**EFEITO DAS ÉPOCAS DE CALAGEM NA DISPONIBILIDADE
DE FÓSFORO APLICADO 180 DIAS ANTES DO PLANTIO
DO ARROZ (*Oryza sativa*, L.) EM LATOSSOLOS
SOB CERRADO**

JOSÉ RAFAEL MÉNDEZ BALDEÓN

Orientador: Prof. Dr. TOSHIAKI KINJO

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Dezembro - 1986

À minha esposa,

Maria dos Anjos,

• DEDICO.

A meus pais, irmãos e

demais membros da família,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do Curso de Pós-Graduação; à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP), pelos ensinamentos e facilidades oferecidas.

Ao Instituto Equatoriano de Crédito Educativo y Becas (IECE), pela oportunidade e empréstimo outorgado, para realizar o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas.

Ao Professor Orientador, Dr. Toshiaki Kinjo, pela orientação na realização do presente trabalho, pela sua dedicação constante em transmitir seu conhecimento, pelo apoio seguro e espontâneo e, ainda, pela amizade com que sempre me distinguiu.

Aos Professores do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, pela assiduidade e empenho no cumprimento da missão de ensinar; aos membros da Banca Examinadora, pelas sugestões e críticas ao trabalho; Dr. Roberto A. Arêvalo, pela sua amizade, apoio moral e presteza dispensada durante todo o período de realização do curso; Dr. Miguel P. Barbosa Filho, pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), pela colaboração e apoio dispensado durante a etapa experimental e de laboratório da presente pesquisa.

Aos Senhores Fausto Espin Garcia e Washington Velez, amigos de Guayaquil - Ecuador, pela presteza dispensada e que espontaneamente me incentivaram na realização do curso e resolução de meus interesses particulares.

Ao pessoal do Laboratório do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, nas pessoas de Mário Ludovico e de Vanda Maria Zancheta e aos demais funcionários desse Departamento, pela colaboração nas análises de laboratório.

Aos Senhores Francisco de Assis Portela e Dorival Grisotto, pelo valioso auxílio nos trabalhos experimentais. À Senhora Tekla Eunice Klar, pela gentileza dispensada em todo momento, pelos serviços constantes de datilografia e pela amizade proporcionada.

Aos companheiros e amigos Adolfo Sanchez Coelho e Juan Carlos Quevedo Camacho, pela amizade, pelo apoio e pelo incentivo dispensado durante todo o período de realização do curso, aos demais colegas e amigos pela amizade e convívio estudantil e que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Finalmente, à minha querida esposa Maria dos Anjos, à minha mãe Zoila Baldeón de Méndez, que além do carinho, incentivo e compreensão, colaboraram também para o êxito alcançado no curso.

O Autor agradece penhoradamente.

Í N D I C E

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. O fósforo no solo	4
2.2. Reações de fertilizantes fosfatados em solos...	6
2.3. Fatores que afetam a eficiência dos fertilizantes fosfatados	11
2.3.1. Fatores inerentes ao fosfato	11
2.3.2. Fatores inerentes ao solo	15
2.3.3. Fatores inerentes à planta	16
2.4. Resultados experimentais obtidos com fosfatos naturais parcialmente solubilizados.....	17
2.5. Fracionamento de fósforo e fósforo disponível do solo	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1. Características dos solos e fosfatos usados nos experimentos	30
3.2. Delimitação experimental.....	33
3.3. Instalação e condução dos experimentos em casa de vegetação	35

3.4. Análise de solos	37
3.4.1. Métodos de extração de fósforo.....	38
3.4.1.1. Método de Olsen + EDTA	38
3.4.1.2. Método de Mehlich	38
3.4.1.3. Método de Resina	38
3.4.1.4. Método de Bray-1	39
3.4.2. Fracionamento do fósforo	40
3.5. Análise do material vegetal	40
3.6. Análises estatísticas	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. Formas de fosfatos inorgânicos	42
4.2. Fósforo "disponível"	49
4.3. Relações entre fósforo "disponível" e frações inorgânicas de fósforo	60
4.4. Resposta do arroz aos fatores estudados.....	65
4.5. Relação entre teores de fósforo no solo e respos- ta do arroz	71
5. CONCLUSÕES	80
6. LITERATURA CITADA	82

EFEITO DAS ÉPOCAS DE CALAGEM NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO
APLICADO 180 DIAS ANTES DO PLANTIO DO ARROZ
(*Oryza sativa*, L.) EM LATOSSOLOS SOB CERRADO

Autor: JOSÉ RAFAEL MÉNDEZ BALDEÓN
Orientador: PROF. DR. TOSHIAKI KINJO

RESUMO

Foi conduzido um experimento em casa-de-vegetação, com superfosfato triplo (SPT) e Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS), em dois Latossolos com os objetivos de: (a) avaliar a eficiência da aplicação prévia do FAPS e do SPT, em relação às diferentes épocas de calagem, sobre o rendimento de matéria seca e fósforo absorvido pelo arroz de sequeiro em solos sob cerrado; (b) investigar a mudança na disponibilidade de fósforo, nas diferentes épocas de aplicação do calcário, considerando o tempo de reação entre calcário e fosfato e (c) estudar as relações entre as frações de fosfatos inorgânicos e os teores de fósforo "disponível" obtidos em diferentes extratores.

Amostras de dois solos, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVd) e Latossolo Vermelho Escuro distrófico (LEd), foram incubados com 150 ppm de P, nas formas de FAPS e de SPT, por um período de 180 dias. A cada 90 dias o

calcário foi aplicado, obtendo-se três períodos de incubação entre calcário e fosfatos, em dias: 180, 90 e 0. Ao fim do período de incubação procedeu-se a amostragem de solo para análise. Em seguida, transferem-se 3,0 kg de terra para vasos de barro e fez-se o plantio do arroz, cultivar IAC-165.

Os tratamentos consistiram de combinações de dois solos, dois fosfatos e quatro 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 fósforo absorvido foram utilizados como parâmetros de avaliação.

Quando os adubos fosfatados são aplicados em solos sob cerrado 180 dias antes do plantio do arroz, a produção de matéria seca da parte aérea aumenta com o tempo de reação do calcário no solo que recebe o SPT e a quantidade de fósforo absorvido tende a acompanhar a tendência da produção de matéria seca. Com a adição do FAPS a produção de matéria seca tende a diminuir na medida que aumenta o tempo de reação entre calcário e adubo, a quantidade de fósforo absorvido neste caso não acompanha a produção de matéria seca.

Com o emprego de SPT em ambos os solos, os teores de fósforo "disponível" extraídos pelos extratores Mehlich, Bray-1 e Resina, não variam significativamente com os tempos de reação do calcário e adubo; mas no caso do extrator Olsen + EDTA, os teores de P "disponível" no LVd aumentarão

com os tempos de reação do calcário e SPT. Quando se adiciona o FAPS no LVd, os teores de fósforo extraído pelos extratores Mehlich e Olsen + EDTA, tendem a diminuir na medida que aumentam os tempos de reação entre calcário e FAPS.

Na ausência de calcário em ambos os solos, os teores de fósforo extraídos por Bray-1 e Mehlich tendem a diminuir com o emprego de SPT e aumentar com FAPS, em comparação aos tratamentos com calcário.

Os teores de fósforo "disponível" determinados pelos extratores Mehlich e Bray-1 estão correlacionados positivamente com os de $P-NH_4Cl$, $P-Fe$ e $P-Ca$ e essas relações também acompanham a produção de matéria seca e fósforo absorvido na parte aérea do arroz.

EFFECT OF THE LIMING TIME ON PHOSPHORUS AVAILABILITY APPLIED
180 DAYS PRIOR TO THE SEEDING OF RICE (*Oryza sativa*, L.)
EM LATOSSOLOS SOB CERRADO

Author: JOSÉ RAFAEL MÊNDEZ BALDEÓN

Adviser: Prof. Dr. TOSHIAKI KINJO

SUMMARY

An experiment was carried out in green-house, with triple superphosphate (TSP) and partially solubilized Araxá rock phosphate (PSARP), in two latosols with the following objectives: (a) to evaluate the efficiency of the previous application of PSARP and TSP in relation to different liming time on the dry matter yield and phosphorus absorption by upland rice crop in soils under cerrado vegetation; (b) to investigate the change on phosphorus availability, in different times of lime application, considering the reaction time of lime with phosphate, and (c) to study the relations between fractions of inorganic phosphate and the content of "available" phosphorus obtained in different extractants.

Samples of two soils, Red Yellow Latosol (LVd) and Dark Red Latosol (LEd), were incubated with 150 ppm of P, in the forms of PSARP and TSP, during a period of 180 days. Every 90 days the lime was applied and it was obtained three

reaction time of lime with phosphate: 180, 90 and 0 days.

At the end of incubation period soil samples were separated for analysis. And 3.0 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 phosphates and four 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.

When the phosphate fertilizers are applied in soils under Cerrado vegetation 180 days prior to the seeding of rice, the dry matter yield of above ground part increases with the reaction time of lime in the soil, which receive TSP, and the quantity of absorbed phosphorus tend to accompany the tendency of dry matter yield. With the addition of PSARP, the dry matter yield tends to decrease with increasing reaction time of lime with PSARP. The quantity of absorbed phosphorus in this case, doesn't accompany the dry matter yield.

Using TSP em both soils, the contents of extracted "available" phosphorus by Mehlich, Bray-1 and Resin extractants, don't vary significantly with the reaction times of lime with fertilizer. But in the case of the Olsen + EDTA extractant, the contents of "available" phosphorus in LVd

increase with reaction time of lime and TSP. Using PSARP in LVd the contents of extracted P by Mehlich and Olsen + EDTA extractants, tend to decrease with the increase of reaction time of lime with PSARP.

Without lime application in both soils, the contents of extracted P by Bray-1 and Mehlich, tend to decrease with TSP and to increase with PSARP, in relation to the treatments which received lime.

The contents of "available" P determined by Mehlich and Bray-1 extractants are correlated positively with $P-NH_4Cl$, $P-Fe$ and $P-Ca$ and these relations also accompany the dry matter yield and P absorbed in the above ground part of rice.

1. INTRODUÇÃO

O fósforo é um dos macronutrientes essenciais para a vida das plantas, que com mais freqüência e intensidade limita a produção nas regiões subtropicais e tropicais e por isso o mais fornecido como adubo. Por ser sua deficiência nos solos bastante generalizada para todas as culturas, a caracterização deste elemento no solo e a quantificação de sua disponibilidade efetiva para as plantas, há muito têm preocupado os especialistas em fertilidade do solo.

A correção da deficiência de fósforo se faz normalmente, pela aplicação de fosfatos altamente solúveis, como os superfosfatos simples e triplo, 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, sobretudo, em solos de cerrado (LINDSAY *et alii*, 1962).

Devido às dificuldades encontradas pelas indústrias de fertilizantes no Brasil para a obtenção de ácidos sulfúrico, necessário para a obtenção de superfosfatos, torna-se de extrema importância investigar a possível substituição desses fosfatos por fontes naturais finamente moídas ou parcialmente processadas. Os fosfatos parcialmente acidulados reagem bem em 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 e KAMINSKI (1979), MALAVOLTA *et alii* (1981), NAKAYAMA (1982), FREIRE *et alii* (1983), BARBOSA FILHO *et alii* (1983). Entretanto, os resultados destes 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 ausência de calagem. Estas questões ainda permanecem sem resposta, conquanto, já as conhecem para os fosfatos naturais aplicados em diferentes solos.

