions (Amberlita IR-120, ácido forte). A mistura de resinas se deve ao fato que a mesma é usada como técnica rotineira de extração de P, Ca, Mg e K pelo referido laboratório. Maiores detalhes são encontrados em RAIJ e QUAGGIO (1983).

A uma mistura de 2,5 cm³ de TFSA e 25 ml de água destilada previamente agitada por 15 minutos, foi adicionada 2,5 cm³ de resina regenerada. Agitou-se durante 16 horas a 220 rpm, e transferiu-se a suspensão para peneiras com malha de poliéster com abertura de 0,4 mm. Depois de lavar a resina com água para retirar a argila, transferiu-se a resina da peneira para um frasco de 100 ml. Em seguida, o fósforo adsorvido pela resina foi extraído por 50 ml de uma solução de NaCl 1N e HCl 0,1N. Depois de deixar em repouso por 30 minutos, agitou-se por uma hora a 220 rpm, e procedeu-se a determinação do fósforo colorimetricamente, em espectrofotômetro óptico modelo VARIAN, série 634, com comprimento de onda de 885 nm. A quantidade de água adicionada na mistura tem pouco efeito na extração do fósforo.

Método de Bray-1 (BRAY e KURTZ, 1945):

Amostras de 7 g de solo TFSA foram agitadas por 1 minuto com 50 ml de solução HCl 0,025N+NH₄F 0,03N e filtrou-se a suspensão em papel de filtro S&S faixa azul. O P na so-

lução foi determinado pelo método de molibdato de amônio, conttendo tartarato de antimônio e potássio (MURPHY e RILEY, 1962) e usando como redutor o ácido ascórbico.

Fracionamento do fósforo (CHANG e JACKSON, 1957)

Para a caracterização das diferentes frações de fósforo inorgânicas, usou-se o método original descrito por CHANG e JACKSON (1957).

O fósforo inorgânico do solo foi fracionado em P-NH₄Cl (solúvel em NH₄Cl 1N), P-Al (solúvel em NH₄F 0,5N neutro), P-Fe (solúvel em NaOH 0,1N) e P-Ca (solúvel em H₂SO₄ 0,5N). As frações de P-NH₄Cl e P-Al foram determinadas pelo método do azul cloromolibdico e as de P-Fe e P-Ca pelo azul sulffomolibdico. Usou-se o cloreto estanhoso como agente redutor em ambos os casos.

A fração denominada neste trabalho "outros fos fatos" que inclui "P redutível solúvel", "P ocluso" e "fósforo orgânico" foi calculada pela diferença entre P total e a soma das frações inorgânicas mencionadas anteriormente.

3.5. ANÁLISE DO MATERIAL VEGETAL

O fósforo e zinco na planta foram determinados segundo método sugerido por SARRUGE e HAAG (1974). Amostras

de 1 g de planta, seca em estufa a 70°C e moídas em Moinho Wiley malha 20, foram levadas a digestão com ácido nítrico-perclórico na proporção de 20 ml de HNO_3 e 2 ml HClO_4 . O fósforo foi determinado por colorimetria usando vanadato-molibdato e zinco por espectrofotometria de absorção atômica.

3.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Com os dados obtidos, foram efetuadas as análises da variância, segundo o delineamento em blocos casualizados. Para qualificar os efeitos dos tratamentos foi feito a comparação das médias pelo teste de Tukey. Também, foram feitas análises de regressão e de correlação linear simples.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. FORMAS DE FOSFATOS INORGÂNICOS

As quantidades das formas de fósforo encontradas nos dois solos em função dos tratamentos foram avaliadas através do fracionamento de CHANG e JACKSON (1957), sendo os teores obtidos mostrados nas Tabelas 5 e 6. Quando se considera a média dos teores de fósforo para os fatores fontes, calagem e tempo de incubação observa-se para os dois solos que as menores quantidades (4,8 $\mu\text{g P/g}$ de solo) de fósforo estão na forma de fósforo fracamente adsorvido (solúvel em solução de NH_4Cl 1N) e, predomina no LVd a forma P-Fe seguida de P-Ca e da forma de P-Al. Para o LEd a sequência encontrada foi P-Fe = P-Al > P-Ca > P- NH_4Cl . Estas mesmas sequências foram encontradas para solos com avançado grau de intemperismo por BAHIA FILHO e BRAGA (1975) e DELAZARI et alii (1980). Segundo estes autores, embasados no trabalho de CHANG e JACKSON (1957),

esse comportamento do fósforo ocorre em razão do estágio de intemperismo dos solos. À medida em que avança o intemperismo, as formas de fósforo passam de P-Ca para P-Al, P-Fe e, finalmente, à forma solúvel em redutor.

A transformação de uma forma de fosfato em outra é controlada principalmente pelo pH do solo. Assim que os solos tornam-se mais ácidos pela remoção de sílica e de bases trocáveis, a atividade do Fe e Al aumenta e as formas mais solúveis de P-Ca são convertidas para P-Al e P-Fe, fato este verificado nos trabalhos de CHANG e JACKSON (1958) e BACHE (1963). De fato, a relação $K_i(SiO_2/Al_2O_3)$ das amostras de solos analisadas neste trabalho (Tabela 2) apresentaram valores muito baixos, em média, 0,51 o que evidencia baixa atividade do complexo de troca.

Nas Tabelas 5 e 6 são mostradas as médias das frações, obtidas em função dos fatores principais e das interações quando foram significativas. Considerando os fatores principais observa-se que a calagem não alterou as quantidades das frações P-Al e P-Fe no LVd (Tabela 5), porém acusou efeito altamente significativo e positivo para as frações solúvel em NH_4Cl e P-Ca. Isto foi causado pela elevação do pH devido a calagem, possibilitando maior liberação das formas de fósforo mais facilmente aproveitável, isto é, P- NH_4Cl e P-Ca. CABALA e FASSBENDER (1971); BRAGA e DEFELIPO (1972a), também concordam que a calagem afeta as formas de fósforo inorgânico do solo, muito embora esta alteração não se faça de manei-

ra uniforme para todos os solos. Isto se confirma se observar o efeito da calagem no LEd mostrado na Tabela 6. Neste solo a calagem aumentou significativamente os teores de $P-NH_4Cl$, reduziu os de $P-Al$ e não alterou os teores de $P-Fe$ e $P-Ca$. A diminuição significativa do teor de $P-Al$, possivelmente foi devida a elevação do pH pela calagem. Esta condição desfavorece a formação de variscita, fato admitido também por BRAGA e DEFELIPO (1972a).

De maneira semelhante, o fósforo adicionado aos solos através de duas formas de compostos fosfatados, alterou significativamente as quantidades relativas de todas as frações de fósforo no solo, conforme se vê nas Tabelas 5 e 6. Quando a fonte adicionada foi o Superfosfato Triplo (SPT), os teores das frações $P-NH_4Cl$, $P-Al$ e $P-Fe$ foram significativamente maiores do que quando se empregou o Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS), tanto no LVd como no LEd. Explica-se esse comportamento em face da maior quantidade de fosfato monocálcico presente no SPT do que no FAPS, que em condição ácida transforma-se em fosfato de ferro e de alumínio dada a alta atividade desses cátions. Segundo o conceito de adsorção apresentado por LINDSAY et alii (1962); HSU (1965) e PARFITT et alii (1975), os produtos da reação de fertilizantes fosfatados com o solo dependem, sobretudo, das condições de acidez durante a dissolução do fertilizante. No caso do superfosfato, o fosfato monocálcico se dissolve em H_2O com consequente formação de H_3PO_4 que ao reagir com Fe e Al exis-

tentes na solução do solo, formam fosfatos de baixa solubilidade como fosfatos de ferro e alumínio.

Com relação à fração P-Ca nota-se que os solos adubados com FAPS possuem mais fósforo nessa forma que as com SPT, embora não houvesse diferença significativa no LEd. Isto é compreendido pelo fato de que o FAPS, por ser um fosfato natural parcialmente solubilizado, apresenta na sua composição uma proporção maior de fósforo na forma de fosfato tricálcico de baixa solubilidade. Resultado semelhante a esse foi encontrado por KHANNA (1967) e GOEDERT et alii (1971), em parcelas adubadas com fosfatos naturais e fosfatos solúveis.

Houve uma interação significativa entre fontes e calcário, com relação a fração de P-Al no LVd (Tabela 5), sendo que a mesma interação não ocorreu no LEd (Tabela 6), sugerindo, evidentemente, que o efeito da calagem sobre a fração P-Al varia de solo para solo e, podendo também, em função da fonte de fósforo utilizada, causar uma alteração no teor de P-Al.

Houve também para os dois solos uma interação significativa entre fontes e tempos de incubação, com relação a fração P-Ca. As duas fontes se comportaram de modo bem diferente nos diversos tempos de incubação. No LVd, os teores de P-Ca foram significativamente maiores quando se empregou o FAPS do que quando se usou o SPT em qualquer tempo de incubação; o que está de acordo com a explicação anterior de que o FAPS apresenta na sua composição uma proporção maior de fós

foro na forma de fosfato tricálcico, que ainda não reagiu com o solo, o que está de acordo com BAHIA FILHO et alii (1982). Este fato explica também porque o FAPS na ausência de calcário aumentou significativamente o teor de P-Ca no LEd, quando comparado ao SPT sem calcário, verificado após o desdobramento da interação fontes x calcário (Tabela 6).

Já o efeito da interação fontes x tempo de incubação sobre a fração P-Ca do LEd se verificou apenas aos 180 dias, o que não era esperado e, portanto, não houve uma tentativa de explicação para o fato.

Quanto a interação calcário x tempo de incubação, embora significativa somente no LVd, observou-se uma diferença dos teores de P-Ca nos tempos de 90 e 135 dias após aplicação do fósforo em relação a calagem (Tabela 5), indicando que o efeito da calagem em aumentar o teor de P-Ca pode oscilar em função do tempo de contato do calcário com o solo e, sobretudo, variar de solo para solo.

As quantidades das frações de fósforo inorgânico determinadas após diferentes períodos de contato dos fosfatos com o solo (45, 90, 135 e 180 dias) foram semelhantes conforme são mostradas nas Tabelas 5 e 6, indicando que a exceção da fração P-Ca no LVd, nenhuma outra mudança detectável das frações ocorreu com o tempo, o que é confirmado estatisticamente pelas análises apresentadas nas referidas tabelas. Possivelmente todas as transformações das formas de fósforo obtidas para os dois solos ocorreram num tempo compreendido de

zero a 45 dias de contato dos fosfatos com os solos. MACKENZIE e AMER (1964) também verificaram que as frações P-Al, P-Fe e P-Ca de seis solos, analisadas aos 30 dias e 335 dias após adição de fósforo foram semelhantes às aquelas analisadas após 15 dias. Também, CHIEN (1978) usando fósforo solúvel em água para comparar os fosfatos de Rhenânia, da Carolina do Norte, de Araxá e superfosfato simples após várias semanas de reação com o solo, observou que as reações ocorreram até seis semanas, e que após este tempo os teores de fósforo no solo foram constantes. Estes resultados sugerem, portanto, que as transformações das formas de fósforo ocorrem dentro de um período de tempo ainda mais curto. FEITOSA e RAIJ (1976), mostraram que no primeiro dia após aplicação de vários adubos fosfatados em solos Podzólico Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro já se observa influência no fósforo solúvel e que durante o período de incubação de 270 dias não houve variações apreciáveis desses teores.

IBRAHIM e PRATT (1982) estudaram, também, o efeito do tempo de incubação sobre a adsorção de fósforo em vários solos do sul da Califórnia, usando como critério, o fósforo solúvel em CaCl_2 0,01M e concluíram que em solos deficientes em fósforo, o equilíbrio do fósforo da solução com o fósforo do solo, foi alcançado aos 42 dias de incubação, e que após 3 dias houve pequeno efeito do tempo para baixos níveis de fósforo aplicado. Segundo os autores existem pelo menos duas explicações possíveis. A primeira é que com o tem

TABELA 5. Teores médios de fósforo obtidos no fracionamento das frações inorgânicas nas amostras de solo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, após diferentes tempos de incubação com duas fontes de fósforo, com e sem calcário.

Fonte	P-NH ₄ Cl (µg P/g)					P-Al (µg P/g)					P-Fe (µg P/g)					P-Ca (µg P/g)				
	Tempo de incubação (dias)					Tempo de incubação (dias)					Tempo de incubação (dias)					Tempo de incubação (dias)				
	45	90	135	180	Média	45	90	135	180	Média	45	90	135	180	Média	45	90	135	180	Média
SPT(1)	s/calc.	5,3	5,9	5,2	5,6	88,0	92,8	90,1	86,4	89,3b	120,6	112,5	126,9	121,3	123,9a	31,2	28,2	30,7	37,3	34,3
	c/calc.	7,6	6,5	6,2	6,5	97,6	96,8	83,3	97,8	95,4a	121,6	126,3	131,9	130,0	123,9a	40,3	34,2	45,3	46,3	42,8b
	Média	6,4	6,2	5,7	6,0	6,1a	94,8	89,7	92,1	92,3a	121,1	119,4	129,4	125,6	123,9a	35,7b	31,2b	38,0b	42,8b	36,9b
FAPS(2)	s/calc.	2,4	3,4	3,4	3,6	55,0	58,7	49,4	55,4	54,2b	91,9	94,4	96,3	104,4	97,2b	122,8	126,3	127,3	139,4	128,4
	c/calc.	3,7	4,5	4,3	4,6	54,9	51,2	52,5	57,1	54,2b	92,8	98,1	109,1	91,3	97,2b	126,9	149,0	167,1	128,4	135,9a
	Média	3,0	3,9	3,8	4,1	3,7b	54,9	54,9	56,2	54,2b	92,3	96,2	102,7	97,8	97,2b	124,8ab	137,6aAB	147,2aA	133,9aAB	135,9a
Média	s/calc.	3,8	4,6	4,3	4,6	4,3b	71,5	75,7	70,9	71,9	106,2	103,4	111,6	112,8	108,5	77,0a	77,2b	79,0b	88,3a	80,4b
	c/calc.	5,6	5,5	5,2	5,4a	76,2	74,0	70,9	77,4	74,6	107,2	112,2	120,5	110,6	112,6	83,6aB	91,6aAB	106,2aA	88,3aB	92,4a
	Média	4,7	5,0	4,7	5,0	73,8	74,8	70,3	74,1	74,1	106,7	107,8	116,0	111,7	111,7	80,3bB	84,4AB	92,6A	88,3AB	88,3AB
Teste F	Fontes (Fo)	120,82** (3)																		
	Calcário (Ca)	26,49**																		
	Tempos (Te)	0,68ns (4)																		
	Fo x Ca	0,12ns																		
	Fo x Te	2,65ns																		
	Ca x Te	1,01ns																		
	Fo x Ca x Te	0,41ns																		
DMS (Tukey 5%)	Tempos (Te)	658,92**																		
	Te dentro de Fo	3,26ns																		
	Te dentro de Ca	1,88ns																		
		5,24* (5)																		
		0,33ns																		
		1,55ns																		
		1,44ns																		
Coef. de Variação (%)		15,19	7,00																	9,28

- Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

(1) SPT - Superfosfato Triplo; (2) FAPS - Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado; (3) ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; (4) ns - não significativo; (5) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

po, as formas amorfas de fósforo ou mesmo cristalina tornam-se mais cristalinas diminuindo, assim, o fósforo solúvel. A segunda explicação é que o fósforo penetra nos poros sólidos, expondo sítios na superfície para adsorver mais fósforo.