Acredita-se que fosfatos parcialmente acidulados estão constituídos por uma fração insolúvel (fosfato tricálcico) e outra solúvel (fosfato monocálcico); e que

esta última fração formaria ácido fosfórico que abaixaria o pH do meio, favorecendo dessa maneira a solubilização do fosfato natural remanescente e ao mesmo tempo a formação de fosfatos insolúveis de Fe e Al, porém, a aplicação do calcário elevaria o pH do solo e conseqüentemente a solubilidade destes compostos de fósforo. Em razão disso, se atenuaria o problema de fixação de fósforo, aumentando a eficiência deste tipo de adubo e a liberação de fósforo para as plantas. Partindo-se desta hipótese, o uso de fosfatos parcialmente acidulados, poderia ser mais promissor sobretudo em solos que apresentam características de solo de cerrado.

Este trabalho teve os seguintes objetivos:

- a) avaliar sob casa de vegetação, a eficiência da aplicação prévia do fosfato Araxá parcialmente solubilizado (FAPS) e do superfosfato triplo (SPT), em relação às diferentes épocas de calagem, sobre o rendimento de matéria seca e fósforo absorvido pelo arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.) em solos sob cerrado
- (b) investigar a mudança na disponibilidade de fósforo, nas diferentes épocas de aplicação de calcário, considerando o tempo de reação entre calcário e fosfato;
- c) estudar as relações entre os teores de formas inorgânicas do fósforo e os teores de fósforo "disponível" obtidos em diferentes extratores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O fósforo no solo

No solo o fósforo ocorre quase exclusivamente como ortofosfato em concentrações da ordem de 0,02 a 0,15% (MENGEL e KIRKBY, 1979). Basicamente o fósforo encontra-se no solo associado à matéria orgânica e fazendo parte de compostos inorgânicos bastante insolúveis. A proporção dessas duas formas é muito variável, podendo o fósforo orgânico representar mais da metade do teor total na camada arável (CABALA e FASSBENDER, 1970). O P orgânico, embora não esteja relacionado com sua disponibilidade para as plantas, pode ser importante para a nutrição das plantas cultivadas em solos tropicais recém desmatados, devido à rápida decomposição de 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 fosfato de alumínio (P-Al), fosfato de ferro

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

As formas inorgânicas de P mais conhecidas em solos ácidos são as de P ligado a Fe e Al, representadas pela estrengita 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). A separação dessas formas, conhecida como fracionamento de fósforo por CHANG e JACKSON (1957), tem sido importante em solos tropicais, quando correlacionadas com os teores de fósforo disponível, conforme ressaltam os trabalhos de BIASI (1978); TANAKA *et alii* (1981) e BAHIA FILHO *et alii* (1982).

Do ponto de vista nutricional podem ser reconhecidas em solos três frações de fósforo muito importantes, no estudo da disponibilidade desse nutriente, conforme mostra o esquema geral abaixo, de fornecimento de fósforo às plantas (MALAVOLTA, 1976).

O P-solução, representa o fósforo dissolvido na fase líquida do solo normalmente encontrado em

concentrações muito baixas, da ordem de 0,1 - 1 ppm (LARSEN, 1967). As plantas absorvem fósforo da solução que movimenta até a superfície das raízes por difusão, devido ao gradiente de concentração de íons fosfato na solução. Daí, a importância da manutenção de um nível adequado de fósforo na solução do solo. Os teores de fósforo em solução é bastante variável em função principalmente da textura e da espécie vegetal. Segundo SMYTH e SANCHEZ (1980), o nível de fósforo considerado como crítico para a cultura do arroz de sequeiro, cultivado em solos sob cerrado de Planaltina (DF), situa-se entre 2,0 e 5,0 ppm de P.

Uma parte do fósforo da fase sólida, denominada por LARSEN (1967), de P-lábil, mantém em equilíbrio rápido com o fósforo da solução do solo. O restante do fósforo insolúvel da fase sólida denominado P-não lábil pode ser liberado muito lentamente e entrar em equilíbrio com o fósforo do reservatório lábil (MENGEL e KIRKBY, 1979) e em função do tempo entrar em equilíbrio com o fósforo da solução.

2.2. Reações de fertilizantes fosfatados em solos

Os íons fosfatos liberados pela dissolução de fertilizantes, adicionados como adubos, não permanecem estáveis no solo, passando a formas menos solúveis através de sua reação com os minerais do solo. Em solos aci

dos, este fenômeno assume grande importância, já que grande parte dos fertilizantes aplicados reagem 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 cristalizados ou amorfos que se formam como resultado da reação do fosfato monocálcio com Fe e Al existentes na solução do solo, conforme a reação (1) sumariada abaixo:

A segunda reação representa a adsorção, em que o fosfato entra em coordenação com os íons Fe e Al nas superfícies das argilas e dos óxidos, assim como ocorre nas reações de troca de ligante. 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 saturada de H_2PO_4^- ($\text{pH} \approx 1,5$) 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. Consequentemente, a caracterização dos fosfatos formados e o conhecimento de suas propriedades são de muita importância por representar fontes secundárias de fósforo para as plantas.

O efeito da calagem na disponibilidade do

fósforo do solo é bem conhecido (MALAVOLTA, 1976), acredita-se que nos solos ácidos haja reação entre óxido de ferro hidratado, do tipo de goetita, dando um composto insolúvel.

a liberação do fósforo pela calagem se processaria pela reação:

Como a insolubilidade do P ocorre nos dois extremos da faixa do pH, surge o problema do intervalo em que sobrevém o mínimo de fixação na reação do solo. Os fosfatos básicos de ferro e alumínio têm o mínimo de solubilidade em torno dos pH 3 a 4. Com valores mais elevados do pH, parte do P é liberado e a capacidade de fixação de certo modo, diminuída. Entretanto, mesmo com pH 6,5 ainda se encontra quimicamente combinado com Fe e Al. À medida que o pH se aproxima de 6,0, se inicia a precipitação dos compostos de cálcio e com o pH 6,5 a formação de sais insolúveis de cálcio. Com pH superior a 7,0 formam-se compostos ainda mais insolúveis, como apatita.

Estes fatos parecem indicar que a disponibilidade máxima de fosfatos para os vegetais é obtida quando o pH do solo é mantido na faixa de 6,0 a 7,0. No entanto, convém acentuar que mesmo nesta faixa, a disponibilidade de fosfato poderá ser ainda muito baixa e que os fosfatos solúveis adicionados poderão ser imediatamente fixados pelos solos.

A elevação do pH pelo uso de calcário em solo ácido, aumenta a solubilidade dos fosfatos de ferro e

alumínio e conseqüentemente a possibilidade de se formarem fosfatos de cálcio mais solúveis; além disso, os iônios OH^- mais abundantes que resultam da calagem competem com H_2PO_4^- (adsorvido ou fixado) por posições de troca, liberando fósforo disponível para as plantas (MALAVOLTA, 1976).

A influência da elevação do pH do solo mediante uso de calcário, no aumento de fósforo assimilável pode ser tão grande que faz desaparecer a necessidade da adubação fosfatada; se o solo possuir uma reserva suficiente de fosfatos não disponíveis, a calagem poderá libertar o elemento em quantidade suficiente para atender às necessidades da planta (JORGE, 1983).

Uma das medidas sugeridas por FASSBENDER (1975), para reduzir a fixação de fósforo, baseia-se na diminuição da velocidade de dissolução dos fertilizantes fosfatados, de modo a manter, por mais tempo, uma liberação contínua e constante de fósforo para as plantas. Desse modo, pode-se esperar bom efeito dos fosfatos naturais aplicados em solos ácidos, pela sua solubilização lenta na solução do solo. Entretanto, devido à falta de ação fertilizante destes fosfatos logo após sua aplicação, pode prejudicar severamente a primeira cultura após a adubação (VOLKWEISS e VAN RAIJ, 1976).

É possível que os fosfatos naturais parcialmente solubilizados aplicados em solos de cerrado, apresentem resultados imediatos semelhantes aos fosfatos monocálcicos quanto aos seus efeitos sobre o solo e a planta. Possi -

velmente, porque ao processar a solubilização parcial desses fosfatos naturais, há formação de fosfato bicálcico (ALCARDE e MALAVOLTA, 1982).

2.3. Fatores que afetam a eficiência dos fertilizantes fosfatados

A conveniência da aplicação de fosfatos menos solúveis na agricultura depende de certos fatores que vão determinar a sua eficiência como fertilizantes.

2.3.1. Fatores inerentes ao fosfato

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 ($= 1/3$) 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 naturais 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 ní-

vel 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 íons Fe e Al e, por conseguinte, numa menor fixação de fósforo disponível comparado ao superfosfato.

A solubilidade dos fosfatos naturais ou parcialmente solubilizados tem uma influência marcante na eficiência relativa destes fosfatos. No Brasil, a solubilidade tem sido medida através da extração de fósforo em soluções de ácido cítrico a 2%, e citrato neutro de amônio. Portanto, a solubilidade depende do extrator e da relação fosfato: extrator. A partir de 1975, estabeleceu-se como método oficial, a extração em ácido cítrico a 2% na relação adubo:solução 1:100.

Contudo, essas soluções extratoras têm apresentado limitações e permitido resultados contravertidos sobre a eficiência agronômica de certos fosfatos (GOEDERT e LOBATO, 1980). Explicações para este fato são encontradas no trabalho de LEHER e McCLELLAN (1972). Segundo estes au-

tores, existem fosfatos naturais com diferentes concentrações de apatita, o que equivale dizer a solubilidade de um fosfato em citrato está relacionada principalmente com a composição mineralógica e, virtualmente, independe do seu teor de P_2O_5 . As substituições isomórficas que ocorrem na estrutura da apatita alteram a sua solubilidade. À medida que aumenta o grau de substituição de uma apatita, principalmente do PO_4^{3-} por $CO_3^{2-} + F^-$ e a eliminação do fluor da molécula, diminui a solubilidade desta no solo. Como consequência, a solubilidade de um fosfato natural em citrato tem sido redefinida em uma base absoluta, com objetivo de eliminar efeitos casuais dos teores de P_2O_5 entre diferentes fontes. O Índice de Solubilidade Absoluta em Citrato (ACS) de uma dada fonte de fósforo é definido pela relação entre o teor de P_2O_5 solúvel em citrato e o teor de P_2O_5 da composição da apatita, como segue:

$$ACS = \frac{\text{Cit. Sol. } P_2O_5 \text{ (\%)}}{\% \text{ de } P_2O_5 \text{ da apatita}}$$

O tamanho do grânulo constitui outro fator importante. A eficiência dos fosfatos naturais aumenta à medida que aumenta o grau de finura das partículas, devido à sua baixa solubilidade. O efeito do tamanho das partículas do fosfato Sechura sobre a produção de matéria seca e teor de P_2O_5 em capim sudan, foi estudado por FASSBENDER (1967). Observou-se que as frações de 1.000 a 200 microns proporcionaram as maiores produções e uma tendência de maiores teo-

res de P_2O_5 no tecido vegetal, com a diminuição do tamanho das partículas.

Em contraste com os fosfatos naturais, para as fontes solúveis espera-se melhor resultado em solos ácidos quando são granulados e aplicados em linha, pois regula a taxa de dissolução. Em um estudo realizado por Suárez, citado por FASSBENDER (1975), em solos com alta capacidade de fixação de fósforo utilizando fertilizantes radioativos marcados, com diâmetros dos grânulos de 0,5; 2; 3; 6 e 12 mm, encontrou que o tamanho ótimo é de aproximadamente 8 mm e que no caso do Ultissolo estudado, o aproveitamento do P^{32} aumentou de 3 para 11%. Infelizmente, no Brasil, tem-se dado pouca ênfase às pesquisas dessa natureza.

Outro fator que afeta a disponibilidade de fósforo dos fosfatos naturais é o teor de fluor (BRAGA, 1970). Quanto mais baixo é o teor de fluor dos fosfatos naturais, mais aceitáveis são os mesmos para a fabricação de fertilizantes e para seu uso direto na agricultura.

Não se encontram dados sobre este fator em relação à maioria dos fosfatos brasileiros. FASSBENDER (1967) cita para os fosfatos de Araxá e Alvorada os valores de 3,28% e 2,70%, respectivamente. Para efeito de comparação, são citados os seguintes teores de fluor encontrados em outros fosfatos: Sechura = 2,11%; Flórida 3,5%; Gafsa = 2,56% e Marrocos = 4,05%. Estes valores segundo FASSBENDER (1975),

não devem ultrapassar 5%. Altos teores de óxidos de Al e Fe também depreciam a qualidade dos fosfatos naturais.

2.3.2. Fatores inerentes ao solo

A acidez do solo, composição mineralógica, os teores de fósforo e cálcio, textura e matéria orgânica, são fatores que afetam a dissolução de fosfatos no solo.

Ao contrário dos fosfatos solúveis em água, a eficiência dos fosfatos de baixa solubilidade tem sido menor quando se faz a correção da acidez do solo através da calagem. Trabalho realizado por GOEDERT e LOBATO (1980) caracteriza o efeito favorável da acidez do solo na dissolução dos fosfatos naturais. 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, atingindo valores máximos com 75 t de calcário por hectare. A interação negativa, calagem e fosfato de Araxá, foi também observada por BRAGA (1969), quando calagem a pH 6,5 praticamente eliminou qualquer efeito a curto prazo, de até 300 kg P_2O_5 /ha, para a cultura do feijão.

O calcário, além de elevar o pH do solo, adiciona íons Ca^{+2} à solução. Solos com altos teores de Ca^{+2} na solução do solo tendem a solubilizar mais lentamente os fosfatos naturais, já que o Ca^{+2} é um dos produtos da reação do fosfato no solo (KORNDORFER, 1978). Da mesma forma, alta con

centração de H_2PO_4^- na solução, mais lentamente será a dissolução dos fosfatos.

Solos com semelhante mineralogia da argila fixarão mais fósforo com um aumento no seu teor de argila. Vários estudos no Brasil têm mostrado essa relação com o teor de argila. Woodruff e Kamprath (1965), citados por LOPES (1977a) encontraram valores de 18, 104 e 342 ppm de adsorção máxima de fósforo para Ultissol com 2; 7,5 e 38% de argila, respectivamente. LOPES (1977b) encontrou que os aumentos nos teores de argila de 44 amostras de solos sob vegetação de cerrado, causaram variações mais acentuadas das cargas positivas do que das cargas negativas líquidas, evidenciando que a porcentagem de argila desses solos é um bom parâmetro para estudar eficiência de fertilizantes fosfatados.

A matéria orgânica tem influência através de sua contínua dissociação, criando cargas elétricas negativas, bloqueando as hidroxilas nas superfícies dos óxidos de Fe e Al, imobilizando-as de modo a não formar precipitado com o H_2PO_4^- , reduzindo a adsorção do H_2PO_4^- e consequentemente a disponibilidade de fósforo é aumentada (MALAVOLTA, 1976).

2.3.3. Fatores inerentes à planta

Atualmente, é reconhecido o fato de que as espécies ou cultivares dentro de uma mesma espécie variam grandemente na sua habilidade de utilização de fósforo. Os

resultados obtidos por FAGERIA e BARBOSA FILHO (1981) mostram que os cultivares de arroz diferem em suas respostas às condições de estresse de fósforo, e algumas têm excelente tolerância ao baixo nível deste nutriente no solo. Este fato sugere, portanto, a necessidade de diferentes recomendações de adubação fosfatada no mesmo solo para cultivares diferentes.

As diferenças entre espécies devem estar relacionadas às suas demandas por cálcio e fósforo, que alteram a composição da solução do solo na interface raiz-solo. Plantas de crescimento rápido necessitam de taxa mais alta de acumulação de fósforo dentro da planta, para manter este crescimento. Plantas de sistema radicular extensivo terão maior demanda de fósforo por unidade de comprimento de raiz do que as de sistema radicular de comprimento limitado.

2.4. Resultados experimentais obtidos com fosfatos naturais parcialmente solubilizados

Embora a maioria dos trabalhos com fosfatos naturais parcialmente solubilizados tenham sido conduzidos em casa-de-vegetação, os resultados obtidos principalmente em solos ácidos são altamente favoráveis à sua utilização.

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 usados, mostrando um efeito ainda maior no solo de pH 6,0 do que ao de pH 7,0.

LUTZ (1971), em experimento 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.

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 porcentagem 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.

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% de H_3PO_4 e aplicados num Podzólico Vermelho-Amarelo, e de 68 e 80% quando aplicados no solo Laterítico Bruno-Avermelhado eutrófico, ambos corrigidos para pH 6,0. 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 Latossolos 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 parcialmente solubilizados parece uma boa estratégia a ser seguida em solos ácidos do cerrado.

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 acidulado (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).

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, medida pelo rendimento do 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 e 60 kg/ha de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de plantio. O efeito residual dos fosfatos parcialmente acidulado foi evidente no segundo ano, quando as aplicações anuais de superfosfato triplo no sulco não mostraram aumentos de produção.

Comparando a eficiência dos três fosfatos aplicados no sulco de plantio, os autores observaram uma

tendência de comportamento muito semelhante nos dois anos de cultivo. Porém, para se obter efeito semelhante ao do superfosfato triplo, as doses de ambos fosfatos parcialmente acidulados têm que ser maiores.

2.5. Fracionamento de fósforo e fósforo disponível do solo

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.

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 fosfatos inativos, ou seja, P-solúvel redutível e P-ocluso (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-ocluso.

A disponibilidade de fósforo para as plantas é avaliada, em geral, através de métodos químicos desenvolvidos estritamente com esta finalidade. Estes métodos devem atender pelo menos a dois critérios: (1) devem extrair toda ou uma parte proporcional das formas disponíveis de fósforo em solos com amplas diferenças em propriedades, e (2) as quantidades extraídas devem correlacionar com a

produção e absorção desse nutriente sob várias condições (BRAY e KURTZ, 1945). Entretanto, os resultados de experimentos de campo, nem sempre mostram boas correlações entre os teores de fósforo dos solos e a produção das culturas, devido à natureza química dos extratores e, principalmente, em se tratando de solos com propriedades diferentes e quando são empregados fosfatos de baixo valor fertilizante (SFREDO *et alii*, 1979; CABALA e SANTANA, 1983a; RAIJ, 1978).

Vários métodos de extração de fósforo do solo são usados atualmente no Brasil, destacando-se os de Mehlich, Bray 1, Bray 2, Olsen e mais recentemente, a técnica de extração pela resina trocadora de ânions.

A técnica de fracionamento de CHANG e JACKSON (1957) tem sido empregada para correlacionar formas de fósforo no solo com métodos de extração e absorção pelas plantas (BIASI, 1978; TANAKA *et alii*, 1981). Experimentos com esta finalidade foram conduzidos em um vertissolo por PEREIRA e FARIA (1978), com a cultura do milho. Altos coeficientes de correlação foram observados entre as diversas formas inorgânicas de fósforo com os teores extraídos pelos métodos de Bray 1, Mehlich, Olsen, água destilada e o absorvido pelo milho.

FASSBENDER *et alii* (1968), estudando 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 porcentagem 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.

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.

DELAZARI *et alii* (1980), ao estudarem a disponibilidade de fósforo em solos representativos do Estado do Espírito Santo, observaram que as menores quantidades de fósforo estavam na forma de $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ e, as de maior expressão, foram em ordem decrescente P-Fe, P-Al e P-Ca, o que reflete certo modo, um grau avançado de intemperismo dos solos estudados. Os teores de fósforo extraídos pelos métodos Mehlich, Bray 1, Bray-2 e do H_2SO_4 0,05N, correlacionaram significativamente entre si e com as quantidades de fósforo oriundas do fracionamento, com exceção do $\text{NH}_4\text{Cl-P}$. Encontraram também correlação significativa ao relacionar a quantidade de fósforo absorvido pelas plantas de sorgo do tratamento sem fósforo com as quantidades desse nutriente extraídas pelos diferentes extratores.

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 correlacionou 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, porcentagem 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.

TANAKA *et alii* (1981), ao estabelecerem o melhor extrator de fósforo quando se utiliza o fosfato Patos

de-Minas em Latossolo Roxo distrófico, mostraram que o método Mehlich apresenta grande poder de extração de fósforo, tanto na presença como na ausência de calcário. Concluíram que o extrator Bray-2 modificado foi o que melhor estimou a disponibilidade de fósforo 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 fósforo absorvido pelo milho.

BAHIA FILHO *et alii* (1982), estudando a relação dos teores de fósforo 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 P-Ca removida pelo Mehlich era constituída de fosfato de cálcio proveniente de 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. Uma van-

tagem da troca iônica sobre outros processos é a maior eficiência deste extrator. Assim, durante o processo de troca iônica, o fósforo do solo é trocado por uma quantidade equivalente de cloreto. Posteriormente, a resina carregada de fósforo é tratada com HCl para remoção do fósforo 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 fósforo 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 fósforo adsorvido pela resina em duas horas e fósforo avaliado pela diluição isotópica e solução HCl 0,25N + NH_4F 0,03N (Bray-Kurtz), respectivamente. Dados obtidos por COOKE e HISLOP (1963), em experimentos em vasos, demonstraram que a quantidade de fósforo extraído pela resina foi altamente correlacionada ($r=0,91$) com a quantidade de fósforo 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 fósforo 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 fósforo pela resina reflete ambos os fatores capacidade e intensidade de fósforo no solo.

PALMA e FASSBENDER (1970), avaliando a disponibilidade de fósforo para tomateiro, em 40 solos da América Central, demonstraram que o método da resina se mostrou superior aos extratores Bray 1, Mehlich, Olsen, Saunders modificado, Egner-Riehr e potencial fosfato, pela alta correlação (0,93) obtida entre o fósforo extraído pela resina em 18 horas e fósforo absorvido pelas plantas. Ainda segundo esses autores, e AMER *et alii* (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 fósforo pelas raízes e eliminam adsorção secundária dos íons fosfato durante a extração.

RAIJ (1978), mediante extensa revisão bibliográfica, demonstrou a superioridade do método da resina, em relação a uma série de extratores químicos de uso comum no Brasil.

No Brasil, o emprego da resina aniônica como índice de disponibilidade de fósforo para as plantas, teve início com os trabalhos de CABALA (1979) e RAIJ e DIEST (1980).

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 resina aniônica foi implantada como técnica rotineira de extração de fósforo no Estado de São Paulo, pelo laboratório de Análises de Solos do Instituto Agronômico de Campinas e, posteriormente, pelos Laboratórios do Departamento de Química e de Solos Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ). Da mesma forma, no Centro de Pesquisa 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).

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 distrófico, textura argilosa (LEd) e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, 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 epípedon 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 de até 20 cm que, após secadas ao ar, foram passadas por pe-

neira 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 dispersa em H ₂ O	argila	silte	areia	densidade aparente	classe textural
	-----		%	-----	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	1,19	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 $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ é de aproximadamente 3,8 e 2,8 para o LVd e LEd, respectivamente. Estes dados demonstram uma predominância do cálcio sobre o magnésio no complexo de troca. Os valores de alumínio trocável e percentagem de saturação de alumínio, encontrados para os dois solos, não oferecem problemas para a cultura do arroz de sequeiro (FAGERIA, 1984).