4.2. FÓSFORO "DISPONÍVEL"

O fósforo "disponível" obtido nos dois solos pelos extratores utilizados são mostrados nas Tabelas 7 e 8. Dependendo do solo e dos tratamentos com calcário, fosfatos e tempo de incubação, os teores obtidos variaram de 20,7 a 110,1 $\mu\text{g P/g}$ para o extrator de Mehlich, de 24,0 a 73,0 $\mu\text{g P/g}$ para o de Olsen+EDTA, de 18,4 a 65,5 $\mu\text{g P/g}$ para o de Bray-1 e de 30,3 a 106,0 $\mu\text{g P/cm}^3$ para o da Resina trocadora de ânions. Colocando os extratores em ordem decrescente de quantidade de fósforo extraído, ficaria a sequência: Mehlich, Resina, Olsen+EDTA e Bray-1, sendo que os dois últimos extraíram quantidades praticamente iguais de fósforo.

O efeito da calagem sobre o fósforo "disponível" variou conforme o extrator e solo. Quanto ao fósforo extraído pela Resina, observou-se um efeito positivo da calagem, enquanto que sobre os teores obtidos pelo método Mehlich, a calagem não promoveu nenhuma alteração. No solo LVd, a calagem alterou significativamente e de maneira negativa, os teores de fósforo "disponível" obtidos pelos extratores Ol-

sen+EDTA e Bray-1 (Tabela 7). BRAGA e DEFELIPO (1972a) também encontraram uma diminuição do fósforo "disponível" quando o extrator foi o Bray-1 e o Bray-2. Segundo os autores, provavelmente houve hidrólise dos fosfatos de Al e Fe, seguindo-se uma precipitação do fósforo sob a forma de fosfato tricálcico. Outra explicação pode ser o enfraquecimento do poder extrativo dos reagentes, devido a calagem.

Por outro lado, no LEd (Tabela 8) a calagem aumentou o fósforo "disponível" quando este foi obtido pelos extratores de Mehlich, Olsen+EDTA e Resina, não se verificando efeito da calagem quando o fósforo foi extraído pelo método Bray-1.

A análise de variância dos teores de fósforo "disponível" evidenciou também, que a aplicação dos fosfatos em ambos os solos alterou de maneira diferente as concentrações de fósforo, dependendo do extrator usado (Tabelas 7 e 8).

Quando é usado o SPT, há um aumento do fósforo extraído pelos extratores Olsen+EDTA, Bray-1 e Resina, em comparação com o FAPS. Os teores de fósforo "disponível" diminuíram com aplicação do SPT em relação ao FAPS, quando o extrator foi o Mehlich, mostrando que este extrator dissolve minerais de apatita não tratados com ácido durante o processo de obtenção do FAPS, o que permaneceu sem reação no solo. Isso pode ser comprovado pela resposta da planta aos dois fosfatos que se encontra nas Tabelas 12 e 13, indicando a inadequação da extração por Mehlich quando o FAPS é usado nestes

solos. Esta limitação do extrator Mehlich tem sido relatada por vários pesquisadores (FEITOSA e RAIJ, 1976; GOEDERT e LOBATO, 1980; RAIJ et alii, 1982; BAHIA FILHO, 1982; CABALA e SANTANA, 1983a).

Houve uma interação significativa entre fontes de fósforo e doses de calcário no LVd (Tabela 7), com relação ao fósforo extraído pelo extrator Mehlich. O SPT na presença de calcário forneceu teores significativamente mais altos do que na ausência de calcário, o que era de se esperar, já que houve um aumento nos valores de pH pela aplicação de calcário como se observa na Tabela 9. Já para o FAPS, obteve-se maior teor quando este fosfato foi aplicado na ausência de calcário. Isto caracteriza o efeito favorável da acidez do solo na dissolução do fosfato parcialmente acidulado, algo similar ao que acontece com os fosfatos naturais. Este fato é compreensível, considerando-se que parte da composição dos fosfatos parcialmente acidulados permanece como rocha fosfatada e, como tal, se decompõe em meio ácido para formar fosfato monocálcico e outros compostos solúveis. GOEDERT e LOBATO (1980) verificaram que, aumentando o pH de 4,8 a 5,9 através da calagem, a eficiência do fosfato de Patos diminuiu e a do superfosfato triplo aumentou, em termos de produção de soja. A interação negativa, calagem x fosfato de Araxá, foi também observada por BRAGA (1969), quando a calagem a pH 6,5 praticamente eliminou qualquer efeito a curto prazo, de até 300 kg de P_2O_5 /ha, para a cultura do feijão.

Nos métodos de extração com Olsen+EDTA e Bray-1, os teores obtidos não foram afetados pela calagem, contudo no caso do extrator de Olsen+EDTA, houve uma interação entre fontes e tempos de incubação. Dentro dos tratamentos com SPT, os maiores teores de fósforo "disponível" ocorreram nos primeiros 90 dias de incubação com o solo, enquanto para o FAPS, este efeito só foi observado aos 45 dias, embora durante todo o período de incubação de 180 dias, os teores obtidos nos tratamentos com FAPS foram mais baixos, comparados ao SPT. Isto ocorre porque o extrator de Olsen e Bray-1 tem sua extração baseada na hidrólise de fosfatos de Al ou Fe, não removendo fosfatos de cálcio, conforme reconhecem Kamprath e Watson (1980) e Thomas e Peaslee (1973), citados por BAHIA FILHO (1982). Resultado semelhante, foi também relatado por KHANNA (1967). Como é de se esperar, que em solos ácidos adubados, a reserva de fósforo lábil encontra-se em grande parte na forma de fosfatos de Al e Fe, os resultados alcançados neste trabalho sugerem de preferência, os extratores de Olsen+EDTA e Bray-1 na avaliação do fósforo "disponível" nestes solos.

Também houve uma interação entre fontes x calcário, com relação ao fósforo extraído com Resina, tanto no LVd como no LEd (Tabelas 7 e 8). Nos dois solos e nos dois fosfatos, os teores obtidos pelo método da Resina foram superiores quando na presença de calcário, indicando uma melhor discriminação dos teores de fósforo entre os adubos.

Ainda com relação ao fósforo extraído com Re-

sina, observou-se no LEd (Tabela 8), uma interação entre calcário e tempos de incubação. Dentro dos vários tempos de incubação, a calagem aumentou significativamente o fósforo "disponível", sendo que aos 45 dias de incubação a Resina extraiu maior quantidade de fósforo "disponível", independente da calagem.

O fósforo extraído com os extratores de Olsen+EDTA, Bray-1 e Resina diminuíram a medida que aumentaram os tempos de contato dos fosfatos com os solos (LVd e LEd), embora este efeito não ocorreu com tanta intensidade nos dois solos, para o fósforo extraído com Bray-1. Isso significa, que dentro de limites, quanto maior o tempo de contato fosfato-solo, maior a fixação do fósforo aplicado.

Não houve efeito do tempo de incubação no fósforo extraído com Mehlich e, como se observa os teores de fósforo são muito mais elevados, comparados com os valores obtidos pelos demais extratores. Isto está relacionado à ação enérgica do extrator, impedindo qualquer refixação do fósforo no solo durante a extração e que, até certo ponto, também pode explicar a ação do Bray-1, embora este seja pouco enérgico em relação ao Mehlich.

Observando os teores de fósforo "disponível" da Tabela 8 para o LEd, pode se verificar que os valores obtidos com os extratores Mehlich, Olsen+EDTA e Bray-1 principalmente, são bastante inferiores aos obtidos pelos mesmos extra

TABELA 7. Teores médios de fósforo disponível em vários extratores obtidos em amostras de solo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico após diferentes tempos de incubação com duas fontes de fósforo, com e sem calcário.

Fonte Calcário	P extr. Mehlich (µg P/g)					P extr. Olsen+EDTA(µg P/g)					P extr. Bray-1 (µg P/g)					P extr. Resina (µg P/cm ²)				
	Tempo de incubação (dias)					Tempo de incubação (dias)					Tempo de incubação (dias)					Tempo de incubação (dias)				
	45	90	135	180	Média	45	90	135	180	Média	45	90	135	180	Média	45	95	135	180	Média
SPT(1)	s/calc.	56,9	56,2	54,0	52,8	55,0b	72,0	72,0	64,3	56,3	63,6	65,5	54,5	61,6	62,3	62,0	50,7	51,3	56,6b	
	c/calc.	73,9	79,7	63,5	68,7	71,5a	73,0	67,7	58,3	50,7	58,2	64,9	52,2	55,5	72,0	75,3	64,0	68,3	69,7a	
	Média	65,4	67,9	58,7	60,7	63,2b	72,5a	69,8	58,6	53,5	60,9	65,2	53,3	58,5	67,1	68,6	57,3	59,8	63,2a	
FAPS(2)	s/calc.	100,1	110,1	101,1	101,1	101,1a	47,0	40,3	39,7	42,3	35,4	36,8	32,3	36,5	38,3	39,7	30,3	33,0	35,3b	
	c/calc.	108,5	85,8	103,1	84,1	95,3b	42,0	35,3	34,7	32,7	32,4	29,9	31,5	30,9	44,7	41,3	37,3	36,7	40,0a	
	Média	104,3	97,9	102,1	92,6	99,2a	45,5a	37,8	37,2	37,5	34,4	33,3	31,9	33,7	41,5	40,5	33,8	34,8	37,6b	
Média	s/calc.	78,5	83,1	77,5	76,9	79,0	59,5	56,1	52,0	49,3	49,5	51,1	43,3	49,0	50,3	50,8	40,5	42,1	45,9b	
	c/calc.	91,2	82,7	83,3	76,4	83,4	57,5	51,5	46,5	41,7	46,2	47,4	41,8	43,2	58,3	58,3	50,6	52,5	54,9a	
	Média	84,8	82,9	80,4	76,6	58,5A	53,8AB	49,2BC	45,5C	47,8AB	49,2A	42,6B	46,1AB	54,3A	54,5A	45,8B	47,3B			
Teste F	Fontes (Fo)	133,63** (3)																		
	Calcário (Ca)	16,54**																		
	Tempos (Te)	21,35**																		
	Fo x Ca	15,06**																		
	Fo x Te	7,63**																		
	Ca x Te	0,92ns																		
	Fo x Ca x Te	2,48ns																		
DMS (Tukey 5%)	Tempo (Te)	4,69																		
	Te dentro de Fo	6,64																		
Coef. de Variação (%)		13,28																		
		8,16																		
		12,20																		
		8,88																		
		6,30																		
		4,98																		
		253,14**																		
		4,79* (5)																		
		3,08*																		
		0,00ns																		
		1,73ns																		
		0,29ns																		
		0,47ns																		
		390,77**																		
		48,36**																		
		13,04**																		
		11,21**																		
		0,56ns																		
		0,31ns																		
		0,00ns																		

- Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

(1) SPT - Superfosfato Triplo; (2) FAPS - Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado; (3)** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; (4) ns - não significativo; (5) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 8. Teores médios de fósforo disponível em vários extratores obtidos em amostras de solo Latossolo Vermelho Escuro distrófico, após diferentes tempos de incubação com duas fontes de fósforo, com e sem calcário.

Fonte Calcário	P extr. Mehlich ($\mu\text{g P/g}$)						P extr. Olsen+EDTA ($\mu\text{g P/g}$)						P extr. Bray-1 ($\mu\text{g P/g}$)						P extr. resina ($\mu\text{g P/cm}^3$)						
	Tempo de incubação (dias)						Tempo de incubação (dias)						Tempo de incubação (dias)						Tempo de incubação (dias)						
	45	90	135	180	Média		45	90	135	180	Média		45	90	135	180	Média		45	90	135	180	Média		
SPT(1)	s/calc.	30,2	20,8	21,7	20,7	65,7	53,3	54,0	44,3	54,3b	40,2	39,9	39,2	36,7	74,0	65,3	66,0	58,7	66,0	58,7	66,0b				
	c/calc.	28,5	26,3	27,2	36,3	67,0	64,3	57,7	54,0	60,8a	44,9	41,0	40,8	36,6	106,0	88,3	73,0	94,3	88,3	73,0	94,3				
	Média	29,3	23,5	24,4	28,5	66,3	58,8	55,8	49,1	57,5a	42,5	40,4	40,0	36,6	90,0	76,8	69,5	76,5	76,5	76,5	78,2a				
FAPS(2)	s/calc.	29,7	25,7	25,5	22,8	34,3	27,3	25,7	24,0	27,8	22,0	21,0	21,7	21,0	45,7	37,0	35,7	32,0	37,0	32,0	37,6b				
	c/calc.	38,9	40,8	34,2	36,6	33,7	30,7	27,3	25,0	29,2	20,8	18,4	19,9	19,3	53,0	45,3	44,7	47,0	45,3	44,7	47,0				
	Média	34,3	33,2	29,8	29,7	34,0	29,0	26,5	24,5	28,5b	21,4	19,7	20,8	20,1	49,3	41,1	40,2	39,5	41,1	40,2	39,5				
Média	s/calc.	29,9	23,2	23,6	21,7	50,0	40,3	39,8	34,1	41,1b	31,1	30,4	30,4	28,8	59,8bA	51,1bB	50,8bB	45,3bB	51,1bB	45,3bB	51,7b				
	c/calc.	33,7	33,5	30,7	36,4	50,3	47,5	42,5	39,5	44,9a	32,8	29,7	30,3	27,9	79,5aA	66,8aBC	58,8aC	70,6aAB	68,9a	70,6aAB	68,9a				
	Média	31,8	28,3	27,1	29,0	50,1A	43,9B	41,1B	36,8C					69,5A	58,9B	54,8B	57,9B								
Teste F	Fontes (Fo)	8,97** (3)																							
	Calcário (Ca)	25,73**																							
	Tempos (Te)	1,23ns (4)																							
	Fo x Ca	2,34ns																							
	Fo x Te	0,97ns																							
	Ca x Te	1,74ns																							
	Fo x Ca x Te	0,69ns																							
DMS (Tukey 5%)	Tempo (Te)	3,68																							
	Te dentro de Ca	7,69																							
Coef. de Variação (%)		21,04																							
		11,03																							

- Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

(1) SPT - Superfosfato Triplo; (2) FAPS - Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado; (3) ** - significância ao nível de 1% de probabilidade; (4) ns - não significativo; (5) * - significância ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 9. Efeito do tempo de incubação das amostras de solos com duas fontes de fósforo, com e sem calcário sobre o pH.