Tabela 2 - Características químicas dos solos utilizados.

Amostras de terra coletadas de 0 a 20 cm de profundidade

Características	Unidade	Solos		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(AO _c) 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	2,18	4,36	Resina
P ^{"disponível"}	ppm	1,40	2,53	Bray-1
P ^{"disponível"}	ppm	1,00	1,00	Mehlich
P-NH ₄ Cl	µg P/g	8,00	6,00	CHANG & JACKSON
P-Ca	"	13,00	18,00	(1957)
P-Fe	"	45,00	52,00	"
P-Al	"	35,00	35,00	"
Outros fosfatos	"	154,00	308,00	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	"

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 ao alumínio (P-Al) e por último o cálcio (P-Ca).

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 sub-produto do processo de acidulação. O Superfosfato Triplo e o de Araxá Parcialmente Solubilizado foram denominados, neste trabalho, de SPT e FAPS, respectivamente.

Analizou-se também os corretivos ($CaCO_3$ e $MgCO_3$ comerciais); dissolvendo-se 1 g de material finamente moído em 50 ml de HCl 0,5N, titulando-se o excesso com NaOH 0,25N contra indicador fenolftaleína. Os teores de $CaCO_3$ e de $MgCO_3$ foram 89,35% e 80,30%, respectivamente.

3.2. Delineamento experimental

Os tratamentos constituíram-se num arranjo fatorial $4 \times 2 \times 2^*$, correspondendo a dois solos, duas fontes de fosfato e quatro períodos de incubação que incluem 3 tratamentos com calcário, aplicado a intervalos de 90 dias

* Cada solo foi estudado separadamente para facilitar a interpretação dos resultados.

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 [*]	Granulometria - mm		
		solúvel em H ₂ O	solúvel em ác. cítrico a 2%(1:100)		> 2,0	2,0-1,0	1,0-0,5
----- % ----- mg/g ----- % -----							
SPT	45	93,00	97,78	-	73,40	26,00	0,60
FAPS	26	30,77	38,46	144,3	45,88	53,88	0,24

* Determinado pelo método de condutividade elétrica.

e um sem adição do calcário mas incubado por 180 dias com FAPS e SPT. O delineamento foi disposto em blocos casualizados com três repetições e a unidade experimental foi constituída por um vaso com 3,0 kg de terra.

3.3. Instalação e condução dos experimentos em casa de vegetação

Antes do plantio do arroz, amostras de 4 kg de cada solo, com FAPS e SPT foram incubadas em sacos plásticos. Os fosfatos, superfosfato triplo (SPT) e fosfato de Araxá parcialmente solubilizado (FAPS) foram aplicados em forma granular na dose de 150 ppm de P com base no teor de P_2O_5 total revelado pela análise química (Tabela 3). A terra e o fosfato foram misturados manualmente nos sacos plásticos, irrigados com água destilada até 80% da capacidade máxima de retenção de cada solo e fechados. As amostras foram incubadas por 180 dias, iniciando a 01/08/85 e terminando em 01/02/86. A cada intervalo de 90 dias o calcário foi aplicado, para isso as amostras respectivas eram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm e o calcário era então aplicado em uma mistura de $CaCO_3 + MgCO_3$ comerciais na forma de pó, na proporção de 4:1 equivalentes; as necessidades de calcário para a elevação do pH em H_2O em torno de 6,5; foram calculadas mediante a correlação entre pH e a saturação de bases (CATANI e GALLO, 1955). Dessa forma, se obteve os seguintes períodos de reação entre calcário e fosfato em dias: 180, 90 e 0. Após a aplicação do

calcário e água, os solos eram cobertos com sacos plásticos de polietileno preto para evitar a incidência de luz e, conseqüentemente, a germinação de sementes de ervas daninhas.

Após a incubação, as amostras de solo foram novamente 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 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 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 apresente 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	537	1074
K	150 (75+75)	KCl	432	432
B	1,0	H_3BO_3	17,14	-
Cu	1,0	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	11,76	-
Mo	0,1	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,56	-
Zn	5,0	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	65,2	-

* Adicionados em 21/3/86 - correspondeu ao início do primórdio floral

Após uma homogeneização, a mais uniforme possível, a mistura de 3,0 kg de terra foi transferida para vasos de barro, previamente impermeabilizado com tinta preta neutrox e água destilada foi adicionado de modo a manter o nível de umidade próximo a 80% da capacidade máxima de retenção. Fez-se o plantio, colocando-se 10 sementes de arroz, cultivar IAC 165 em cada vaso. Dez dias após a germinação, foi efetuado o desbaste, deixando 3 plantas. Foram efetuados tratamentos fitossanitários para combater o ataque de pragas, utilizando-se o pirretróide, isento de fósforo, na dosagem de 1 ml/litro.

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 no tecido vegetal, de acordo com metodologia descrita no item 3.5.

3.4. Análise de solos

As amostras de terra coletadas após a incubação foram, depois de seca ao ar e passadas em peneira de 2 mm 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:

3.4.1. Métodos de extração de fósforo

3.4.1.1. Método de Olsen + EDTA

(MIYAKE *et alii*, 1984)

Amostras de 4 g 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 absorbância em fotocolorímetro KLETT-SUMMERSON com filtro vermelho.

3.4.1.2. Método de Mehlich (EMBRAPA, 1979)

Agitou-se 10 g de TFSA por 5 minutos, com 100 ml 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.

3.4.1.3. Método da Resina (RAIJ e QUAGGIO, 1983).

A extração de fósforo por este método foi realizado no Laboratório da Seção de Fertilidade do Solo da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ).

Utilizou-se uma mistura de volumes iguais das resinas trocadoras de ânions (Amberlita IRA-400, base forte) e cations (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 $2,5 \text{ cm}^3$ de TFSA e 25 ml de água destilada previamente agitada por 15 minutos, foi adicionada $2,5 \text{ cm}^3$ 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 100ml. 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 modelo VARIAN, série 634, com comprimento de onda 885 nm. A quantidade de água adicionada na mistura tem pouco efeito na extração do fósforo.

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

Amostras de 7 g de TFSA foram agitadas por um minuto com 50 ml de solução HCl 0,025N + NH_4F 0,03N e filtrou-se a suspensão em papel de filtro S&S faixa azul.

O P na solução foi determinado pelo método azul cloromolibdico, usando como redutor o cloreto estanhoso.

3.4.2. 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 sulfomolibdico. Usou-se o cloreto estanhoso como agente redutor em ambos os casos.

A fração denominada neste trabalho "outros fosfatos" 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 na planta foi determinado segundo método sugerido por SARRUGE e HAAG (1974). Amostras de 1g

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 então determinado por colorimetria usando vanadato-molibdato.

3.6. Análises estatísticas

Com os dados obtidos, foram efetuadas análises da variância, segundo o delineamento experimental 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 de formas de fósforo encontradas nos dois solos em função dos tratamentos foram avaliadas através do fracionamento de CHANG e JACKSON (1957).

Os teores médios das frações inorgânicas de fósforo, obtidos em função dos fatores: fontes de fosfato, tempos de incubação e da interação fontes por tempos, aparecem nas Tabelas 5 e 6. A análise de variância indica que nos dois solos, existe uma diferença altamente significativa nos diferentes tempos de incubação para todas as frações, com exceção das frações $P-NH_4Cl$ e $P-Fe$ do LVd e LEd, respectivamente. Quando se empregou o Superfosfato Triplo (SPT), os teores de $P-Al$ diminuíram na medida em que aumentaram os tempos de incubação entre calcário e fosfato, tanto em LVd como em LEd. Não houve diferença significativa nos teores das frações

ções P-Fe, P-Ca e P-NH₄Cl, com os tempos de incubação entre calcário e SPT em ambos os solos. Os maiores teores de P-Al e P-Fe e os menores de P-NH₄Cl e P-Ca, foram encontrados nos tratamentos sem calcário.

Quando se empregou o Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS), os teores das frações P-NH₄Cl no LEd e P-Al no LVd, aumentaram e diminuíram, respectivamente, à medida que aumentaram os tempos de incubação entre calcário e fosfato. As três frações restantes, em cada tipo de solo, não acusaram diferenças significativas com os tempos de incubação entre calcário e FAPS, de forma semelhante ao SPT, os maiores teores de P-Al e P-Fe e os menores de P-NH₄Cl e P-Ca, foram encontrados nos tratamentos sem calcário.

O anteriormente exposto para dos dois fosfatos, indica que existem mudanças nos teores das frações inorgânicas de fósforo com os tempos de incubação, em ambos os solos (Tabelas 5 e 6). O que possivelmente foi causado pelos aumentos nos valores de pH, devido ao maior tempo de contato entre calcário e fonte de fosfato, conforme foi demonstrado na Tabela 11.

A elevação do pH possibilita maior formação de fósforo mais facilmente aproveitável, isto é, P-NH₄Cl e P-Ca. Segundo CABALA e FASSBENDER (1971) e BRAGA e DEFELIPO (1972a), a calagem afeta as formas de fósforo inorgânico do

Tabela 5 - Teores médios de fósforo obtidos no fracionamento das frações inorgânicas nas amostras de solo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVd), após a aplicação prévia de fosfato em relação aos tempos de incubação

Fontes de fosfatos	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 entre calcário e fosfatos(dias)				Tempo de incubação entre calcário e fosfatos(dias)				Tempo de incubação entre calcário e fosfatos(dias)				Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)							
	180	90	0	S/C ¹	Média	180	90	0	S/C	Média	180	90	0	S/C	Média	180	90	0	S/C	Média
SPT	9,0	9,3a	9,3a	9,3a	9,3a	52,3aC	55,0aBC	59,3aAB	61,3aA	52,0a	143,aB	151,3aAB	151,3aAB	157,7aA	150,8a	79,0aA	76,0aA	68,7aAB	63,3aB	71,8a
FAPS	8,7	8,0b	8,3b	8,3b	8,3b	31,3bB	36,3bAB	37,0bA	36,7bA	35,3b	110,0bB	113,3bAB	116,7bAB	122,0bA	115,5b	168,7bA	167,7bA	159,0bAB	155,7bB	162,8b
Média	8,8	8,7	8,8	8,8	8,8	41,88	45,7A	48,2A	49,0A	43,0A	126,5B	132,3AB	134,0AB	139,8A	123,8A	121,8A	113,8B	109,5B		

Teste F														
Fontes (Fo)		19,25**2				576,60**				346,67**				2454,72**
Tempos (T)		0,16 ns ³				12,72**				8,36**				13,45**
Fo x T		1,01 ns				1,93ns				0,30ns				0,11ns
DMS (Tukey 5%)														
Tempos (T)						3,71				7,79				7,33
T dentro de SPT						5,24				11,03				10,68
T dentro FAPS						5,24				11,03				10,68
Coef. de variação (%)						4,79				3,49				3,84

- Médias seguidas pelas mesmas letras 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 S/C - Fosfatos incubados por 180 dias, sem aplicação do calcário; ² ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ³ ns - não significativo

Tabela 6 - Teores médios de fósforo obtidos no fracionamento das frações inorgânicas nas amostras de solo Latossolo Vermelho Escuro distrófico (LEd), após a aplicação prévia de fosfatos em relação aos tempos de incubação

Fontes de fosfatos	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 entre calcário e fosfatos(dias)			Tempo de incubação entre calcário e fosfatos(dias)			Tempo de incubação entre calcário e fosfatos(dias)			Tempo de incubação entre calcário e fosfatos(dias)										
	180	90	S/C ¹	Média	180	90	0	S/C	Média	180	90	0	S/C	Média						
SPT	7,0A	6,3AB	6,0AB	5,3B	6,2	82,7aB	87,0aAB	92,7aA	96,0aA	89,6a	118,7a	119,7a	119,3a	120,0a	119,4a	67,3aA	63,0aAB	60,0aAB	55,0aB	61,3a
FAPS	6,7A	6,0AB	5,3B	5,3B	5,8	50,3b	53,0b	55,7b	57,0b	54,0b	82,3b	82,3b	87,7b	90,0b	85,6b	107,7b	106,3b	104,0b	100,7b	104,7b
Média	6,8A	6,2AB	5,7BC	5,3C		66,5B	70,0AB	74,2A	76,5A		100,5	101,0	103,5	105,0		87,5A	84,7A	82,0AB	77,8B	
Teste F																				
Fontes (Fo)		3,03	ns ²				466,95**					250,27**						906,52**		
Tempos (T)		11,61**	3				7,25**					0,98 ns						8,16**		
Fo x T		0,50	ns				0,82ns					0,69 ns						0,60 ns		
DMS (Tukey 5%)																				
Tempos (T)		0,79					6,77											5,92		
T dentro de SPT		1,11					9,57											8,37		
T dentro de FAPS		1,11																		
Coef.de variação (%)		7,82					5,62					5,11						4,25		

- Médias seguidas pelas mesmas letras 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 S/C - Fosfatos incubados por 180 dias, sem aplicação do calcário; 2 ns - não significativo; 3ns-significativo ao nível de 1% de probabilidade

do solo, muito embora esta alteração não seja uniforme para todos os solos. O que se confirma ao observar que os tratamentos com calcário no LVd, aumentaram os teores de P-Ca, não alteraram os de P-NH₄Cl e reduziram os de P-Al e P-Fe em relação aos tratamentos sem calcário. Já no LEd a tendência foi a de aumentar os teores de P-NH₄Cl e P-Ca, não alterar os de P-Fe e reduzir os de P-Al. A diminuição dos teores de P-Al e P-Fe; possivelmente foi devido à elevação do pH pela calagem, condição que desfavorece a formação de variscita e strengita, fato admitido por BRAGA e DEFELIPO (1972a).

A adição de fósforo aos solos, através de duas formas de compostos fosfatados, alterou significativamente os teores das diferentes frações de fósforo conforme se vê nas Tabelas 5 e 6. Quando a fonte adicionada foi o SPT, os teores das frações P-NH₄Cl, 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 alumínio dada a alta atividade desses cátions. Segundo LINDSAY *et alii* (1962), HSU (1965) e PARFITT *et alii* (1975), os produtos de reação de fertilizantes fosfatados com o solo dependem, sobretudo das condições de acidez durante a dissolução do fertilizante. No caso do superfosfato, o fos-

fato monocálcico se dissolve em H_2O com consequente formação de H_3PO_4 que ao reagir com Fe e Al existentes 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. 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 foi encontrado por GOEDERT *et alii* (1971), em parcelas adubadas com fosfatos naturais e fosfatos solúveis. Não houve efeito da interação entre fontes e tempos de incubação, para todas as frações inorgânicas em ambos os solos

Os teores das frações P-Fe, P-Al e P- NH_4Cl , foram significativamente maiores quando se empregou o SPT do que quando se usou o FAPS em qualquer tempo de incubação e para ambos os tipos de solos. Acontecendo o contrário quando se considerou os teores de P-Ca; o que está de acordo com a explicação anterior de que o FAPS apresenta na sua composição uma proporção maior de fósforo na forma de fosfato tricálcico, que ainda não reagiu com o solo, o que confirma o sugerido por BAHIA FILHO *et alii* (1982).

Na Tabela 7 são mostrados os teores médios

Tabela 7 - Teores médios de fósforo obtidos no fracionamento das frações inorgânicas em amostras de dois solos, após a aplicação prévia de fosfatos em relação aos tempos de incubação e considerado isoladamente as duas fontes de fósforo

Solos	Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado				Média	Superfosfato Tripla				
	P-Fe	P-Al (µg P/g)	P-Ca	P-NH ₄ Cl		P-Fe	P-Al (µg P/g)	P-Ca	P-NH ₄ Cl	Média
LVD	115,5aB	35,3aC	162,8aA	8,30	80,5a	150,8aA	57,0aC	71,8aB	9,20	72,2
LED	85,6bB	54,0bC	104,7bA	5,80	62,5b	119,4bA	89,6bB	61,3bC	6,20	69,1
Média	100,5B	44,7C	133,7A	7,10		135,1A	73,3B	66,5C	7,70	
Teste F										
Solos (s)			190,76 ** 1					3,65 ns 2		
Frações de P (FP)			1889,23 **					1047,25 **		
S x FP			164,29 **					68,47 **		
DMS (Tukey 5%)										
Frações de P (FP)			5,07					6,28		
FP dentro de LVD			7,17					8,88		
FP dentro de LED			7,17					8,88		
Coef. variação (%)			5,14					6,44		

- Tukey ao 5% de probabilidade; letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

1** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; 2 ns - não significativo

das frações inorgânicas de fósforo, considerando por separado as duas fontes de fósforo em função dos fatores: solos, formas de fósforo e da interação solos por formas de P quando foi significativa. Para as duas fontes de fósforo, observa-se um efeito altamente significativo para todos os fatores. Quando se considerou o FAPS, os teores médios das frações decresceram na seguinte ordem: $P\text{-Ca} > P\text{-Fe} > P\text{-Al} > P\text{-NH}_4\text{Cl}$. Isto confirma ainda mais do que o FAPS apresenta na sua composição uma proporção maior de fósforo na forma de fosfatos tricálcico, que ainda não reagiu com o solo.

Considerando o SPT, observa-se que os teores médios das frações variaram na ordem seguinte: $P\text{-Fe} > P\text{-Al} > P\text{-Ca} > P\text{-NH}_4\text{Cl}$. Confirmando 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 alumínio dada à alta atividade desses cátions (LANDSAY *et alii*, 1962).

Os teores médios das frações inorgânicas: $P\text{-Fe}$, $P\text{-Ca}$ e $P\text{-NH}_4\text{Cl}$ em ambas as fontes de fósforo, foram maiores no LVd que no LE_d; indicando uma maior fixação de fósforo nessas formas por parte do LVd.

4.2. Fósforo "disponível"

O fósforo "disponível" obtido nos dois so-

los pelos extratores utilizados é apresentado nas Tabelas 8 e 9. Dependendo do solo, fonte de fósforo e tempos de incubação, os teores obtidos variaram de 16,5 a 69,4 $\mu\text{g P/g}$ para o extrator Mehlich, de 12,9 a 32,8 $\mu\text{g P/g}$ para o de Bray-1, de 21,6 a 37,1 $\mu\text{g P/g}$ para o de Olsen + EDTA e de 15,6 a 39,6 g P/cm^3 para o da Resina trocadora de ânions. Colocando os extratores em ambos os solos, em função da quantidade de fósforo extraído, ficaria a seguinte sequência no SPT: Olsen = Resina e Bray-1 > Mehlich, enquanto que na FAPS a ordem encontrada foi a seguinte: Mehlich > Olsen > Resina > Bray-1.

Nas Tabelas 8 e 9 aparecem os teores médios de fósforo "disponível", obtidos em função dos fatores principais e da interação fontes de fósforo por tempos de incubação quando foram significativas, quanto aos diferentes tempos de incubação, observa-se no LEd efeitos altamente significativos nos extratores: Mehlich, Olsen e Resina. No caso do LVd, este efeito foi evidente somente para o extrator Resina, indicando dentro de certos limites que existem variações nos teores de fósforo "disponível", dependendo dos tempos de incubação e do extrator usado em ambos os solos.

A análise de variância dos teores de fósforo "disponível" evidencia também, que a aplicação dos fosfatos em ambos os solos alterou de maneira diferente as concentrações de fósforo dependendo do extrator usado. Quando é usado o SPT, há um aumento significativo na quantidade de

fósforo "disponível" extraído pelos extratores Bray-1, Olsen + EDTA e Resina, em comparação com o FAPS (Tabelas 8 e 9). Os teores do fósforo "disponível" diminuíram com a 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. Isto indica 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 interações significativas entre fontes de fósforo e tempos de incubação em ambos os solos. Com relação ao fósforo extraído pelos extratores Bray-1 e Mehlich, observou-se que os teores de fósforo "disponível" dentro do SPT não variaram significativamente na medida que aumentaram os tempos de incubação entre calcário e fosfato em ambos os solos. Ainda em relação ao Bray-1 e Mehlich, observou-se que o SPT na presença de calcário forneceu teores mais altos de fósforo "disponível" que na ausência de calcário, o que era de se esperar, já que houve aumentos nos valores de pH pela aplicação do calcário, como se observa na Tabela 11. Já quando se adicionou o FAPS e com relação ao fósforo extraído pelo extrator Mehlich, obteve-se aumentos nos teores de fósforo "disponível" no LVd, na

medida que diminuíram os tempos de incubação entre calcário e FAPS, o que era esperado, devido a menores valores de pH nos referidos tempos. Para o extrator Bray-1, em ambos os solos, como para o Mehlich no LEd, não se encontraram diferenças significativas nos teores de fósforo "disponível" através dos tempos de incubação entre calcário e FAPS; os maiores teores de fósforo "disponível" foram encontrados 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 de calagem, a eficiência do fosfato Patos diminuiu e a de Superfosfato triplo aumentou, em termos de produção de soja.

No caso do extrator Olsen + EDTA houve também uma interação altamente significativa entre as fontes de fósforo e os diferentes tempos de incubação em ambos os solos. Dentro dos tratamentos com SPT e considerando o LVd, pode-se observar que os maiores teores de fósforo "disponível" ocorreram na medida que aumentaram os tempos de incubação entre calcário e fosfato. O que era de se espe-

Tabela 8 - Teores médios de fósforo disponível obtidos em vários extratores, em amostras de solo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVd), após a aplicação prévia de fosfatos em relação aos tempos de incubação.