Solos	Fosfatos	Tempo de incubação (dias)											
		0		45		90		135		180			
		s/c(5)	c/c(6)	s/c	c/c								
LVd (1)	STP (3)	4,2	5,3	4,5	5,4	4,4	5,4	4,3	5,4	4,6	5,4	4,6	5,4
	FAPS (4)	4,4	5,3	4,6	5,4	4,4	5,4	4,5	5,5	4,4	5,5	4,4	5,5
LEd (2)	STP	4,7	5,7	4,2	5,6	4,3	5,7	4,2	5,7	4,2	5,7	4,2	5,7
	FAPS	4,3	5,7	4,5	5,6	4,4	5,7	4,4	5,7	4,4	5,7	4,4	5,7

(1) LVd - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; (2) LEd - Latossolo Vermelho Escuro distrófico;

(3) STP - Superfosfato Triplo; (4) FAPS - Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado;

(5) s/c - sem calcário; (6) c/c - com calcário.

tores para o LVd. Uma das causas dos baixos teores de fósforo disponível no LEd pode ser a quantidade de argila desse solo (Tabela 1). PRATT e GARBER (1964) mostraram num trabalho realizado com vários solos da Califórnia, que em solos com maior teor de argila diminuiu a eficiência dos extratores Bray-1 e Olsen em extrair fósforo. Segundo os autores, a menor eficiência desses extratores para extrair fósforo de solos argilosos está relacionada a reações secundárias após a dissolução ou ainda com a exaustão dos reagentes devido sua reação com outros minerais do solo que não seja fosfatos. Este efeito da textura refere-se a eficiência dos extratores para extrair fósforo e não sobre a disponibilidade de fósforo para as plantas, embora os dois efeitos podem estar interrelacionados.

Os efeitos dos tratamentos nos valores de pH são vistos na Tabela 9, Como se observa, o pH foi afetado somente pela calagem, como era de se esperar. Além disso, uma pequena mudança no pH foi observada quando se compara os dois solos, sendo em média de 5,7 para o LEd e de 5,4 para o LVd. Não houve nenhuma tendência dos fosfatos e do tempo de incubação de alterar os valores de pH (Tabela 9).

4.3. RELAÇÕES ENTRE FÓSFORO "DISPONÍVEL" E FRAÇÕES INORGÂNICAS DE FÓSFORO

Os teores de fósforo "disponível" obtidos através dos

diversos extratores foram correlacionados entre si e os coeficientes de correlação linear são mostrados na Tabela 10. Nas amostras sem calagem e considerando o superfosfato triplo, observou-se uma correlação positiva entre o fósforo do solo extraído pelo extrator Mehlich e Olsen+EDTA, Mehlich e Bray-1 e Olsen+EDTA e Bray-1. Nas amostras com calagem, somente os teores de fósforo obtidos com Mehlich correlacionaram significativamente com os teores de fósforo, usando o Bray-1. Ainda nas amostras com calagem não se constatou correlações entre os teores de fósforo, usando Olsen+EDTA com os demais extratores estudados. Supõe-se que a calagem esteja diminuindo a eficiência dos métodos de Olsen-EDTA e Bray-1 na extração do fósforo "disponível". Isto pode estar relacionado à exaustão dos reagentes e precipitações secundárias.

Os teores de fósforo extraído em Resina não se correlacionou com os teores de fósforo obtidos com os demais extratores. Possivelmente porque a Resina não extraiu as mesmas formas de fósforo extraídas pelos métodos Mehlich, Olsen+EDTA e Bray-1. Segundo BAHIA FILHO e BRAGA (1975) e BAHIA FILHO et alii (1982), coeficientes altos e coincidentes para certos extratores significam que estes extratores estão extraíndo as mesmas formas de fósforo. Assim, observando-se a Tabela 11, constatou-se no superfosfato triplo que as formas predominantemente extraídas pelos métodos Mehlich e Bray-1 foram $P-NH_4Cl$ e $P-Fe$, tanto nas amostras sem e com calagem.

A maior dissolução da forma de $P-Fe$ nos extra-

tores Mehlich e Bray-1, provavelmente, esteja relacionada com a predominância desta forma ou, ainda, com a sua maior solubilidade em relação aos fosfatos de alumínio e cálcio, através dos íons H^+ dos ácidos sobre o ferro. BARBER e AL-ABBAS (1964) verificaram que a forma P-Fe explicava a variabilidade do fósforo no solo e, por isso, recomendaram um método químico com tendência de dissolução seletiva para fosfatos ligados a ferro. KHANNA (1967) obteve alta correlação positiva entre o extrator Bray-1 e as formas P- NH_4Cl e P-Fe, e negativa para P-Ca e nenhuma correlação com P-Al. Também BRAGA e DEFELIPO (1972a), trabalhando em solos sem e com calagem, obtiveram resultados semelhantes em amostras de solo com calagem.

No extrator Resina a forma preferencialmente extraída foi P-Al, o que explica a inexistência de correlação significativa deste extrator com os demais. A forma de P-Ca não relacionou para estes solos, com os teores de fósforo "disponível", obtidos com nenhum dos extratores estudados. A explicação é que o SPT não possui na sua constituição fosfato insolúvel e, portanto, é imediatamente convertido em P-Fe e P-Al, quando adicionado ao solo. Outro fator a considerar é que o fósforo extraído com extratores ácidos diluídos, pode sofrer refixação no solo durante a extração, afetando com isso os coeficientes de correlação (KHANNA, 1967 e GALRÃO e VOLKWEISS, 1981).

Quando se considera o fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS), os teores de fósforo obtidos com

Mehlich, Olsen + EDTA e Bray-1 correlacionaram entre si, tanto na presença quanto na ausência de calagem, enquanto para o método da Resina não se observou correlações significativas com os métodos anteriormente mencionados (Tabela 10). As formas predominantemente extraídas foram P-Fe e P-Ca, como mostram os coeficientes de correlação da Tabela 11, embora não foi significativo para Olsen+EDTA nas amostras com calcário. As correlações verificadas com a forma P-Ca se deve a presença do fosfato tricálcico na composição do FAPS, o qual contribuiu para uma maior proporção desta fração no solo (Tabelas 5 e 6).

TABELA 10. Coeficientes de correlação linear entre teores de fósforo "disponível" obtidos por extratores em amostras de dois solos incubados em diferentes tempos, considerando as fontes e a calagem.

Formas de fósforo	Olsen+EDTA		Bray-1		Resina	
	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.
SUPERFOSFATO TRIPLÓ						
Mehlich	0,742*	n.s.	0,973**	0,968**	n.s.	n.s.
Olsen+EDTA			0,716*	n.s.	n.s.	n.s.
Bray-1					n.s.	n.s.
FOSFATO DE ARAXÁ PARCIALMENTE SOLUBILIZADO						
Mehlich	0,913**	0,756*	0,986**	0,985**	n.s.	n.s.
Olsen+EDTA			0,911**	0,799**	n.s.	n.s.
Bray-1					n.s.	n.s.

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

TABELA 11. Coeficientes de correlação linear entre teores de fósforo obtidos pelos extratores e formas inorgânicas de fósforo em amostras de dois solos incubados em diferentes tempos, considerando as fontes e a calagem.

Formas de Fósforo	Mehlich		Olsen+EDTA		Bray-1		Resina	
	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.
SUPERFOSFATO TRIPLÓ.								
P-NH ₄ Cl	0,818*	0,926**	n.s.	n.s.	0,818*	0,854**	n.s.	n.s.
P-Al	-0,948**	-0,904**	n.s.	n.s.	-0,930**	-0,817*	0,731*	0,749*
P-Fe	0,888**	0,839**	n.s.	n.s.	0,778*	0,753*	n.s.	-0,809*
P-Ca	n.s.	n.s.	n.s.	-0,824	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
FOSFATO DE ARAXÁ PARCIALMENTE SOLUBILIZADO								
P-NH ₄ Cl	n.s.	-0,906**	-0,780*	-0,870*	n.s.	-0,941*	n.s.	n.s.
P-Al	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
P-Fe	0,883**	0,915**	0,764*	n.s.	0,881**	0,884**	n.s.	-0,741*
P-Ca	0,967**	0,953**	0,835**	n.s.	0,966**	0,937**	n.s.	-0,772*

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

De acordo com HISLOP e COOKE (1966), a técnica de extração de fósforo pela Resina reflete ambos os fatores capacidade e intensidade (fração lábil) de fósforo no solo e os extratores químicos mais frequentemente usados representam, em grande parte, o fator quantidade (fração lábil mais a não lábil), segundo BAHIA FILHO e BRAGA (1975). Dessa forma, é possível que com o tempo de incubação dos fosfatos com o solo, tenha ocorrido aumento no grau de cristalinização dos fosfatos, reduzindo o fósforo da fração lábil (NOVELINO et alii, 1985), o que explica a inexistência de correlações significativas entre os extratores químicos e a Resina trocadora de ânions. Esta pressuposição pode ser confirmada nas Tabelas 7 e 8, onde se verifica que a medida que aumenta o tempo de contato do fosfato com o solo, diminui os teores de fósforo "disponível" extraído pela Resina.

4.4. RESPOSTA DO ARROZ AOS FATORES ESTUDADOS

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados respectivamente, para o LVd e LEd, as médias dos rendimentos de matéria seca, concentrações de fósforo e fósforo acumulado na parte área do arroz obtidas nos diversos tratamentos.

Considerando os efeitos das fontes de fósforo, constatou-se pela análise de variância que, para os dois solos e para as três variáveis estudadas, o SPT forneceu valo-

res significativamente mais elevados em relação ao FAPS. Outros autores têm demonstrado, também, comportamento inferior do FAPS em relação ao SPT, quanto a produção de matéria seca e fósforo absorvido por várias culturas (NAKAYAMA, 1982; BARBOSA FILHO et alii, 1983 e NOVAES et alii, 1983).

Quando se estudou o fósforo "disponível" antes do plantio do arroz, pelo extrator Mehlich (Tabelas 7 e 8), observou-se que para os dois solos valores mais altos foram obtidos nos tratamentos com FAPS, confirmando o fato de que esse extrator dissolve compostos fosfatados no solo não disponíveis para as plantas. Mesmo assim a relação entre teores de fósforo obtidos com Mehlich e as variáveis, produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea, mostrou coeficientes de correlação significativos. Isto se deveu aos teores de fósforo fornecidos pelos tratamentos com SPT e não com FAPS, como mostra com mais clareza a relação com fósforo acumulado na parte aérea, onde teores mais elevados fornecidos pelo FAPS no LVd, resultaram em menores acumulações de fósforo pela parte aérea do arroz.

Quanto ao efeito da calagem, observou-se para os dois solos uma redução significativa da produção de matéria seca devida a calagem (Tabelas 12 e 13). Esta redução pode estar relacionada a uma deficiência de zinco, embora este nutriente tenha sido aplicado ao solo. Neste caso, o efeito da calagem, possivelmente, foi indireto quando ao elevar o pH de 4,2 - 4,5 para 5,7, contribuiu para um maior acúmulo de

fósforo nos tecidos da planta. Isto é comprovado se verificar nas Tabelas 12 e 13 que a concentração de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea foram maiores nos tratamentos com calcário. O fenômeno interação entre zinco e fósforo é bastante conhecido, sendo que uma das explicações possível dada por OLSEN (1972) para o fenômeno, refere-se a um distúrbio metabólico que ocorre nas células da planta, provocado pelo desbalanço entre fósforo e zinco ou pela interferência da concentração excessiva do fósforo na função metabólica do zinco.

A análise de variância dos dados indicou que houve uma interação entre fontes e calcário, com relação às três variáveis estudadas (Tabela 12). O desdobramento da interação para produção de matéria seca mostrou significância apenas para o FAPS x calcário. A adição de calcário diminuiu a produção de matéria seca nos tratamentos com FAPS. Embora este efeito foi significativo apenas no LVd (Tabela 12), também no LEd notou-se uma tendência em diminuir a produção de matéria seca pela aplicação de calcário (Tabela 13). Em relação ao FAPS, o resultado obtido neste trabalho está de acordo com as afirmações de FREIRE *et alii* (1983), segundo as quais a calagem prejudicou a eficiência de vários fosfatos, inclusive dos parcialmente acidulados, em termos de produção de matéria seca de sorgo. Pelo que se obtem na literatura, a calagem diminui a eficiência dos fosfatos naturais conforme resultados obtidos por GOEDERT e LOBATO (1980) e CANTARUTTI *et alii* (1981). Os resultados deste trabalho e aqueles apresentados

por FREIRE *et alii* (1983), mostram, entretanto, que a eficiência dos fosfatos parcialmente acidulados também é prejudicada quando se faz a correção da acidez do solo através da calagem, pelo menos em termos de produção de matéria seca.

A interação fonte x calcário afetou significativamente a concentração de fósforo na parte aérea no LVd (Tabela 12), não se verificando, entretanto, a mesma interação no LEd (Tabela 13). Ao fazer o desdobramento da interação, observou-se maior percentagem de fósforo quando da adição de calcário na presença tanto de SPT como de FAPS. Já, quando se considera o efeito da interação fonte x calcário sobre o fósforo acumulado, vê-se pelas Tabelas 12 e 13 que a calagem na presença de SPT aumentou o teor de fósforo na parte aérea. Observou-se, por outro lado, que na presença de FAPS, a calagem diminuiu o teor de fósforo, embora não foi significativo no LVd. Como já foi mencionado, isso se deveu à elevação do pH aumentando, assim, a disponibilidade de fósforo proveniente do SPT, enquanto que no caso do FAPS, a eliminação da acidez pela calagem tendeu à reduzir o fósforo "disponível", por razão já abordada quando da discussão do efeito da calagem sobre a eficiência do FAPS. Aliás, o comportamento das médias apresentadas nas Tabelas 12 e 13, relativas à produção de matéria seca, concentração de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea do arroz, considerando-se as duas fontes fosfatadas, seguiu o verificado na disponibilidade de fósforo medida através de extratores (Tabelas 7 e 8), com exceção para o fósfo-

ro "disponível" em Mehlich, dada a sua capacidade de extrair fósforo não "disponível" para as plantas, principalmente quando se emprega fosfatos de baixa solubilidade (FEITOSA e RAIJ, 1976; GOEDERT e LOBATO, 1980; RAIJ, et alii, 1982; BAHIA FILHO, 1982; CABALA e SANTANA, 1983a; FREIRE et alii, 1983).