Fontes de fos- fatos	P extr. Mehlich (µg P/g)				P extr. Bray-1 (µg P/g)				P extr. Olsen+EDTA (µg P/g)				P extr. Resina (µg P/cm ³)							
	Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)				Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)				Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)				Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)							
	180	90	0	S/C ¹	Média	180	90	0	S/C	Média	180	90	0	S/C	Média					
SPT	33,4a	30,9a	30,3a	29,8a	31,1a	32,8ab	31,8aB	31,2aB	28,8ab	31,1a	37,1aA	34,1aB	32,2BC	28,4C	32,9a	26,8aA	25,2aB	24,1aB	22,0aB	24,5a
FAPS	57,7bB	64,8bAB	67,4bA	69,4bA	64,8b	17,4b	18,7b	18,2b	19,9b	18,5b	23,4bB	28,9bA	29,6A	30,9A	28,2b	19,9bA	18,8bAB	16,6bB	15,6bB	17,7b
Média	45,5	47,9	48,9	49,6		32,8	31,8	31,2	28,8		30,3	30,5	31,9	29,6		23,4A	22,0AB	20,4bC	18,8C	
Teste F																				
Fontes (Fo)	620,65**2					424,19**					31,06**					142,53**				
Tempos (T)	1,73 ns ³					0,41ns					1,26ns					12,22**				
Fo x T	6,19**					4,99**					15,68**					0,23ns				
DMS (Tukey a 5%)																				
Tempos (T)						3,55					4,91					2,35				
T dentro de SPT											4,91					3,32				
T dentro de FAPS	7,86															3,32				
Coef. de variação (%)	6,91					6,02					6,76					6,62				

- 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 S/C - Fosfatos incubados por 180 dias, sem aplicação do calcário; 2 - significativo ao nível de 1% de probabilidade; 3ns - não significativo;

4* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 9 - Teores médios de fósforo disponível obtidos em vários extratores, em amostras de solo Latossolo Vermelho Escuro distrófico (LED), após a aplicação prévia de fosfatos em relação aos tempos de incubação

Fontes de fosfatos	P extr. Mehlich (µg P/g)			P extr. Bray-1 (µg P/g)			P extr. Olsen+EDTA (µg P/g)			P extr. Resina (µg P/cm ³)										
	Tempo de incubação entre calcário e fosfatos(dias)			Tempo de incubação entre calcário e fosfatos(dias)			Tempo de incubação entre calcário e fosfatos(dias)			Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)										
	180	90	S/C ¹	Média	180	90	0	S/C	Média	180	90	0	S/C	Média						
SPT	20,4aA	17,9aAB	17,7aAB	16,5aB	18,1a	28,3a	27,9a	26,8a	26,5a	27,4a	24,3aB	26,4A	28,4A	33,3aA	28,1a	39,6aA	38,4aA	35,9aA	28,4aB	35,6a
FAPS	30,0bB	29,0bB	30,5bB	35,3bA	31,2b	13,0b	12,9b	13,9b	14,5b	13,6b	21,6bC	26,0bC	27,5B	25,7bA	25,2b	25,9b	24,1b	24,6b	19,9b	23,6b
Média	25,2AB	23,5B	24,1AB	25,9A		20,6	20,4	20,4	20,5		23,0C	26,2B	27,9AB	29,5A		32,7A	31,3A	30,3A	24,1B	
Teste F																				
Fontes (Fo)	617,12 **2			824,33 **			42,98 **			99,55**										
Tempos (T)	4,19 * 3			0,07 ns ⁴			40,78 **			9,97**										
Fo x T	14,43 **			2,80 ns			14,01 **			1,22 ns										
DMS (Tukey a 5%)																				
Tempos (T)	2,17						1,80			4,91										
T dentro de SPT	3,06						2,55			6,95										
T dentro de FAPS	3,06						2,55			-										
Coef. de variação (%)	5,24			5,75			4,04			9,90										

- 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 ** - Fosfatos incubados por 180 dias, sem aplicação do calcário; 2** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; 3* - significativo ao nível de 5% de probabilidade; 4 ns - não significativo

rar, devido aos aumentos de pH nos referidos tempos, como se observa na Tabela 11, fato já comprovado ao se comparar os teores na presença de calcário, com os obtidos na ausência de calcário. Dentro dos tratamentos com FAPS, a tendência foi de aumentar os teores de fósforo "disponível" na medida que diminuem os tempos de incubação entre calcário e fosfato (Tabela 8), o que era esperado, devido a menores valores de pH. Caracterizando dessa forma o efeito favorável da acidez do solo na dissolução do FAPS.

Em relação ao Olsen + EDTA, e quando se considera o LEd dentro do SPT, observa-se que esta interação obedece a uma sequência diferente neste tipo de solo (Tabela 9). BRAGA e DEFELIPO (1972a) também encontraram uma diminuição do fósforo "disponível" quando o extrator foi o Olsen + EDTA, segundo os autores, provavelmente houve enfraquecimento do poder extrativo dos reagentes, devido à calagem. Ainda em relação ao Olsen + EDTA e Bray-1, os teores obtidos com FAPS foram mais baixos comparados ao SPT nos diferentes tempos. Isto ocorre porque o extrator Olsen e Bray-1 têm 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 *et alii* (1982).

Quando se adicionou SPT em ambos os solos, os teores de fósforo "disponível" extraídos pela Resina, não acusaram diferenças significativas com os tempos de incubação entre calcário e fosfatos. Os maiores teores de fósforo ocorreram na presença de calcário (Tabelas 8 e 9). Quando o FAPS foi adicionado houve aumentos significativos nos teores de fósforo no LVd na medida que aumentaram os tempos de incubação entre calcário e fosfato. Já dentro do LEd, o efeito do FAPS não foi significativo nos diferentes tempos.

Na Tabela 10, são mostrados os teores médios de fósforo "disponível", considerando por separado as duas fontes de fósforo em função dos fatores: solos, extratores e da interação extratores por solos. Para as duas fontes de fósforo, observa-se efeitos significativos para todos os fatores. Quando se considera o FAPS, os teores médios de fósforo "disponível" variaram na seguinte ordem: P-Mehlich = 48,0 $\mu\text{g P/g}$, P-Olsen = 26,7 $\mu\text{g P/g}$; P-Resina = 20,7 $\mu\text{g P/cm}^3$ e P-Bray-1 = 16,1 $\mu\text{g P/g}$. O que indica que o extrator Mehlich dissolve minerais de apatita não tratados com ácido durante o processo de obtenção do FAPS, o que permaneceu sem reação no solo; mostrando a inadequação do Mehlich quando o FAPS é usado nestes solos. Fato já demonstrado por FEITOSA e RAIJ (1976). Ainda dentro do FAPS e considerando o LVd, observou-se que a ação extratora da Resina foi reduzida em comparação aos extratores químicos Mehlich e Olsen + EDTA, o fósforo extraído pela Resina trocadora de

Tabela 10 - Teores médios de fósforo disponível extraídos por vários extratores e obtidos em amostras de dois solos, após a aplicação prévia de fosfatos em relação aos tempos de incubação e considerando isoladamente as duas fontes de fósforo

Solos	Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado					Superfosfato Triplo				
	Bray-1	Mehlich (µg P/g)	Olsen	Resina	Média	Bray-1	Mehlich (µg P/g)	Olsen	Resina	Média
LVD	18,6aC	64,8aA	28,2B	17,7aC	32,3a	31,2aA	31,1aA	32,9aA	24,5aB	29,9a
LED	13,6bC	31,2bA	25,2B	23,6bB	23,4b	27,4bB	18,1bC	28,1bB	35,6bA	27,3b
Média	16,1C	48,0A	26,7B	20,7D		29,2A	24,6B	30,5A	30,0A	
Teste F										
Solos (S)			80,12**1					6,80* 2		
Extratores (Ex)			200,59**					7,10*		
S x Ex			73,88**					24,19**		
DMS (Tukey a 5%)										
Extratores (Ex)			3,89					3,92		
Ex dentro de LVD			5,5					5,62		
Ex dentro de LED			5,5					5,62		
Coef. de variação (%)			10,12					10,07		

- Tukey ao nível de 5% de probabilidade, letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

1** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; 2 * - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11 - Valores médios de pH, medidos em CaCl_2 0,01 M e obtidos em amostras de dois solos após a aplicação prévia de fosfatos em relação aos tempos de incubação

Fontes de fosfatos	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVd)					Latossolo Vermelho Escuro distrófico (LEd)				
	Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)					Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)				
	180	90	0	S/C ¹	Média	180	90	0	S/C	Média
SPT	5,6A	5,4AB	5,1B	3,8C	5,0	5,6aA	5,6aA	5,3B	4,1C	5,1
FAPS	5,6A	5,5A	5,1B	4,0C	5,1	5,8bA	5,3bB	5,2B	4,1C	5,1
Média	5,6A	5,5A	5,1B	3,9C		5,7A	5,5B	5,2C	4,1D	
Teste F										
Fontes (Fo)	2,20 ns ²					1,06 ns				
Tempos (T)	155,22** ³					664,19**				
Fo x T	0,23 ns					10,48**				
DMS (Tukey a 5%)										
Tempos (T)	0,25					0,113				
T dentro de SPT	0,35					0,160				
T dentro de FAPS	0,35					0,160				
Coef. de variação (%)	2,96					1,32				

- 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 S/C - Fosfatos incubados por 180 dias, sem aplicação do calcário; ² ns - não significativo; ³** - significativo ao nível de 1% de probabilidade.

íons representa a extração do elemento da fração lábil, enquanto que os extratores químicos extraem fósforo tanto da fração lábil quanto da fração não lábil, conforme mencionam diversos autores: BAHIA FILHO e BRAGA (1975), NOVELINO *et alii* (1985) e HISLOP e COOKE (1966).

Com a adição do SPT, encontrou-se a seguinte ordem nos teores médios de fósforo "disponível" dos vários extratores: P-Olsen+EDTA = 30,5 $\mu\text{g P/g}$, P-Resina = 30,0 $\mu\text{g P/cm}^3$, P-Bray-1 = 29,2 $\mu\text{g P/g}$ e P-Mehlich = 24,6 $\mu\text{g P/g}$. Dentro de cada solo e com SPT as variações foram diferentes. Assim no LEd a sequência encontrada foi a seguinte: P-Resina > P-Olsen = P - Bray-1 > P-Mehlich. Já no LVd, os teores de fósforo "disponível" nos vários extratores, estiveram próximos de 30 $\mu\text{g P/g}$.

Observando-se os teores de fósforo "disponível" da Tabela 10 para o LEd, pode-se verificar que os valores obtidos principalmente com os extratores Bray-1, Olsen + EDTA e Mehlich, são inferiores aos obtidos pelos mesmos extratores para o LVd. Uma das causas dos baixos teores de P-"disponível" no LEd pode ser a quantidade de argila maior 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 relacio-

nada a reações secundárias após a dissolução ou ainda com a exaustão dos reagentes devido a sua reação com outros minerais do solo que não sejam 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 tempos de incubação, sobre os valores de pH, são vistos na Tabela 11. Como se observa o pH foi afetado dentro de cada fonte de fosfato nos diferentes tempos de incubação. O que indica dentro de limites que o pH aumentou com os tempos de contato entre calcário e adubo, os menores valores de pH em ambos os solos, foram encontrados nos tratamentos sem calcário; não houve tendência dos fosfatos de alterar os valores de pH, tanto em LVd como em LEd.

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 12. Nas amostras com calagem e considerando o superfosfato triplo, observou-se uma correlação positiva entre o fósforo do solo extraído pelo extrator Mehlich e

Tabela 12 - 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

Extratores	Olsen+EDTA		Bray-1		Resina	
	com calc.	sem calc.	com calc.	sem calc.	com calc.	sem calc.
SUPERFOSFATO TRIPLO						
Mehlich	0,845*	ns	0,869*	0,848*	ns	ns
Olsen+EDTA			0,680*	ns	ns	ns
Bray-1					ns	ns
FOSFATO DE ARAXÁ PARCIALMENTE SOLUBILIZADO						
Mehlich	0,491*	ns	0,926*	0,949*	ns	ns
Olsen+EDTA			0,516*	0,870*	ns	ns
Bray-1					ns	ns

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - Não significativo

Olsen+EDTA, Mehlich e Bray-1 e Olsen e Bray-1. Nas amostras sem calagem, somente os teores de fósforo obtidos com Mehlich correlacionaram significativamente com os teores de fósforo usando o Bray-1. Ainda nas amostras sem calagem não se constatou correlação entre os teores de fósforo extraídos com Olsen + EDTA com os demais extratores estudados. Supõe-se que a ausência de calagem esteja diminuindo a eficiência do método de Olsen + EDTA na extração de fósforo "disponível". Isto po-

de estar relacionado à exaustão dos reagentes e precipitações secundárias.