O efeito do tempo de incubação sobre as três variáveis da planta estudadas diferiu significativamente, conforme mostra a análise de variância nas Tabelas 12 e 13. Deve ser observado que os maiores valores ocorreram no tempo zero, isto é, quando se aplicou o fósforo e imediatamente fez-se o plantio. O efeito deste tratamento foi mais acentuado para o fósforo acumulado na parte aérea, tendo sido bem superior ao efeito sobre a produção de matéria seca e concentração de fósforo.

Em geral, a medida que aumentou o tempo de contato dos adubos fosfatados com o solo, os teores de fósforo "disponível", principalmente os extraídos com Olsen+EDTA e Resina diminuíram. O mesmo aconteceu para a produção de matéria seca, concentração de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea, muito embora os valores obtidos a partir de 45 dias de incubação não se alteraram apreciavelmente. Estas observações foram verificadas para os dois tipos de solo em estudo (Tabelas 12 e 13). A explicação é que os íons fosfato liberados pela dissolução dos adubos, reagiram com os minerais do solo durante o período de incubação, resultando na adsorção e precipitação do fósforo como apresentado por COLEMAN et alii

TABELA 12. Rendimentos médios de matéria seca, concentração de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea do arroz, cultivar IAC-164 em diferentes tempos de incubação de amostras de solo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com duas fontes de fósforo, com e sem calcário.

Fontes Calcário	Matéria seca (g/vaso)					Concentração de fósforo (%)					Fósforo acumulado (mg/vaso)								
	Tempos de incubação (dias)					Tempos de incubação (dias)					Tempos de incubação (dias)								
	0	45	90	135	180	Média	0	45	90	135	180	Média	0	45	90	135	180	Média	
SPT(1) s/calc.	14,91	13,95	13,64	12,24	12,84	13,50	0,195	0,118	0,130	0,126	0,119	0,138b	29,01	16,40	17,75	15,21	15,28	18,70b	
c/calc.	14,04	13,59	13,33	13,31	13,15	13,50	0,224	0,155	0,150	0,146	0,149	0,165a	31,51	21,11	19,99	19,39	19,59	22,30a	
Média	14,47	13,77	13,48	12,77	12,99	13,50a	0,209	0,137	0,140	0,136	0,134	0,147a	30,26A	18,75B	18,87B	17,30B	13,43B	20,152a	
FAPS(2) s/calc.	15,10	13,58	14,03	12,64	12,19	13,50a	0,139	0,106	0,115	0,110	0,100	0,114b	20,99	14,39	16,31	13,91	12,12	15,50	
c/calc.	14,20	14,02	10,16	11,99	11,79	11,80b	0,169	0,127	0,115	0,116	0,106	0,127a	23,93	14,08	11,55	13,93	12,43	15,20	
Média	14,65A	12,30B	12,09B	12,31B	11,99B	12,67b	0,154	0,116	0,115	0,113	0,103	0,120b	22,46A	14,23B	13,93B	13,92B	12,27B	15,36b	
Média s/calc.	15,00A	13,76AB	13,83AB	12,44B	12,51B	13,51a	0,167	0,112	0,122	0,118	0,109	0,130b	25,00A	15,39B	17,03B	14,56B	13,70B	17,14b	
c/calc.	14,20A	12,30B	11,74B	12,65AB	12,47AB	12,67b	0,196	0,141	0,132	0,131	0,127	0,145a	27,72A	17,59B	15,77B	16,66B	16,01	18,75a	
Média	14,60A	13,03B	12,78B	12,54B	12,49B		0,181A	0,126B	0,127B	0,124B	0,118B		26,36A	16,49B	16,40B	15,61B	14,85B		
Teste F																			
Fontes (Fo)			8,87** (3)						85,61**										82,94**
Calcário (Ca)			9,36**						33,85**										8,07**
Tempos (Te)			7,48**						43,39**										55,88**
Fo x Ca			8,73**						5,68* (5)										12,03**
Fo x Te			1,22ns						2,53ns										1,64ns
Ca x Te			2,35ns						1,10ns										1,63ns
Fo x Ca x Te			1,19ns						0,40ns										1,15ns
DMS (Tukey 5%)																			
Tempos (Te)			1,26						0,016										2,57
Te dentro de Fo			1,79						-										3,64
Te dentro de Ca			1,79						-										3,64
Coef. de Variação (%)																			12,26

- Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

(1) SPT - Superfosfato Triplo; (2) FAPS - Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado; (3) ** - significância ao nível de 1% de probabilidade; (4) ns - não significativo; (5) * - significância ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 13. Rendimentos médios de matéria seca, concentração de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea do arroz, cultivar IAC-164 em diferentes tempos de incubação de amostras de solo Latossolo Vermelho Escuro distrófico com duas fontes de fósforo com e sem calcário.

Fonte Calcário	Matéria seca (g/vaso)					Concentração de fósforo (%)					Fósforo acumulado (mg/veso)							
	Tempos de incubação (dias)					Tempos de incubação (dias)					Tempos de incubação (dias)							
	0	45	90	135	180	Média	0	45	90	135	180	Média	0	45	90	135	180	Média
SPT(1) s/calc.	14,64	13,54	14,20	12,74	10,84		0,168	0,110	0,106	0,100	0,100	24,66	13,60	14,90	12,03	10,39	15,10 b	
c/calc.	13,69	11,71	12,34	11,97	11,62		0,188	0,124	0,117	0,122	0,116	24,70	14,40	14,51	14,76	13,54	16,40 a	
Média	14,16	12,62	13,27	12,35	11,23	12,73a	0,178aA	0,113aB	0,112aB	0,110aB	0,106aB	0,124a	24,68aA	14,00aB	14,25aB	13,39aB	11,95aB	15,66a
FAPS(2) s/calc.	14,26	13,46	10,45	10,72	9,78		0,124	0,096	0,097	0,106	0,117	17,45	11,85	9,45	10,77	11,39	12,20 a	
c/calc.	13,06	9,13	8,78	8,14	9,03		0,132	0,115	0,113	0,109	0,115	16,32	10,24	9,92	8,37	10,01	11,00 b	
Média	13,71	11,29	9,61	9,43	9,40	10,69b	0,128aA	0,105aB	0,108aB	0,116aB	0,112b	16,88aA	11,04bB	9,68bB	9,57bB	10,70aB	11,57b	
Média s/calc.	14,50	13,50	12,32	11,73	10,31	12,47a	0,150	0,100	0,100	0,100	0,106	0,111b	21,05A	12,72B	12,17B	11,40B	10,89B	13,65
c/calc.	13,37	10,42	10,56	10,05	10,32	10,94b	0,154	0,119	0,115	0,113	0,114	0,123a	20,51A	12,32B	12,21B	11,56B	11,77B	13,67
Média	13,93A	11,96B	11,44B	10,89B	10,31B		0,152A	0,109B	0,108B	0,107B	0,110B	20,78A	12,52B	12,19B	11,48B	11,33B		
Teste F																		
Fontes (Fo)			27,72** (3)						12,99**						73,41**			
Calcário (Ca)			15,51**						19,61**						0,00ns			
Tempos (Te)			10,25**						29,05**						54,22**			
Fo x Ca			2,39ns (4)						1,28ns						6,45* (5)			
Fo x Te			2,15ns						9,83**						5,03**			
Ca x Te			1,67ns						0,91ns						0,23ns			
Fo x Ca x Te			0,40ns						0,99ns						1,26ns			
DMS (Tukey 5%)																		
Tempos (Te)									0,015						2,21			
Te dentro de Fo									0,021						3,12			
Te dentro de Ca															3,12			
Coef. de Variação (%)																		13,81

- Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

(1) SPT - Superfosfato Triplo; (2) FAPS - Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado; (3)** - significância ao nível de 1% de probabilidade;

(4) ns - não significativo; (5) * - significância ao nível de 5% de probabilidade.

(1960); HSU (1965) e PARFITT *et alii* (1975). TERMAN *et alii* (1960) verificaram que superfosfato, aplicado de 3 a 6 meses antes da germinação de sementes de forrageiras, teve resposta menor do que os aplicados no plantio, fato este que os autores também atribuíram à adsorção e/ou fixação. A diminuição do fósforo "disponível" e conseqüentemente, o menor aproveitamento pelas plantas de fósforo liberado de vários fosfatos, como resultado de um maior tempo de contato fosfato-solo, também foi observado por BRAGANÇA (1979); NOVAIS *et alii* (1980); CABALA e WILD (1982); CABALA e SANTANA (1983b) e NOVELINO *et alii* (1985).

Houve uma interação significativa entre fontes e tempo de incubação no LEd (Tabela 13), com relação a concentração de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea. Quando se comparou os tempos de incubação dentro das fontes, observou-se um aumento significativo da percentagem de fósforo no tempo zero de incubação correspondente ao tratamento com SPT, não havendo diferença significativa nos demais tempos de incubação. Contudo, considerando o fósforo acumulado na parte aérea, o tratamento com SPT foi estatisticamente superior ao FAPS dentro dos períodos de incubação. Exceção ocorreu no tempo de 180 dias, onde não houve diferença entre eles.

Os resultados evidenciam, portanto, que a maior disponibilidade de fósforo tanto do SPT quanto do FAPS, aconteceu dentro de um tempo relativamente curto, havendo a partir daí uma rápida imobilização do fósforo, como já mencionau

da anteriormente. Resultados muito semelhantes a estes foram obtidos por CABALA e WILD (1982) para um Oxissol da Bahia incubado com superfosfato e fosfatos de Gafsa e de Marrocos por períodos de 0, 90, 180 e 270 dias antes do plantio de sorgo. Com o aumento do tempo de reação, verificaram um rápido decréscimo na disponibilidade de fósforo, sendo que os melhores resultados em termos de produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea também foram obtidos no tempo zero, ou seja, quando se efetuou o plantio imediatamente após aplicação dos fosfatos.

4.5. RELAÇÃO ENTRE TEORES DE FÓSFORO NO SOLO E RESPOSTA DO ARROZ

Os teores de fósforo obtidos com os quatro extratores estudados antes do plantio, foram correlacionados com as produções de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea do arroz. Para isso foram excluídos os valores dessas duas variáveis, correspondentes ao tempo zero de incubação, pelo fato das amostras de solo desse tratamento não terem sido analisadas para fósforo. Utilizou-se uma equação do tipo $Y = a + b/x$ por ser a que mais ajustou aos dados experimentais entre várias alternativas testadas.

Pela análise de correlação (Figuras 1, 2, 3 e 4), encontrou-se uma correlação altamente significativa entre

os teores de fósforo extraído pelos extratores e a produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea, com exceção para o método da Resina que não correlacionou com a produção de matéria. Os coeficientes de correlação foram mais altos quando o fósforo foi extraído com Olsen+EDTA e Bray-1 do que com os demais extratores.

Os baixos coeficientes de correlação encontrados podem ser atribuídos em parte ao efeito das fontes de fósforo e do calcário em cada solo. Outra causa dos baixos coeficientes pode ser a pequena variação nos valores de fósforo acumulado e produção de matéria seca verificados durante todos os tempos de incubação, a partir de 45 dias (Tabelas 12 e 13)

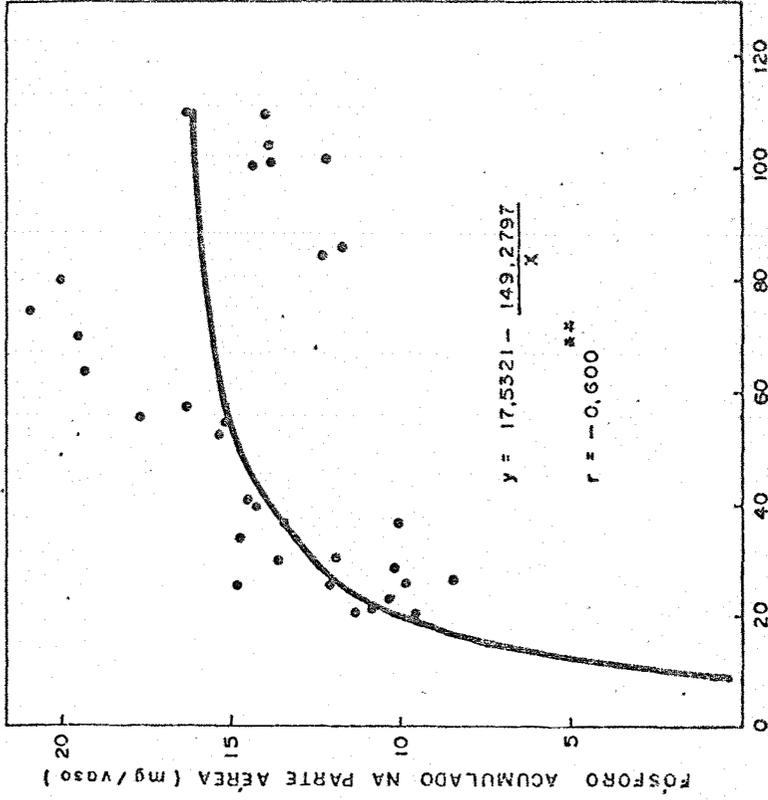
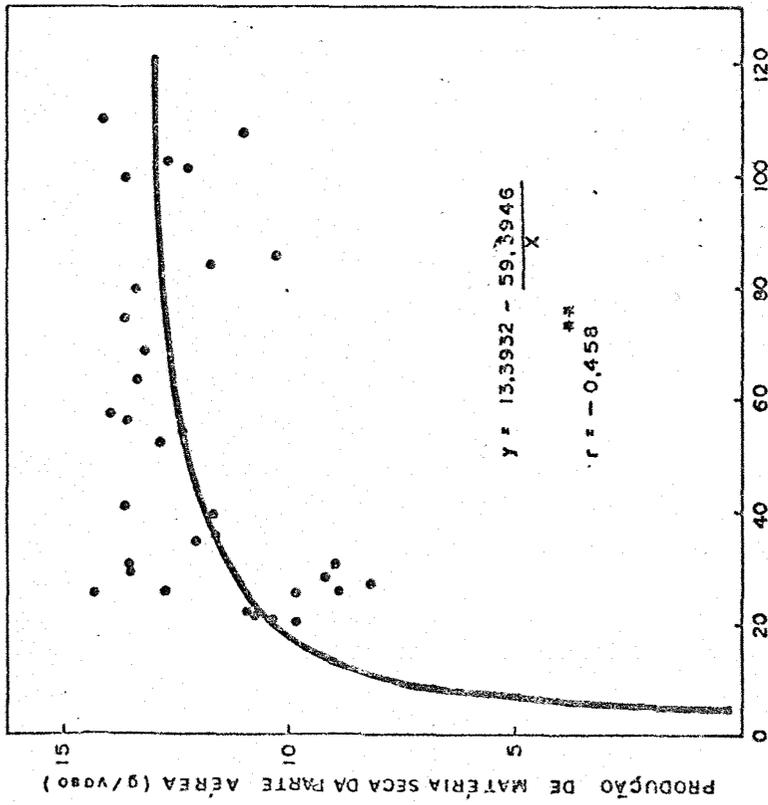
Com o objetivo de verificar o efeito das fontes de fósforo e do calcário nos coeficientes de correlação, foram correlacionados os valores das variáveis da planta com os teores de fósforo obtidos para os dois solos e os diversos tempos de incubação em cada fonte na presença e ausência da calagem (Tabela 14). Os coeficientes de correlação linear foram maiores do que quando se consideraram as fontes e a calagem, o que confirma a justificativa anterior para os baixos coeficientes de correlação mostrados nas Figuras de 1 a 4.