Os teores de fósforo extraídos pelo extrator Resina, não se correlacionaram com os teores de fósforo obtidos com os demais extratores. Possivelmente porque a Resina não extraiu as mesmas formas de fósforo extraídos pelos métodos Mehlich, Bray-1 e Olsen + EDTA. Segundo BAHIA FILHO e BRAGA (1975) e BAHIA FILHO *et alii* (1982), coeficientes altos e coincidentes para certos extratores significam que estes extratores estão extraindo as mesmas formas de fósforo. Assim, observando-se a Tabela 13, 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 extratores Mehlich e Bray-1, provavelmente, esteja relacionada com a predominância desta forma ou, ainda, com 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 ao 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,

Tabela 13 - 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	
	com calcário	sem calcário	com calcário	sem calcário	com calcário	sem calcário	com calcário	sem calcário
SUPERFOSFATO TRIPLO								
P - NH_4Cl	0,929*	0,979*	0,767*	ns	0,749*	0,906*	-0,873*	-0,889
P - Al	-0,965*	-0,932*	-0,821*	0,900*	-0,858*	ns	0,839*	ns
P - Fe	0,871*	0,960*	0,783*	-0,848*	0,686*	0,882*	-0,897*	-0,940
P - Ca	0,813*	ns	0,679*	-0,955	0,715*	ns	-0,632*	ns
FOSFATO DE ARAXÁ PARCIALMENTE SOLUBILIZADO								
P - NH_4Cl	0,860*	0,975*	ns	ns	0,804*	0,880*	-0,716*	ns
P - Al	-0,875*	-0,971*	ns	ns	-0,834*	-0,875*	0,807*	ns
P - Fe	0,948*	0,962*	ns	ns	0,960*	0,865*	-0,858*	ns
P - Ca	0,940*	0,993*	ns	ns	0,92*	0,924*	-0,832*	ns

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - Não significativo

obtiveram resultados semelhantes em amostras de solo com calagem.

Em relação ao extrator Resina e ainda dentro do SPT, a forma preferencialmente extraída nas amostras com calagem foi P-Al, o que explica a inexistência de correlação significativa deste extrator com os demais. A forma de P-Ca correlacionou somente nas amostras com calagem, com os teores de fósforo "disponível" dos extratores Mehlich, Bray-1 e Olsen + EDTA. As formas extraídas pelo extrator Olsen + EDTA nas amostras com calcário foram os de P-NH₄Cl, P-Fe e P-Ca.

Quando foi adicionado o Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS), os teores de fósforo obtidos com Mehlich, Bray-1 e Olsen + EDTA correlacionaram entre si, tanto na presença como na ausência de calcário, exceção feita somente quando se relaciona o Mehlich e Olsen sem calcário. Para o método da Resina não se observou correlações significativas com os métodos anteriormente mencionados (Tabela 12). As formas predominantemente extraídas pelos extratores Bray-1 e Mehlich, foram P-NH₄Cl, P-Fe e P-Ca, como mostram os coeficientes de correlação linear da Tabela 13. Embora não houve significância para Olsen + EDTA, as correlações altas verificadas em Mehlich e Bray-1, com a forma P-Ca, se deve à presença de fosfato tricálcico na composição do FAPS, o qual contribuiu para uma maior pro

porção desta fração no solo (Tabelas 5 e 6).

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). O que explicaria possivelmente a inexistência de correlações significativas entre os extratores químicos e a Resina trocadora de ânions.

4.4. Resposta do arroz aos fatores estudados

Nas Tabelas 14 e 15 são apresentados, respectivamente, para LVd e LEd, as médias dos rendimentos de matéria seca, concentrações de fósforo e fósforo acumulado na parte aérea 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 a exceção da variável concentração de fósforo para o LEd; o SPT forneceu valores significativamente mais elevados em relação ao FAPS. Outros autores têm demonstrado também comportamento inferior do FAPS em relação ao SPT, quanto à 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 8 e 9), 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 existirão relações positivas entre teores de fósforo obtidos com Mehlich e as variáveis, produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea (Tabela 16). Isto se deveu aos teores de fósforo "disponível" fornecidos pelos tratamentos com SPT e não com FAPS, como mostra com mais clareza as relações de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea, donde os teores mais elevados de fósforo "disponível" fornecidos pelo FAPS no extrator Mehlich, resultaram em menores produções de matéria seca e acumulações de fósforo pela parte aérea do arroz, tanto em LVd como em LEd (Tabelas 14 e 15).

A análise de variância dos dados indicou que houve uma interação altamente significativa entre fontes e tempos de incubação, com relação à produção de matéria seca e fósforo acumulado (Tabela 15). O desdobramento da interação para produção de matéria seca mostrou significância para ambas as fontes de fósforo. Dentro de limites e considerando o SPT, na medida que aumentou o tempo de incubação entre calcário e fosfato, subiu também a produção de matéria seca. O que era esperado já que houve aumentos nos valores de pH com os tempos de incubação (Tabela 11), a me

nor produção de matéria seca foi obtida no tratamento sem calcário.

Quando se adicionou o FAPS, notou-se uma tendência em diminuir a produção de matéria seca na medida que aumentaram os tempos de incubação entre calcário e adubo, embora este efeito foi significativo no LEd (Tabela 15), também o LVd mostrou efeito parecido (Tabela 14). Isto se deve possivelmente aos aumentos de pH sofridos na medida em que aumentaram os tempos de incubação entre calcário e fosfato; a produção de matéria seca foi maior no tratamento sem calcário. Em relação ao FAPS, o resultado obtido neste trabalho está de acordo com as afirmações de FREIRE *et alii* (1983), segundo os quais a calagem prejudicou a eficiência dos fosfatos parcialmente acidulados em termos de produção de matéria seca de sorgo, pelo que se obtém na literatura, que a calagem diminui a eficiência dos fosfatos naturais e parcialmente acidulados conforme resultados obtidos por GOEDERT e LOBATO (1982) e ASHBY *et alii* (1966).

No referente a fósforo acumulado na parte aérea do arroz observa-se que houve uma interação altamente significativa entre fontes de fósforo e tempos de incubação no LEd. Ao fazer o desdobramento, verificou-se significância somente para o SPT em ambos os tipos de solos (Tabelas 14 e 15). Vê-se pelas tabelas que os tempos de

Tabela 14. Rendimentos médios de matéria seca, fósforo acumulado e concentração de fósforo na parte aérea do arroz, cultivar IAC-165, obtidos em amostras de solo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVd), após a aplicação prévia de fosfatos em relação aos tempos de incubação

Fontes de fosfatos	Matéria seca (g/vaso)				Fósforo acumulado (mg/vaso)				Concentração de fósforo (%)						
	Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)				Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)				Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)						
	180	90	0	S/C ¹	Média	180	90	0	S/C	Média	180	90	0	S/C	Média
SPT	14,5a	13,6a	13,1	12,5	13,4a	21,8aA	18,5aB	17,7aB	15,8B	18,4a	0,150a	0,136	0,135a	0,126	0,137a
FAPS	9,2b	9,2b	10,5	10,8	9,9b	12,0b	11,2b	12,1b	12,4	11,9b	0,131b	0,120	0,115b	0,114	0,120b
Média	11,8	11,4	11,8	11,7		16,8	14,8	14,9	14,1		0,141A	0,128AB	0,125AB	0,120B	
Teste F															
Fontes (Fo)	33,57** 2					55,44**					14,06**				
Tempos (Tr)	0,10 ns ³					1,78 ns					3,92* 4				
Fo x T	1,95 ns					2,28 ns					0,16 ns				
DMS (Tukey a 5%)															
Tempos (T)											0,0181				
T dentro de SPT						4,02									
T dentro de FAPS															
Coef. de variação (%)	12,7					14,2					8,4				

- 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.

- S/C - Fosfatos incubados por 180 dias, sem aplicação do calcário; 2** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; 3ns - não significativo; 4 - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 15 - Rendimentos médios de matéria seca, fósforo acumulado e concentração de fósforo na parte aérea do arroz, cultivar IAC-165, obtidos em amostras de solq Latossolo Vermelho Escuro distrófico (LEd), após a aplicação prévia de fosfatos em relação aos tempos de incubação

Matéria seca (g/vaso)				Fósforo acumulado (mg/vaso)				Concentração de fósforo (%)						
Fontes de fosfatos	Tempo de incubação entre calcário e fosfato (dias)			Média	Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)			Média	Tempo de incubação entre calcário e fosfatos (dias)					
	180	90	S/C¹		180	90	0		S/C	180	90	0	S/C	Média
SPT	13,3aA	10,3aB	7,9B	9,8a	23,7aA	12,6B	8,8B	8,7B	13,5a	0,178A	0,122AB	0,111B	0,109B	0,130
FAPS	4,2bB	6,2bAB	7,9A	6,7b	8,3b	10,5	8,6	8,4	9,0b	0,202A	0,165AB	0,108BC	0,100C	0,144
Média	8,7	8,2	7,9	8,3	16,0A	11,6AB	8,7B	8,5B		0,190A	0,144B	0,109B	0,104B	
Teste F														
Fontes (Fo)	41,61** 2				15,24**				1,84 ns					
Tempos (T)	0,54 ns³				9,23**				14,85**					
Fo x T	22,20**				10,06**				1,41 ns					
DMS (Tukey a 5%)														
Tempos (T)					4,74				0,0422					
T dentro de SPT	2,81				6,71				0,0597					
T dentro de FAPS	2,81								0,0597					
Coef. de variação (%)	14,31				25,22				18,39					

- 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 S/C - fosfatos incubados por 180 dias sem aplicação do calcário; ²** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ³ não significativo

incubação com calcário na presença de SPT, aumentaram o fósforo acumulado na parte aérea, e que os tratamentos sem calcário apresentaram as menores acumulações de fósforo, o que está de acordo com a explicação anterior no que se refere ao efeito dos valores de pH sobre a produção de matéria seca.

Houve também no LEd um efeito significativo dos tempos de incubação sobre a concentração de fósforo em ambas as fontes de fosfatos (Tabela 15), quando se considerou o SPT, observou-se que os tempos de incubação com calcário aumentaram as concentrações de fósforo na parte aérea e que as menores concentrações foram encontradas no tratamento sem calcário. Embora o LVd não experimentou significância, a tendência encontrada foi a mesma (Tabela 14).

Quanto ao comportamento do FAPS nos diferentes tempos de incubação com calcário, observou-se maiores concentrações de fósforo na parte aérea, na medida que aumentaram os referidos tempos de incubação. As menores concentrações de fósforo foram encontradas nos tratamentos sem calcário (Tabela 15).

O comportamento das médias apresentadas nas Tabelas 14 e 15, relativas à produção de matéria seca, fósforo acumulado e concentração de fósforo na parte aérea do arroz e considerando-se sobretudo o Superfosfato Triplo (SPT),

seguiu o verificado na disponibilidade de fósforo medida principalmente através dos extratores: Mehlich, Bray-1 e Resina trocadora de ânions (Tabelas 8 e 9). Quando se considerou o Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS), somente o comportamento da produção de matéria seca, acompanhou a disponibilidade de fósforo medida principalmente pelos extratores Mehlich e Bray-1.