Quando os extratores de fósforo do solo foram comparados entre si (Tabela 10), encontrou-se correlação positiva e altamente significativa entre Mehlich e Bray-1 no SPT; Mehlich e Bray-1 e Olsen+EDTA e Bray-1 quando a fonte usa

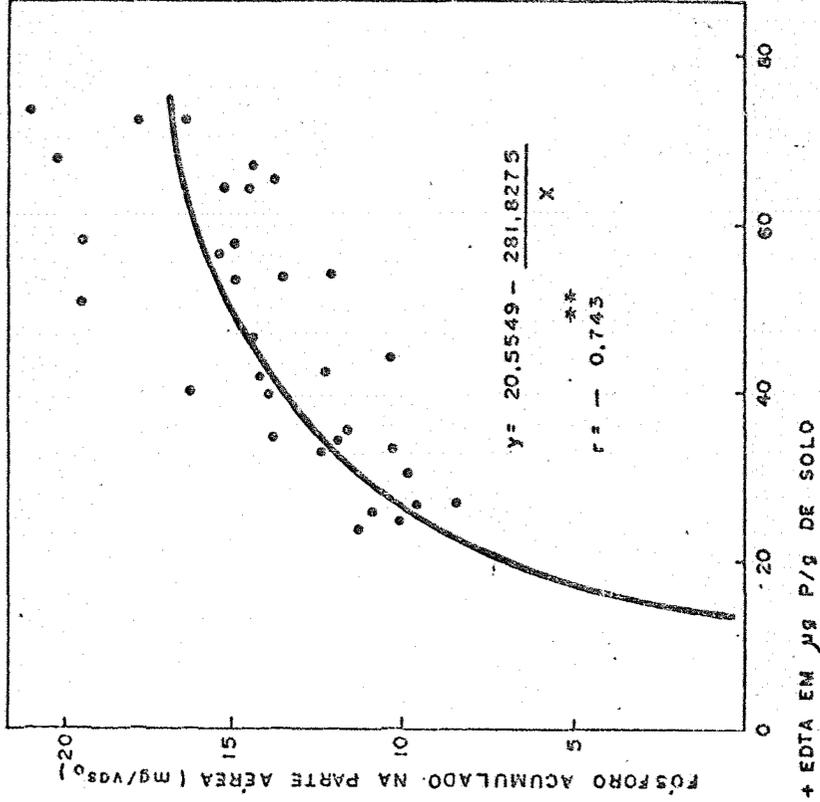
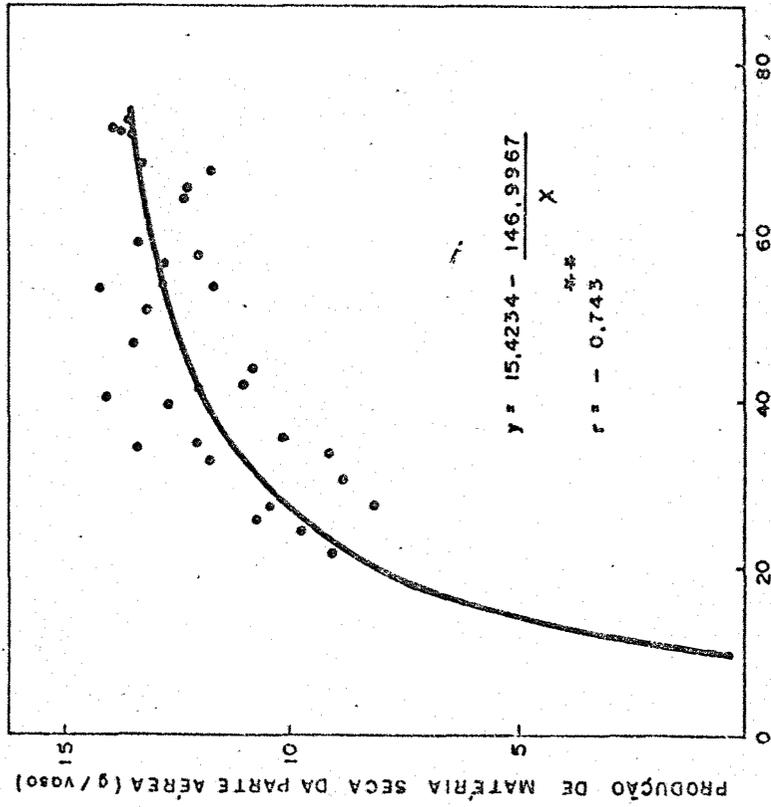
da foi o FAPS, tanto na presença como na ausência de calcário. Também, quando foram correlacionados os teores de fósforo extraídos pelos extratores com as variáveis da planta de arroz (Tabela 14), verificou-se as melhores correlações para os extratores de Mehlich e Bray-1 nas amostras de solo tratadas com SPT para todas as variáveis, enquanto que nos tratamentos com FAPS, os maiores coeficientes foram obtidos para Mehlich, Olsen+EDTA e Bray-1, porém, de um modo geral não houve correlação com a percentagem de fósforo na parte aérea. Nas amostras que receberam SPT e calcário, houve uma correlação significativa e negativa para o método da Resina, não se verificando, praticamente, outras correlações entre esse extrator e as variáveis consideradas (Tabela 14).

A maior e mais consistente correlação entre fósforo extraído do solo e a quantidade de fósforo acumulada na parte aérea, sugere que este último parâmetro foi melhor que a concentração de fósforo na planta ou a produção de matéria seca, para avaliar o fósforo "disponível" do solo, conforme foi também verificado por PACK e GOMEZ (1956).

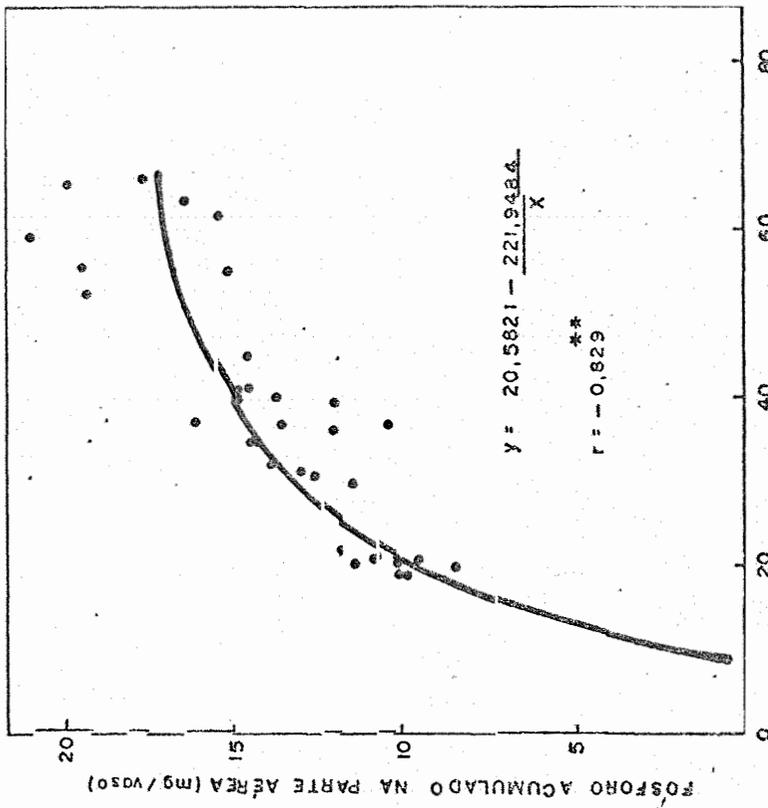
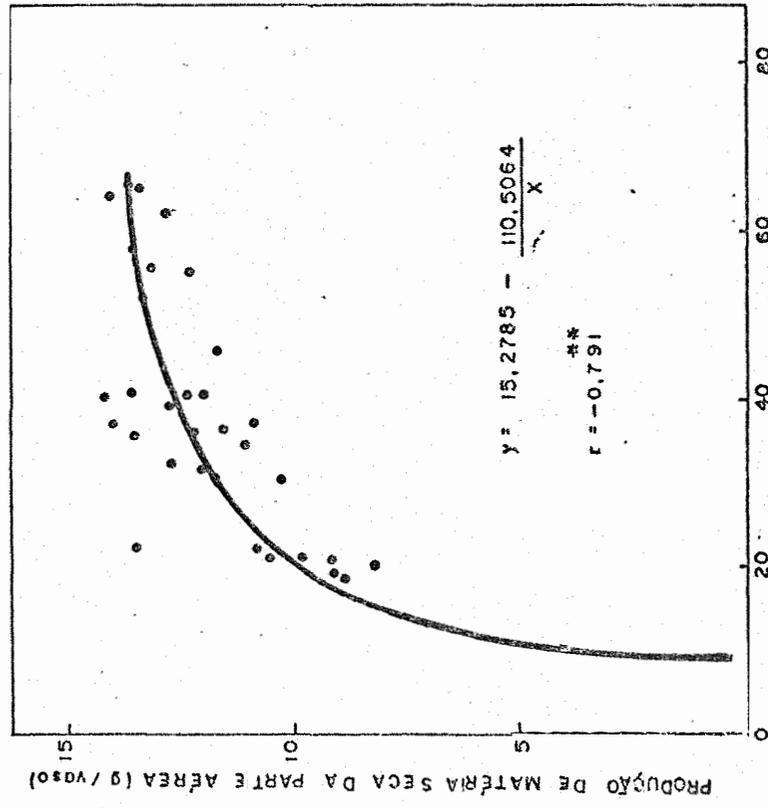
Os dados relativos às variáveis da planta foram relacionados com as frações do fósforo inorgânico. Os resultados estão na Tabela 15. Observou-se para o SPT que das frações de fósforo inorgânicas do solo, as de $P-NH_4Cl$ e $P-Fe$ foram as que mais alteraram a produção de matéria seca, concentração de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea. Houve correlação negativa e significativa com a fração $P-Al$ nas



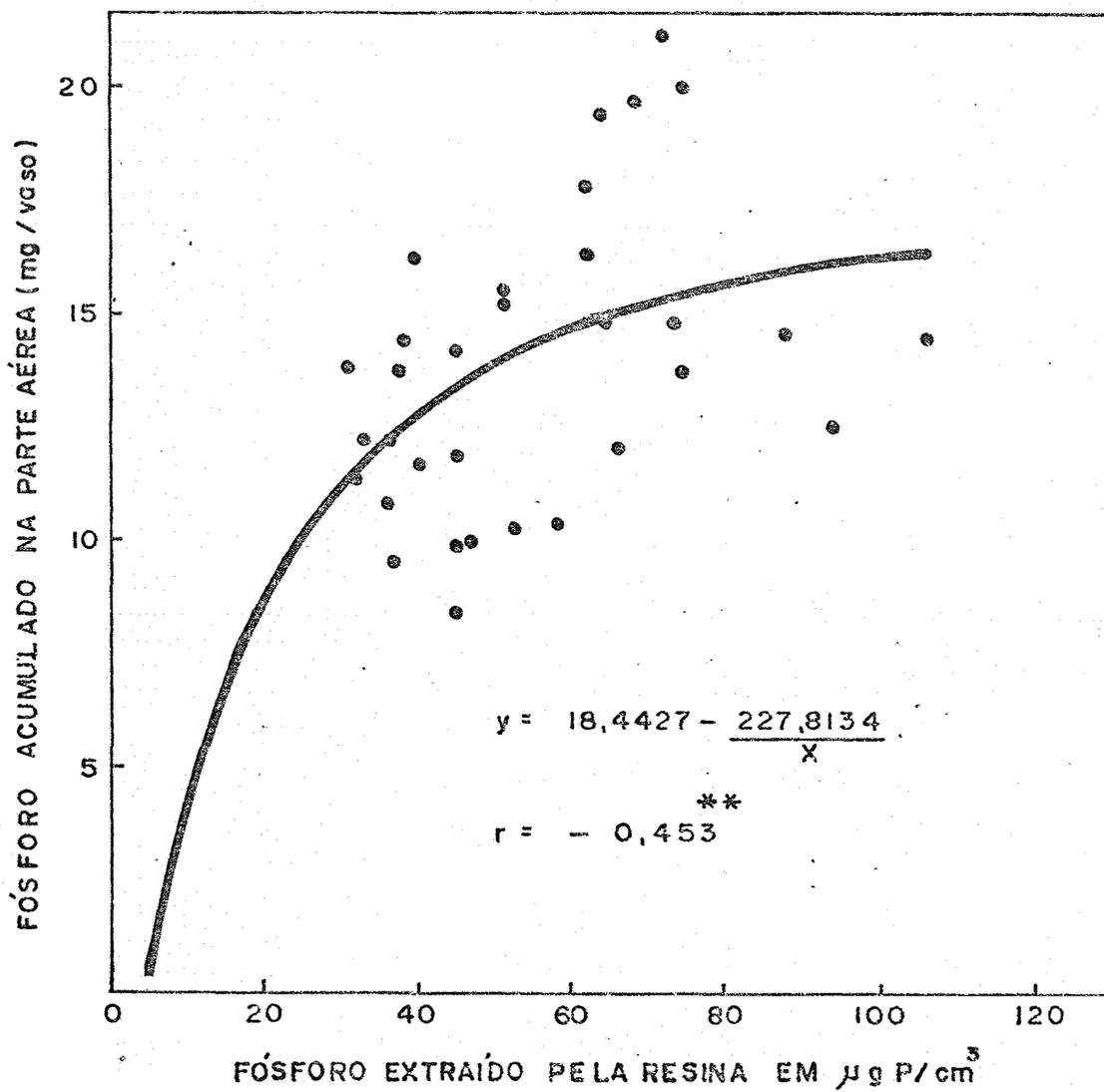
Relação entre fósforo extraído pelo método de Mehlich e as variáveis, produção de matéria seca da parte aérea e fósforo acumulado na parte aérea do arroz.



Relação entre fósforo extraído pelo método de Olsen+EDTA e as variáveis produção de matéria seca da parte aérea e fósforo acumulado na parte aérea do arroz.



Relação entre fósforo extraído pelo método de Bray-1 e as variáveis produção de matéria seca da parte aérea e fósforo acumulado na parte aérea do arroz.



Relação entre fósforo extraído pelo método da resina e fósforo acumulado na parte aérea do arroz.

TABELA 14. Relações entre fósforo extraído com extratores em dois solos incubados por vários tempos, antes do plantio, com produção de matéria seca, % de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea, para cada fonte, sem e com calcário.

Variáveis da planta	Mehlich		Olsen+EDTA		Bray-1		Resina	
	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.
SUPERFOSFATO TRIPLIO								
Produção de matéria seca	n.s.	0,944**	n.s.	n.s.	n.s.	0,943**	n.s.	-0,725*
% de P na parte aérea	0,933**	0,959**	n.s.	n.s.	0,906**	0,935**	n.s.	-0,783*
P acumulado na parte aérea	0,827*	0,967**	0,818*	n.s.	0,852**	0,929**	n.s.	-0,750*
FOSFATO DE ARAXÁ PARCIALMENTE SOLUBILIZADO								
Produção de matéria seca	0,726*	0,907**	0,843**	n.s.	n.s.	0,900**	n.s.	-0,732*
% de P na parte aérea	n.s.	n.s.	n.s.	0,755*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
P acumulado na parte aérea	0,841**	0,942**	0,746*	0,793*	0,810*	0,918**	n.s.	n.s.

** - significativo a 1% de probabilidade

* - significativo a 5% de probabilidade

ns - não significativo

TABELA 15. Relações entre formas de fósforo inorgânico em dois solos incubados por vários tempos, antes do plantio, com produção de matéria seca, % de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea para cada fonte, sem e com calcário.

Variáveis da planta	P-NH ₄ Cl		P-Al		P-Fe		P-Ca	
	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.	s/calc.	c/calc.
SUPERFOSFATO TRIPLO								
Produção de matéria seca	n.s.	0,927**	n.s.	-0,927**	n.s.	0,827*	n.s.	n.s.
% de P na parte aérea	0,766*	0,918**	-0,861**	-0,906**	0,778*	0,868**	n.s.	n.s.
P acumulado na parte aérea	n.s.	0,939**	n.s.	-0,922**	n.s.	0,862**	n.s.	n.s.
FOSFATO DE ARAXÁ PARCIALMENTE SOLUBILIZADO								
Produção de matéria seca	n.s.	-0,851**	n.s.	n.s.	n.s.	0,870**	n.s.	0,897**
% de P na parte aérea	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
P acumulado na parte aérea	-0,726*	-0,897**	n.s.	n.s.	0,707*	0,846**	0,766*	0,865**

** - significativo a 1% de probabilidade
 * - significativo a 5% de probabilidade
 ns - não significativo

amostras com calcário. A fração P-Ca não alterou significativamente as variáveis consideradas.

Quando se considerou a adição do FAPS, as frações que mais se correlacionaram com produção de matéria seca e fósforo acumulado foram P-Fe e P-Ca. Daí pode-se afirmar que não só a adição de fósforo ao solo altera as frações de fósforo preferencialmente absorvidas, conforme relatam LAVERTY e McLEAN (1961); FASSBENDER et alii (1968) e MIYAKE et alii (1984), mas também a forma em que este elemento é adicionado ao solo, como mostrado na Tabela 15.

As correlações verificadas entre $P-NH_4Cl$ e P-Ca com a produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea, estão relacionadas ao comportamento no solo e às próprias características químicas e de composição dos fosfatos utilizados.

Quando da discussão dos dados da Tabela 11, encontrou-se que os teores de fósforo "disponível" pelos extractores de Mehlich e Bray-1 correlacionaram com a fração P-Fe, independentemente da fonte usada, o que explica a absorção, pela planta, do fósforo, da forma P-Fe. Ainda, deve-se considerar que da quantidade total de fósforo (soma de todas as frações), a maior quantidade de fósforo se encontrava sob a forma P-Fe, o que justifica a absorção preferencial verificada neste trabalho. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Al-ABBAS e BARBER (1964) e BRAGA e DEFELIPO (1972b).

4.6. CURVAS DE RESPOSTA AO SUPERFOSFATO TRIPLO

Com objetivo de avaliar a eficiência do FAPS nos diferentes tempos de incubação, foi obtida uma curva de resposta ao superfosfato triplo adicionado aos solos imediatamente antes do plantio (tempo zero de incubação), utilizando como parâmetro o crescimento do arroz. Na Figura 5 são mostradas as equações de resposta entre produções de matéria seca da parte aérea e diferentes níveis de fósforo.

Nos dois solos os níveis de fósforo aplicados resultaram em produções muito semelhantes do ponto de vista estatístico e biológico. Os dois solos usados apresentam baixo teor de fósforo "disponível" como foi mostrado na Tabela 2 e, por isso a alteração na produção foi muito grande, mesmo quando se adicionou a primeira dose de fósforo (50 ppm). Com esta quantidade de fósforo aplicada, a produção atingiu praticamente a produção máxima, sem que as curvas de resposta apresentassem declínios, mesmo ao nível de 250 ppm de fósforo. Em consequência, o ajuste ao modelo do segundo grau não se mostrou adequado, adotando-se, assim, o modelo linear.

A análise de variância dos dados de produção de matéria seca da parte aérea revelou efeito significativo para doses de fósforo, calcário e a interação fósforo x calcário (apêndice, Tabela 18). Diante disso, obteve-se as curvas de resposta do arroz ao fósforo adicionado, na presença e na ausência da calagem para os dois solos (Figura 5). Pode ser

observado que em doses acima de 50 ppm, o arroz respondeu mais ao fósforo quando este foi aplicado na ausência da calagem. O mesmo aconteceu para o fósforo absorvido e acumulado na parte aérea (Apêndice, Figura 6). Da mesma forma, também, este efeito negativo da calagem na produção de matéria seca foi verificado no experimento de incubação já discutido anteriormente (Tabelas 12 e 13).

A causa do decréscimo na produção de matéria seca e do fósforo absorvido na presença da calagem é de difícil explicação. A análise do tecido vegetal mostrou que o fósforo aplicado e a calagem diminuíram a concentração de zinco na parte aérea, embora a níveis não considerados normalmente deficientes (Apêndice, Tabela 19). Alguns trabalhos tem mostrado resultados em que a correção da acidez resultou também em decréscimo na produção, quando era esperada resposta positiva ao tratamento. REEVE e SUMNER (1970) observaram decréscimo no rendimento de sorgo cultivado em oito Oxisolos quando o pH foi elevado a 5,5 pela calagem, entretanto, houve efeito benéfico quando aumentaram o pH 4,5 a 5,1, sugerindo que a calagem pode ter reduzido a disponibilidade de micronutrientes. O efeito de diferentes doses de fósforo e calcário no rendimento de matéria seca e concentração de fósforo do milho foi apresentado por AMARASIRI e OLSEN (1973). Observaram que o máximo rendimento foi alcançado quando o pH era 5,3 e que a níveis mais altos de fósforo e calcário, ocorria decréscimos significativos no rendimento. A justificativa dos auto

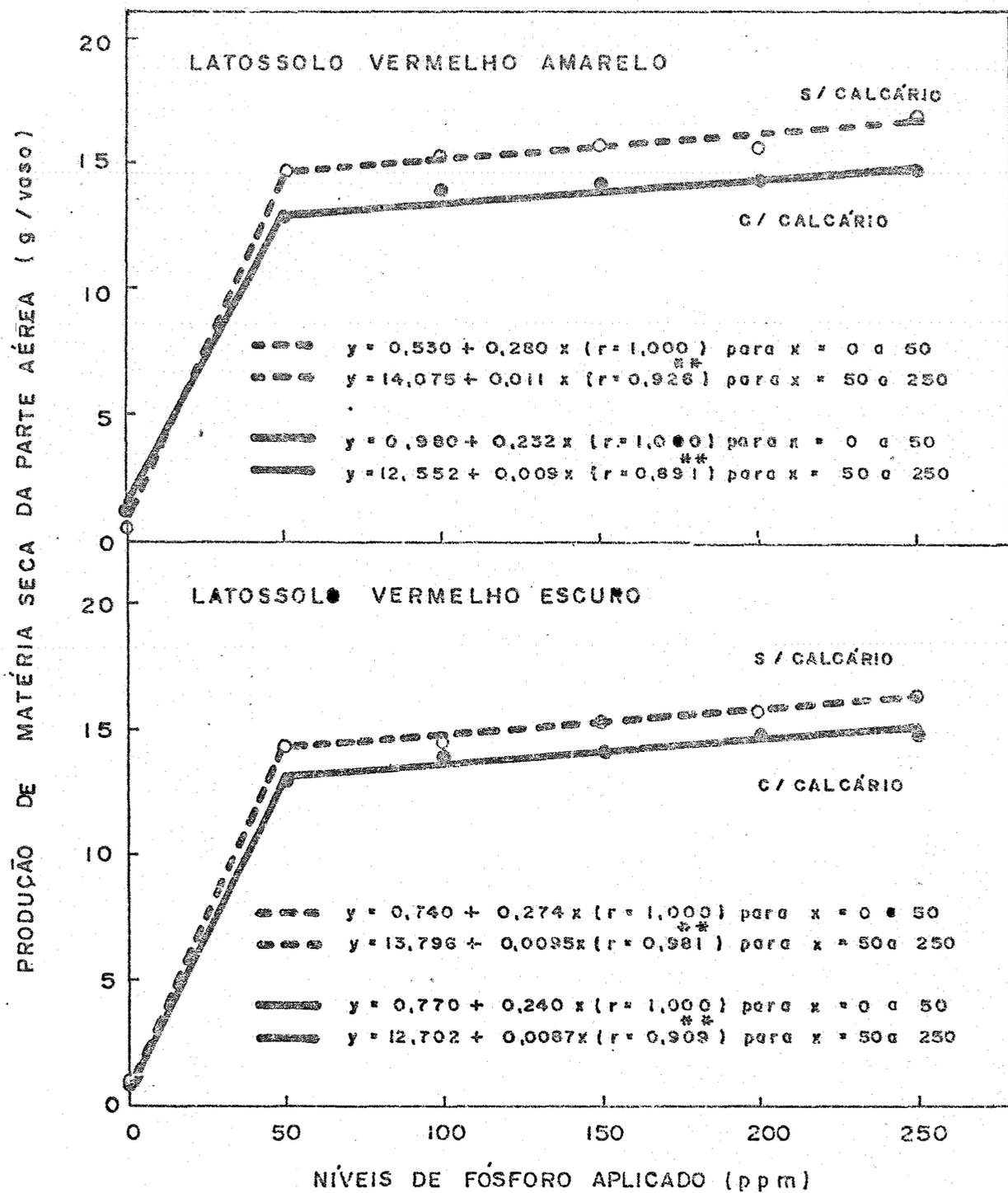


FIGURA 5. Produção de matéria seca da parte aérea com diferentes níveis de fósforo, com e sem calcário.

res é que tais tratamentos reduzi^{am} as concentrações de Fe, Mn, Zn e Mg no tecido da planta. Por exemplo, para os níveis de 0 e 10.000 ppm de CaCO_3 foram encontrados, respectivamente, 111 e 59 ppm de Fe, 91 e 19 ppm de Zn, 350 e 81 ppm de Mn e 2.600 e 1.200 ppm de Mg. Também, BAHIA e BRAGA (1974) estudando as relações entre adubação fosfatada, calagem e zinco na nutrição do milho, em dois solos ácidos, obtiveram resultados semelhantes.

Possivelmente, outros fatores nutricionais estejam envolvidos, já que os teores de zinco encontrados na parte aérea não são considerados deficientes (Apêndice, Tabela 19). Nesse caso, a concentração de zinco em si não seria a causa do decréscimo no crescimento. O mais provável é que a adubação fosfatada e a calagem tenham provocado um desequilíbrio nas relações críticas de P/Zn e Ca/Zn para o crescimento das plantas.

4.7. COMPARAÇÃO DO FAPS COM O SUPERFOSFATO TRIPLO

Utilizando-se das equações de regressão que descreveram as curvas de resposta ao superfosfato triplo (Figura 5), foi possível calcular a equivalência dos dois fosfatos, em vários tempos de incubação e compará-las com as do SPT no tempo zero, com base na produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 16). No LVD, o FAPS mostrou uma maior equivalência ao

SPT no tempo zero, independentemente da calagem, enquanto que, no LEd a situação foi inversa, ou seja, a equivalência do FAPS ao SPT foi muito menor neste solo. Houve em todos os casos, uma diminuição na equivalência dos dois fosfatos à medida que aumentou o tempo de incubação, por exemplo, para o LVd e para as amostras sem calagem, verificou-se que 76 ppm de fósforo na forma de SPT equivale a 96 ppm sob a forma de FAPS no tempo zero e que, após 45 dias de contato com o solo, estes valores equivaleriam a 48 e 47 ppm de fósforo, respectivamente nas formas de SPT e FAPS. Isto mostra, claramente, que o processo de imobilização do fósforo ocorre muito rapidamente nestes solos, reduzindo, consideravelmente, o valor fertilizante inicial do SPT e do FAPS. Estes resultados, no que se refere ao SPT, estão de acordo com aqueles de CABALA e WILD (1982).

Ainda pela Tabela 16, constatou-se que as duas fontes tiveram comportamento distinto, principalmente nas amostras de solo que receberam calcário. No LVd, os dois fosfatos mostraram uma equivalência maior do que no LEd, em todos os tempos de incubação. Também, pode-se observar que a equivalência ao SPT do FAPS foi muito menor em todos os períodos de incubação, comparada à do próprio SPT. Isto porque a calagem favorece o crescimento das plantas nos tratamentos com SPT, ao passo que nos tratamentos com FAPS houve uma tendência em reduzir esse crescimento.

TABELA 16. Equivalências de fontes de fósforo baseadas na produção de matéria seca após cada tempo de incubação, calculadas com base nas equações de regressão das curvas de resposta ao SPT em cada solo, com e sem calcário, no tempo zero.

Solo	Fonte	Tempo de incubação (dias)									
		0	45	90	135	180					
		ppm(5)	% (6)	ppm	%	ppm	%	ppm	%		
LVd (1)	SPT (3)	76	100	48	63	47	62	42	55	44	58
	FAPS (4)	96	122	47	62	48	63	43	57	42	55
LEd (2)	SPT	89	100	47	53	43	48	44	49	37	42
	FAPS	59	66	46	52	35	39	36	40	33	37
SEM CALCÁRIO											
LVd	SPT	165	100	110	67	86	52	84	51	66	40
	FAPS	183	111	43	26	40	24	47	28	47	28
COM CALCÁRIO											
LEd	SPT	114	100	46	40	48	42	47	41	45	39
	FAPS	41	36	35	31	33	29	26	23	34	30

(1) LVd - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; (2) LEd - Latossolo Vermelho Escuro distrófico; (3) SPT - Superfosfato Triplo; (4) FAPS - Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado; (5) ppm é a equivalência das fontes de fósforo do experimento de incubação ao SPT da curva de resposta; (6) Considerou-se 100% o valor encontrado para o SPT no tempo zero.

Para caracterizar a eficiência agronômica do FAPS calculou-se para cada tempo de incubação, a relação percentual entre produção de matéria seca obtida com o FAPS comparada com a obtida com SPT, na mesma dose de P_2O_5 . Esses índices, mostrados na Tabela 17, indicaram de modo geral, que o FAPS apresentou eficiência inferior a do SPT, o que se verifica mais claramente nas amostras com calcário e mais especificamente no LEd. Isto sugere que para se obter efeitos semelhantes aos do SPT, são necessárias quantidades mais elevadas do FAPS. O fato se deve que dos 26% de P_2O_5 total do FAPS, apenas 30,77% foram solúveis em água e 38,46% o foram em ácido cítrico a 2% (Tabela 3). Ainda, pode-se verificar pela Tabela 17, que no tempo zero correspondente ao plantio imediatamente após aplicação dos fosfatos, obteve-se para o FAPS produções iguais ou ligeiramente inferiores às verificadas para o SPT. Resultados semelhantes a estes foram obtidos para diversas culturas por McLEAN e WHEELER (1964); McLEAN et alii (1965); MALAVOLTA et alii (1981); MALAVOLTA et alii (1982); NAKAYAMA (1982); NOVAIS et alii (1983); BARBOSA FILHO et alii (1983) e FREIRE et alii (1983). A razão para o efeito favorável dos fosfatos parcialmente acidulados aplicados em solos ácidos, foi atribuída por McLEAN e WHEELER (1964) e McLEAN et alii (1965) a uma menor ativação dos íons Fe e Al e à reação do H_3PO_4 formado no solo com a rocha não tratada do fosfato parcialmente acidulado.

TABELA 17. Relação percentual entre produções de matéria seca obtidas com fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS) e as obtidas com Superfosfato Triplo (SPT) no nível de 200 ppm de fósforo aplicado.

Calcário	100 . 200 P ₂ O ₅ (FAPS)/200 P ₂ O ₅ (SPT)					Média
	Tempo de incubação (dias)					
	0	45	90	135	180	
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO (LVd)						
Sem	101	97	103	103	95	99,8
Com	101	81	76	90	89	87,4
Média	101	89	89	96	92	93,6
LATOSSOLO VERMELHO ESCURO (LEd)						
Sem	98	99	73	84	90	88,8
Com	95	78	71	68	78	78,0
Média	96	88	72	76	84	83,4

5. CONCLUSÕES

Nas condições experimentais desse trabalho e considerando-se os dados obtidos, podem ser tiradas as seguintes conclusões:

Quando se considera o efeito dos dois fosfatos, da calagem e dos tempos de incubação estudados no presente trabalho, os teores de fosfatos inorgânicos decrescem na seguinte ordem: P-Fe > P-Ca > P-Al > P-NH₄Cl para o Latossolo Vermelho Amarelo (LVd) e P-Fe = P-Al > P-Ca > P-NH₄Cl para o Latossolo Vermelho Escuro (LEd). Dependendo do tipo de solo, a calagem altera diferentemente os teores das frações de P do solo. No LVd, há aumento dos teores de P-NH₄Cl e P-Ca, ao passo que no LEd ocorre uma redução nos teores de P-Al, um aumento nos teores de P-NH₄Cl e nenhuma alteração nos teores de P-Fe e P-Ca. Com adição de SPT aos dois solos, os teores de P-NH₄Cl, P-Al e P-Fe são significativamente maiores, comparados ao FAPS. A adição desse último fosfato aumenta os teores

de P-Ca, em ambos solos. As quantidades das diversas frações de P não variam com o tempo de incubação das amostras de solos, dentro do período estudado de 45 a 180 dias.

Independentemente da calagem, em solos adubados com SPT as soluções de Mehlich, Olsen + EDTA e Bray-1 extraem fósforo predominantemente das frações P-NH₄Cl e P-Fe. Quando se aduba com FAPS, essas soluções extraem mais fósforo das frações P-Ca e P-Fe. Essas relações também se verificam com a resposta da planta. Com o aumento do tempo de incubação há uma diminuição dos teores de P "disponível" extraídos com Olsen+EDTA, Bray-1 e Resina. O mesmo ocorre com relação às variáveis de planta consideradas. Há um rápido decréscimo na produção de matéria seca, concentração de P e P acumulado na parte aérea, sendo que os maiores valores são obtidos quando se efetua o plantio imediatamente após a aplicação dos fosfatos.

A equivalência dos dois fosfatos ao SPT diminui à medida que aumenta o tempo de incubação, tendo sido a do FAPS sempre menor em todos os períodos de incubação, principalmente em solos que recebem calcário, exceto no LVd quando o FAPS é aplicado no tempo zero.

A eficiência agronômica do FAPS comparada a do SPT varia com o tempo de incubação, apresentando no tempo zero, uma eficiência igual a do SPT. Entretanto, quando se considera todos os períodos de incubação, o FAPS é inferior ao SPT, principalmente quando se faz calagem.

6. LITERATURA CITADA

- AL-ABBAS, A.H. e S.A. BARBER, 1964. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus: 1. Correlation of soil phosphorus fractions with plant-available phosphorus. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28: 218-221.
- ALMEIDA NETO, J.X. de, 1979. Caracterização das formas de fósforo e emprego de diferentes extratores para avaliar o P "disponível" em solos de Goiás. Piracicaba, SP, ESALQ-USP, 138p. (Tese de Doutorado).
- AMARASIRI, S.L. e S.R. OLSEN, 1973. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37: 716-721.
- AMER, F.; D.R. BOULDIN; C.A. BLACK e F.R. DUKE, 1955. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P³² equilibration. *Plant and Soil*, 6(4): 391-408.
- ASHBY, D.L.; W.É. FENSTER e O.J. ATTOE, 1966. Effect of partial acidulation and elemental sulfur on availability of phosphorus in Rock Phosphate. *Agronomy Journal*, 58: 621-625.

- BACHE, B.N., 1963. Aluminum and iron phosphate studies relating to soil. I. Solution and hydrolysis of variscite and strengite. *J. Soil Sci.*, 14: 113-123.
- BAHIA FILHO, A.F.C. e BRAGA, J.M., 1975. Fósforo em Latossolo do Estado de Minas Gerais: II. Quantidade de fósforo e fósforo "disponível". *Rev. Ceres*, 22(119): 50-61.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; C.A. VASCONCELOS; H.L. SANTOS; J.F. MENDES; G.V.E. PITTA e A.C. OLIVEIRA, 1982. Formas de fósforo inorgânico e fósforo "disponível" em um Latossolo Vermelho-Escuro, fertilizado com diferentes fosfatos. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 6: 99-104.
- BAHIA, F.G.F.T. e J.M. BRAGA, 1974. Influência da adubação fosfatada e calagem sobre a absorção do zinco, em dois solos de Minas Gerais. *Rev. Ceres*, 21(115): 167-192.
- BARBER, S.A. e A.H. AL-ABBAS, 1964. A soil test for P based upon fractionation of soil phosphorus. I. Correlation of phosphorus fractions with plant available P. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28: 218-221.
- BARBOSA FILHO, M.P.; N.K. FAGERIA e F.M. DALL'ÁQUA, 1983. Avaliação agronômica de fontes alternativas de fósforo em solo de cerrado. EMBRAPA/CNPAP, Série: Documentos, 7. 12p.
- BRAGA, J.M., 1969. Comparação de fosfatos aplicados ao feijoeiro. I. Trabalhos de casa de vegetação. *Rev. Ceres*, 16: 88-101.
- BRAGA, J.M. e B.V. DEFELIPO, 1972a. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado. I. Trabalhos de laboratório. *Rev. Ceres*, 19(102): 124-136.

- BRAGA, J.M. e B.V. DEFELI PO, 1972b. Relação entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material em solos sob vegetação de cerrado. II. Trabalhos em estufa. *Rev. Ceres*, 19(104): 248-260.
- BRAGANÇA, J.B., 1979. Solubilização do fosfato de Araxã, em diferentes tempos de incubação, em um solo com diversos níveis de alumínio trocável. Viçosa, MG, UFV, 69p. (Tese de Mestrado).
- BRAY, R.H. e L.T. KURTZ, 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- CABALA, R.P. e H.W. FASSBENDER, 1970. Formas del fósforo en suelos de la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Turrialba*, Costa Rica, 20(4): 439-444.
- CABALA, R.P. e H.W. FASSBENDER, 1971. Efecto del encalado en las formas y disponibilidad de fósforo en suelos de la region cacaotera. Bahia, Brasil. *Turrialba*, Costa Rica, 21: 38-46.
- CABALA, R.P. e A. WILD, 1982. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. I. Effect of reaction time in soil. *Plant and Soil*, 65: 351-362.
- CABALA, R.P. e M.B.M. SANTANA, 1983a. Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. *Rev. bras. Ci. Solo*, Campinas, 7: 109-118.
- CABALA, R.P. e M.B.M. SANTANA, 1983b. Influência do tempo de contato com o solo e valor fertilizante de fontes fosfatadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XIX, Curitiba, Resumos. 126p.

- CATARUTTI, R.B.; J.M. BRAGA; R.F. NOVAIS e J.T.L. THIÉBAUT, 1981. Época de aplicação de fosfato natural em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 5: 129-133.
- CATANI, R.A. e J.R. GALLO, 1955. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante a correlação entre o pH e a saturação de bases. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 30: 49-60.
- CHANG, S.C. e M.L. JACKSON, 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, 84(1): 133-144.
- CHANG, S.C. e M.L. JACKSON, 1958. Soil phosphorus fractions in some representative soils. *J. Soil Sci.* (9): 109-119.
- CHIEN, S.H., 1977. Dissolution of phosphate rocks in a flooded acid soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, Madison, 41: 565-657.
- CHIEN, S.H., 1978. Reactions of phosphate rocks, Rhenania phosphate and superphosphate with an acid soil. *Soil Sci Soc. Am. J.*, 42(5): 705-708.
- CHU, C.H.; W.W. MOSCHLER e G.W. THOMAS, 1962. Rock phosphate transformation in acid soils. *Soil Sci Soc. Proc.*, 476-478.
- COLEMAN, N.T.; J.T. THORUP e W.A. JACKSON, 1960. Phosphate sorption reactions that involve exchangeable Al. *Soil Sci*, Baltimore, 90: 1-7.
- COOKE, I.J. e J. HISLOP, 1963. Use of anions-exchange resin for the assessment of available soil phosphate. *Soil Sci*, Baltimore, 96(5): 308-313.

- DELAZARI, P.C.; J.M. BRAGA; R.F. NOVAIS e J.T.L. THIÉBAUT, 1980. Disponibilidade de fósforo em solos do estado do Espírito Santo. *R. bras. Sci. Solo*, Campinas, 4: 149-153.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. *Manual de Métodos de Análise de Solo*, n.p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1981. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. *Relatório Técnico Anual, 1979-1980*. 190p.
- FAGERIA, N.K., 1984. Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz. Ed. Campus, Rio de Janeiro. 341p.
- FASSBENDER, H.W.; L. MULLER e F. BALERDI, 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. *Turrialba, Costa Rica*, 18: 333-347.
- FEITOSA, C.T. e RAIJ, Van B., 1976. Influência da natureza de fosfatos aplicados a dois solos no fósforo solúvel em extratores químicos e disponível para trigo e milho. In: ANAIS DO XV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Campinas, p.215-220.
- FERREIRÁ, T.N. e J. KAMINSKI, 1979. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais de Patos de Minas e Gafsa puros e modificados por acidulação e calcinação. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 3: 158-162.

- FREIRE, F.M.; J.M. BRAGA e C.A.S. MARTINS Fº, 1983. Valor fertilizante de fosfatos solúveis, Araxá e parcialmente acidulado. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 7: 65-68.
- GOEDERT, W.J.; J.F. PATELLA e J.F.V. MORAIS, 1971. Formas de fósforo num Planossolo do Rio Grande do Sul e sua disponibilidade para a cultura do arroz irrigado. *Pesq. agropec. bras., Sér. Agron.*, 6: 39-43.
- GOEDERT, W.J. e E. LOBATO, 1980. Eficiência agronômica de fosfatos em solos de cerrado. *Pesq. Agropec. bras.*, Brasília, 15(3): 311-318.
- GOEDERT, W.J. e E. LOBATO, 1984. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 8: 97-102.
- HESSE, P.R., 1971. A textbook to soil chemical analysis. John Murray Ltd, London, 520p.
- HISLOP, J. e I.J. COOKE, 1966. Anion exchange resin as a means of assessing soil phosphate status: a laboratory technique. *Soil Sci.*, Baltimore, 105(1): 8-11.
- HSU, P.H., 1965. Fixation of phosphate by aluminum and iron in acidic soils. *Soil Science*, Baltimore, 99(6): 398 - 402.
- IBRAHIM, H.S. e P.F. PRATT, 1982. Effects of rate of application and time on phosphorus sorption by soils. *Soil Sci. Soc. J.*, 46: 926-928.
- JORGE; J.A. e J. VALADARES, 1969. Formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 28(2): 23-30.

- KHANNA, P.K., 1967. Inorganic soil phosphate fractions as related to soil test values by common method. *Plant and Soil*, 26: 277-284.
- LARSEN, S., 1967. Soil phosphorus. *Advance in Agronomy*, 19: 151-209.
- LINDSAY, W.L.; A.W. FRAZIER e H.F. STEPHESON, 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26: 446-452.
- LINDSAY, W.L. e E.C. MORENO, 1960. Phosphate phase equilibria in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24: 177-182.
- LOPES, A.S., 1983. "Solos sob cerrado". Características, propriedades e manejo. Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), Instituto Internacional da Potassa (Suíça), 162p
- LUTZ Jr., J.A., 1971. Comparison of partially acidulated rock phosphate and concentrated superphosphate as sources of phosphorus for corn. *Agronomy Journal*, 63: 919-922.
- McLEAN, E.O. e R.W. WHEELER, 1964. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants. I. Growth chamber studies. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28: 545-550.
- McLEAN, E.O.; R.W. WHEELER e J.D. WATSON, 1965. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants: I. Growth chamber and field corn studies. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 29: 625-628.
- McLEAN, E.O. e B.S. BALAM, 1967. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants. III. Uptake by corn from soils of different calcium status. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31: 811-814.

- MALAVOLTA, E., 1976. **Manual de química agrícola**. Nutrição de plantas e fertilidade do solo. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 528p.
- MALAVOLTA, E.; G.C. VITTI; J.C. ALCARDE; C.A. ROSOLEM e D. FORNASIERI Fº, 1981. Aproveitamento de um fosfato natural parcialmente solubilizado pelas culturas do arroz, milho e soja. I. Resultados preliminares. **Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"**, Vol. XXXVIII: 801-818.
- MALAVOLTA, E.; C.A. PEIXE; F.P. RUIVO; J.G. CARVALHO, P. G. GUIMARÃES e G.C. VITTI, 1982. Aproveitamento de um fosfato natural parcialmente solubilizado pela cultura da cana-de-açúcar. I. Cana-planta. **Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"**, vol. XXXIX: 563-577.
- MIYAKE, M.; M. ISMUNADJI; I. ZULKARNAINI e S. ROECHAN, 1984. Phosphate response of rice in indonesian paddy fields. **TROPICAL AGRICULTURE RESEARCH CENTER, Technical Bulletin n° 17**, Japan, 78p.
- MOKWUNYE, A.V. e S.H. CHIEN, 1980. Reactions of partially acidulated phosphate rock with soils from the tropics. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44: 477-482.
- MURPHY, J. e J.P. RILEY, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal. Chim. Acta**, 27: 31-36.
- NAKAYAMA, L.H.I., 1982. Estudos agrícolas sobre o aproveitamento do fosfato de Araxá parcialmente solubilizado. ESALQ-USP, Piracicaba, SP. 97p. (Dissertação de Mestrado).

- NOVAES, N.J.; L.E. GUTIERREZ; G.C. VITTI e D.A. BANZATO, 1983. Efeito de fontes e doses de fósforo na cultura do capim gamba (*Andropogon gayanus* Kunth., variedade Bisquamulatum). Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba, PR.
- NOVAIS, R.F.; J.M. BRAGA; C.A.S. MARTINS FILHO, 1980. Efeito de tempo de incubação do fosfato de Araxá em solos sobre o fósforo disponível. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 4: 153-155.
- NOVELINO, J.O.; R.F. NOVAIS; J.C.L. NEVES; L.M. COSTA e N.F. BARROS, 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.
- OLSEN, S.R., 1972. Micronutrients interactions. In: Mortvedt, J.J.; P.M. Giordano e W.L. Lindsay, ed. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Soil Science Society of America Inc., p.243-264.
- PACK, M.R. e R.S. GOMEZ, 1956. Correlation between plant analysis and soil test in New México. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 20: 529-531.
- PALMA, G. e H.W. FASSBENDER, 1970. Estudio del fósforo en suelos de América Central. V. Uso de resinas de intercambio para evaluar la disponibilidad de P. *Turrialba*, Costa Rica, 20: 279-287.
- PARFITT, R.L.; R.J. ATKINSON e R.S.C. SMART, 1975. The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 39: 837-841.

- PEREIRA, J.R. e C.M.B. FARIA, 1978. Disponibilidade de fósforo aplicado em um vertissolo do médio São Francisco, avaliada por métodos químicos. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 2: 125-128.
- PRATT, P.F. e GARBER, M.J., 1964. Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 28: 23-26.
- RAIJ, B. Van, 1981. Avaliação da fertilidade do solo. Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), Instituto Internacional da Potassa (Suíça), 142p.
- RAIJ, B. Van; C.T. FEITOSA e Q.A.C. CARMELLO, 1982. A adubação fosfatada no Estado de São Paulo. In: Oliveira, A.J.; S. Lourenço e W.J. Goedert, eds. *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília, EMBRAPA/DID, p.103-136.
- RAIJ, B. Van e J.A. QUAGGIO, 1983. Métodos de análises do solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas. *Boletim Técnico nº 81* 31p.
- REEVE, N.G. e M.E. SUMNER, 1970. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisols in Natal. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34: 263-267.
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análise química de plantas. ESALQ/USP. Departamento de Química. 56p.
- SHINDE, B.N.; P.A. SARANGAMATH e S. PATNAIK, 1978. Efficiency of HCl and H₂SO₄ acidulated rock phosphates for rice (*Oryza sativa* L.) on acid soils. *Plant and Soil*, 50: 575 - 584.

SMITH, A.H., 1969. Fractionation of inorganic phosphorus in soils by the Chang and Jackson fractionation procedure: its limitation and uses. *Agric. Digest.*, 17: 19-29.

SOIL SURVEY STAFF, 1975. *Soil taxonomy*. Agric. Handbook n° 436, USDA - U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

SOUZA, J., 1977. Fosfatos naturais como fontes de fósforo em diferentes períodos de incubação. Viçosa, MG, UFV. 55 p. (Tese de Mestrado).

SUZUKI, A.; K. LAWTON e E.C. DOLL, 1963. Phosphorus uptake and soil tests as related to forms of phosphorus in some Michigan soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27: 401-403.

TANAKA, R.T.; V.G. BAHIA; A.M. COELHO e J.C. FREIRE, 1981. Seleção de extratores de fósforo do solo em função das respostas das plantas de milho (*Zea mays*, L.) e da adubação com fosfato Patos-de-Minas em condições de casa de vegetação. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 5: 38-42.

TERMAN, G.L.; J.D. DEMENT; L.D. CLEMENTS e J.A. LUTZ, 1960. Crop response to ammoniated superphosphates and dicalcium phosphate as affected by granule size, water solubility and time of reaction with soil. *J. Agr. Food. Chem.*, 8: 13-18.

VOLKWEISS, S.J. e B. Van RAIJ, 1976. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. *IV Simpósio sobre o Cerrado*. base para utilização agropecuária. Brasília, DF, 317-332.

YOST, R.S.; E.J. KAMPRATH; E. LOBATO; G.C. NADERMAN e W.S. SOARES, 1975. Residual effects of phosphorus applications. in: *Tropical Soil Research Program-Annual Report for 1975*. Raleigh, NCSU, p.26-32.

7. APÊNDICE

TABELA 18. Crescimento de arroz e absorção de fósforo em função dos níveis de fósforo aplicado em dois solos, com e sem calcário. Experimento de curva de resposta ao Superfosfato Triplo.

Solo	Calcário	Produção de matéria seca (g/vaso)					Concentração de fósforo (%)					Fósforo acumulado (mg/vaso)										
		Níveis de fósforo (ppm)					Níveis de fósforo (ppm)					Níveis de fósforo (ppm)										
		0	50	100	150	200	250	Média	0	50	100	150	200	250	Média	0	50	100	150	200	250	Média
LVD (1)	s/calc.	0,53	14,53	15,30	15,84	15,63	17,01		0,039	0,107	0,140	0,175	0,213	0,240		0,21	15,59	21,48	27,66	33,25	40,83	
	c/calc.	0,58	12,57	13,92	14,20	14,16	14,72		0,055	0,113	0,147	0,180	0,171	0,210		0,54	14,15	20,44	25,61	24,23	30,91	
	Média	0,75	13,55	14,61	15,02	14,89	15,86	12,45	0,047E	0,109D	0,143C	0,177B	0,192B	0,225A	0,149a	0,37E	14,87D	20,96C	26,63B	28,74e	35,87A	21,24a
LED(2)	s/calc.	0,74	14,45	14,52	15,21	15,70	16,24		0,058	0,100	0,136	0,143	0,170	0,177		0,43	14,37	19,77	21,70	26,76	28,73	
	c/calc.	0,74	12,79	13,99	13,99	14,57	14,64		0,070	0,111	0,140	0,158	0,180	0,188		0,54	14,15	19,55	22,10	26,41	27,47	
	Média	0,74	13,62	14,25	14,60	15,16	15,44	12,30	0,640D	0,105C	0,138B	0,150B	0,175A	0,182A	0,136b	0,48D	14,26C	19,66B	21,90B	26,58A	28,10A	18,50b
Média	s/calc.	0,63D	14,49C	14,91BC	15,52B	15,66AB	16,52A	12,97a	0,446F	0,103E	0,130D	0,159C	0,191B	0,208A	0,141	0,32F	14,98E	20,62D	24,68C	30,00B	34,78A	20,90a
	c/calc.	0,86C	12,68E	13,95A	14,09A	14,41A	14,68A	11,78b	0,062E	0,112D	0,143C	0,169B	0,175B	0,199A	0,143	0,54E	14,15D	19,99C	23,85B	25,32B	29,19A	18,84b
	Média	0,74D	13,58C	14,43B	14,80B	15,03AB	15,55A		0,055F	0,107E	0,140D	0,164C	0,183B	0,203A		0,43F	14,56E	20,30D	24,26C	27,66B	31,98A	
Teste F																						
Fósforo (FO)		1156,64**(3)					480,27**					907,19**										
Solos (SO)		1,03ns (4)					43,57**					72,02**										
Calcário (CA)		74,64**					0,82ns					40,53**										
FO x SO		0,79ns					17,39**					14,14**										
FO x CA		5,48**					5,88**					9,44**										
SO x CA		1,90ns					17,47**					30,98**										
FO x SO x CA		0,42ns					5,75**					6,42**										
DMS (Tukey 5%)																						
Fósforo (FO)		0,71					0,010					1,67										
FO dentro de CA		1,00					0,015					2,36										
FO dentro de SO		-					0,015					2,36										
Coef. de Variação (%)																						
		4,72					6,01					6,90										

- Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

(1) LVD - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; (2) LED - Latossolo Vermelho Escuro distrófico; (3) ** - significância ao nível de 1% de probabilidade.

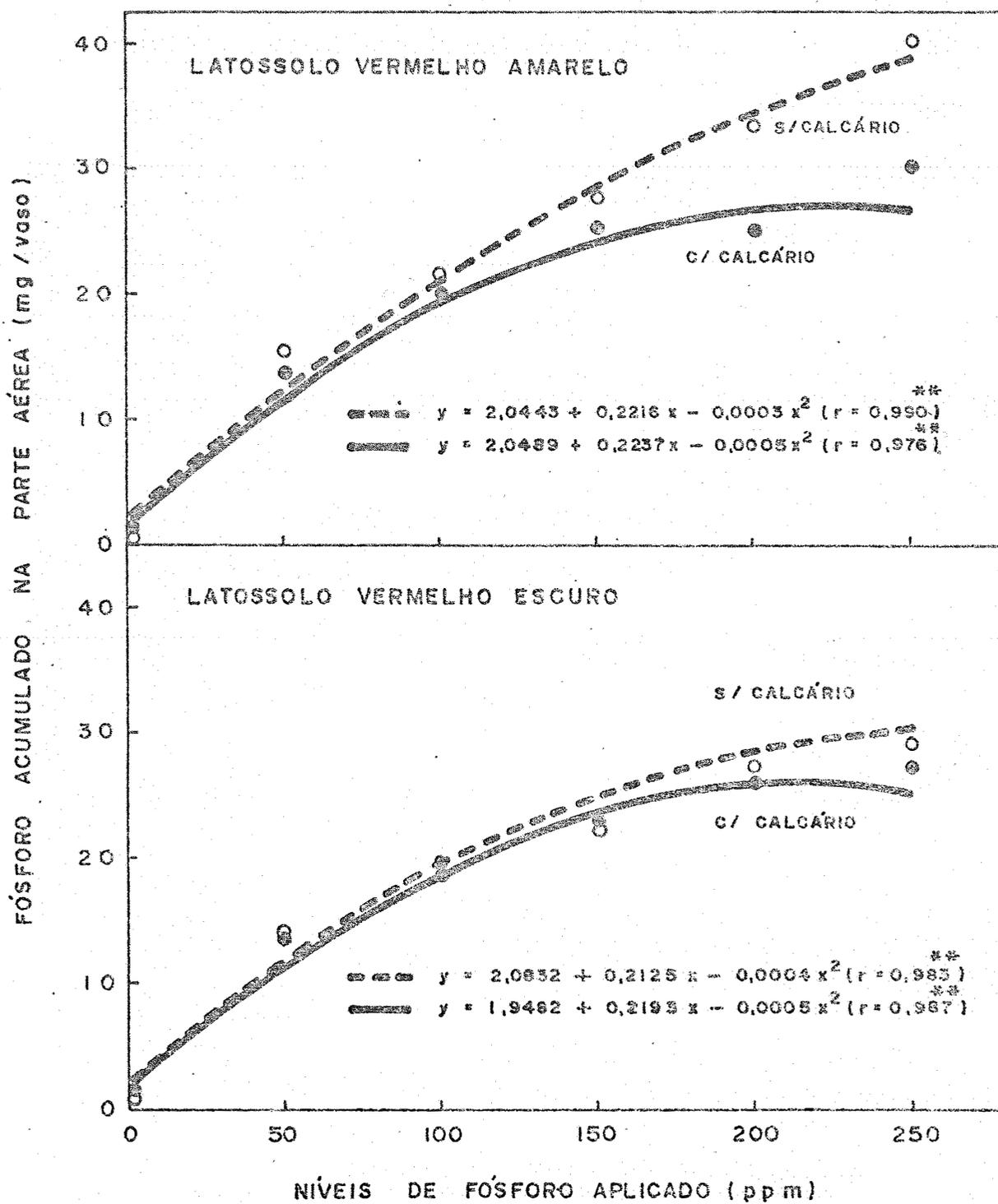


FIGURA 6. Fósforo absorvido e acumulado na parte aérea com diferentes níveis de fósforo, com e sem calcário.

TABELA 19. Efeito de diferentes doses de fósforo e de calagem no teor de zinco na parte aérea do arroz, aos 60 dias de idade e no pH de dois Latossolos (média de três repetições).

Níveis de P (ppm)	Zn (ppm)						pH (3)					
	LVd(1)			LEd(2)			LVd			LEd		
	s/calç.	c/calç.	s/calç.	s/calç.	c/calç.	c/calç.	s/calç.	c/calç.	c/calç.	s/calç.	c/calç.	
0	308	201	312	100	4,66	4,82	4,42	5,36				
50	266	99	200	59	4,15	5,64	4,10	5,68				
100	209	68	135	52	4,26	5,77	4,09	5,84				
150	196	66	133	56	4,29	5,78	4,12	5,90				
200	190	63	212	74	4,39	5,88	4,16	5,89				
250	217	61	151	49	4,38	5,87	4,24	6,00				

(1) LVd - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; (2) LEd - Latossolo Vermelho Escuro distrófico;

(3) pH em H₂O (1:2,5).