4.5. Relação entre teores de fósforo no solo e resposta do arroz

Os teores de fósforo "disponível" obtidos com os quatro extratores estudados antes do plantio, foram correlacionados com a produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea do arroz. Utilizou-se uma equação do tipo $Y = a \pm bx$. Pela análise de correlação, encontrou-se uma correlação altamente significativa, entre os teores de fósforo "disponível" extraídos pelo método Bray 1 e a produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea do arroz (Figuras 1 e 2). O fósforo "disponível" obtido através do extrator Olsen + EDTA, também correlacionou com a produção de matéria seca (Figura 3). O baixo coeficiente de correlação obtido em Olsen, se deve possivelmente a que este extrator não mostrou correlação com as formas de fósforo no tratamento com FAPS (Tabela 13); outra causa pode ser a pequena variação nos valores de

Figura 1 - Relação entre fósforo extraído pelo método de Bray-1 e a produção de matéria seca do arroz

Figura 2 - Relação entre fósforo extraído pelo método de Bray-1 e o fósforo acumulado na parte aérea do arroz

Figura 3 - Relação entre fósforo extraído pelo método de Olsen + EDTA e a produção de matéria seca do arroz

fósforo "disponível" em relação à produção de matéria seca (Figura 3). Tanto o extrator Mehlich como a Resina não correlacionaram com as variáveis da planta, provavelmente, porque o extrator Mehlich extrai fósforo do P-Ca, que é pouco solúvel sob condição de campo. No caso da Resina, o fósforo extraído correlacionou positivamente apenas com P-Al (Tabela 13).

Com o objetivo de verificar o efeito dos teores de fósforo "disponível" sobre a produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea (Figuras 1, 2 e 3), foram correlacionados os valores das variáveis da planta com os teores de fósforo "disponível" extraídos pelos quatro extratores, em amostras de dois solos incubados em diferentes tempos para cada fonte de fósforo sem e com calcário (Tabela 16).

Quando os extratores de fósforo do solo foram comparados entre si (Tabela 12), encontrou-se uma correlação positiva e significativa entre Mehlich e Bray-1 no SPT; e entre Mehlich e Bray-1 e Olsen e Bray-1, quando a fonte usada foi o FAPS tanto na presença como na ausência de calcário, também, quando foram correlacionados os teores de fósforo "disponível" extraídos pelos quatro extratores com as variáveis da planta de arroz (Tabela 16), verificou-se dentro do SPT as melhores correlações para os extratores de Mehlich e Bray-1 e para as variáveis pro-

Tabela 16 - Coeficientes de correlação linear 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-I		Resina	
	com calcário	sem calcário	com calcário	sem calcário	com calcário	sem calcário	com calcário	sem calcário
SUPERFOSFATO TRIPLO								
Produção de matéria seca	0,707*	0,812*	ns	-0,948*	0,735*	0,851*	-0,469*	ns
% de P na parte aérea	ns	ns	ns	-0,919*	ns	ns	ns	ns
P acumulado na parte aérea	0,504*	ns	ns	-0,954*	0,533*	0,813*	ns	ns
FOSFATO DE ARAXÁ PARCIALMENTE SOLUBILIZADO								
Produção de matéria seca	0,658*	ns	0,532*	ns	0,747*	ns	-0,709*	ns
% de P na parte aérea	-0,512*	ns	-0,673*	ns	-0,515*	ns	0,553*	ns
P acumulado na parte aérea	ns	0,923*	ns	ns	0,486*	0,967*	ns	ns

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo

Tabela 17 - Coeficiente de correlação linear 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_4Cl		P-Al		P-Fe		P-Ca	
	com calcário	sem calcário	com calcário	sem calcário	com calcário	sem calcário	com calcário	sem calcário
SUPERFOSFATO TRIPLO								
Produção de matéria seca	0,722*	ns	-0,784*	-0,866*	0,544*	0,812*	0,751*	0,943*
% de P na parte aérea	ns	ns	ns	-0,816*	ns	ns	ns	0,91 *
P acumulado na parte aérea	0,492*	ns	-0,554*	-0,838*	0,469*	0,812*	0,610*	0,962*
FOSFATO DE ARAÇA PARCIALMENTE SOLUBILIZADO								
Produção de matéria seca	0,472*	ns	-0,573*	ns	0,787*	ns	0,683*	ns
% de P na parte aérea	ns	ns	ns	ns	-0,520*	ns	ns	ns
P acumulado na parte aérea	ns	0,887*	ns	-0,843*	0,560*	0,812*	0,483*	0,900*

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo

dução de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea do arroz. Já nos tratamentos com FAPS, as melhores correlações dentro da produção de matéria seca foram obtidas na presença de calcário para Mehlich, Olsen + EDTA e Bray-1; o fósforo acumulado correlacionou positivamente com o extrator Bray-1 independentemente da calagem; houve também dentro do FAPS uma correlação entre o extrator Mehlich e o P-acumulado na ausência de calcário. Não se encontrou correlação positiva dentro do SPT na ausência de calcário, entre o extrator Olsen + EDTA e as variáveis da planta.

As correlações apresentadas na tabela 16 indicaram que o melhor parâmetro para avaliar o fósforo "disponível" do solo foi a produção de matéria seca e o fósforo acumulado na parte aérea do arroz. Não se constatou uma correlação positiva entre os teores de fósforo "disponível" e a porcentagem de fósforo na parte aérea, com exceção da Resina no tratamento com FAPS com calcário. O que está de acordo com os resultados obtidos por PACK e GOMEZ (1956).

Os dados relativos às variáveis da planta foram também relacionadas com as frações de fósforo inorgânicas e os resultados estão na Tabela 17. Observou-se para o SPT que das frações de fósforo inorgânicas do solo, as de P-Ca, P-Fe e em menor grau os de P-NH₄Cl na presença de calcário, foram os que mais correlacionaram positivamente com a produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea.

Quando se adicionou o FAPS, a produção de matéria seca correlacionou com as frações: P-NH₄Cl, P-Fe e P-Ca na presença de calcário; entretanto, que o fósforo acumulado correlacionou com as frações P-Fe e P-Ca independente da calagem e com a fração P-NH₄Cl na ausência de calcário. De um modo geral, a fração P-Al não correlacionou positivamente com as variáveis da planta independentemente da fonte de fosfatos adicionada e da presença ou ausência de calcário.

Quando da discussão dos dados da Tabela 13, encontrou-se que os teores de fósforo "disponível" extraídos principalmente pelos extratores Mehlich e Bray-1, correlacionaram de um modo geral com as frações P-NH₄Cl, P-Fe e P-Ca independentemente da fonte usada, o que explicaria a absorção preferencial pela planta, do fósforo das formas P-Fe, P-Ca e P-NH₄Cl. Ainda deve-se considerar que dentro da quantidade total de fósforo (soma de todas as frações), a maior quantidade de fósforo se encontrava sob a forma de P-Fe e P-Ca, o que justifica a absorção verificada neste trabalho.

5. CONCLUSÕES

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

- a - Quando os adubos fosfatados são aplicados em solos sob cerrado 180 dias antes do plantio do arroz, a produção de matéria seca da parte aérea aumenta com o tempo de reação do calcário no solo que recebe o SPT e a quantidade de fósforo absorvida pela planta tende a acompanhar a tendência da matéria seca. Com a adição do FAPS a produção de matéria seca tende a diminuir na medida que aumenta o tempo de reação entre calcário e adubo, a quantidade de fósforo absorvida, neste caso não acompanha a produção de matéria seca.
- b - Com o emprego de SPT em ambos os solos, os teores de fósforo "disponível", extraídos pelos extratores Mehlich, Bray-1 e Resina, não variam significativamente

com os tempos de reação do calcário e adubo; mas, no caso do extrator Olsen + EDTA, os teores de P "disponível" no LVd aumentarão com os tempos de reação do calcário e SPT. Quando se adiciona o FAPS no LVd, os teores de fósforo, extraídos pelos extratores Mehlich e Olsen + EDTA, tendem a diminuir na medida que aumentam os tempos de reação entre calcário e FAPS.

Na ausência de calcário em ambos os solos, os teores de fósforo extraídos por Bray-1 e Mehlich tendem a diminuir com o emprego de SPT e aumentar com FAPS, em comparação aos tratamentos com calcário.

- c - Os teores de fósforo "disponível" determinados pelos extratores Mehlich e Bray-1 estão correlacionados positivamente com os de $P-NH_4Cl$, $P-Fe$ e $P-Ca$ e essas relações também acompanham a produção de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea do arroz.

6. LITERATURA CITADA

ALCARDE, J.C. e E. MALAVOLTA, 1982. Solubilidades de um fosfato natural parcialmente acidulado, nos extratores químicos de avaliação do fósforo em fertilizantes. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 6:59-62.

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).

AMER, F.; D.R. BOULDIN; C.A. BLACK e F.R. DUKE, 1955.

Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P^{32} equilibration. Plant and Soil, 6(4):391-408.

- ASHBY, D.L.; W.E. 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.
- BAHIA FILHO, A.F.C. e J.M. BRAGA, 1975. Fósforo em Latossolo do Estado de Minas Gerais: II. Quantidade de fósforo e fósforo "disponível". Revista Ceres, 22(119):50-61.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; C.A. VASCONCELLOS; 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.
- 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.
- BIASI, J., 1978. Avaliação do fósforo relacionado a diversos extratores químicos em solos de Santa Catarina. ESALQ/USP, Piracicaba. 181p. (Dissertação de Mestrado).

BRAGA, J.M., 1969. Comparação de fosfatos aplicados ao feijoeiro. I. Trabalhos de casa de vegetação. Rev. Ceres, 16:88-101.

BRAGA, J.M., 1970. Resultados experimentais com o uso de fosfato de Araxá e outras fontes de fósforo. Revisão de Literatura. U.F.V., Viçosa, Série Técnica, Boletim 21. 61p.

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. DEFELIPO, 1972b. Relação entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material em solos sob vegetação de cerrado. II. Trabalhos de estufa. Rev. Ceres, 19(104):248-260.

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 región cacaotera. Bahia, Brasil. Turrialba, Costa Rica, 21:38-46.
- CABALA, R.P., 1979. Reaction de rock phosphate in some Brazilian soils and their utilization by plants. Tese de Doutorado. Reading, England, University of Reading. 313p.
- 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.
- 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.
- 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. THIEBAUT, 1980. Disponibilidade de fósforo em solos do Estado de 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. e M.P. BARBOSA FILHO, 1981. Avaliação de cultivares de arroz para maior absorção de fósforo. Pesq. Agropec. Brasil., Brasília, 16(6):777-782.
- FAGERIA, N.K., 1984. Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz. Ed. Campus, Rio de Janeiro. 341p.
- FASSBENDER, H.W. 1967, Los fosfatos naturales de Sechura, Peru. Turrialba, 17:159-164.

- 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.
- FASSBENDER, H.W., 1975. Química de suelos. Con énfasis en suelos de América Latina. Editora IICA, Turrialba. 398p.
- 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.
- FERREIRA, 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 FILHO, 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.
- 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.
- JORGE, J.A. e J. VALADARES, 1969. Formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 28(2):23-30.
- JORGE, J.A., 1983. Solo: manejo e adubação. Editora Nobel S.A., São Paulo, 315p. (2a. edição).
- KHANNA, P.K., 1967. Inorganic soil phosphate fractions as related to soil test values by common method. Plant and Soil, 26:277-284.
- KORNDORFER, G.H., 1978. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para as plantas de trigo. Teses & Monografias, nº 7, Porto Alegre,. 61p.

- LARSEN, S., 1967. Soil phosphorus. Advance in Agronomy, 19:151-209.
- LEHER, J.R. e G.H. McCLELLAN, 1972. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rock for direct application. Muscle Shoals, Alabama, National Fertilizer Development Center. 36p. (Bulletin Y-43).
- LINDSAY, W.L.; A.W. FRAZIER e H.F. STEPHENSON, 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 26:446-452.
- LOPES, A.S., 1977a. Fertilidade do Solo. Anotações de aula. Lavras, ESAL, mimeografado. 272p.
- LOPES, A.S., 1977b. Available water, phosphorus fixation and zinc levels in Brazilian soils in relation to their physical, chemical and mineralogical properties. Dep. of Soil Science, NCSU, Raleigh. 189p. (Tese de PhD).
- 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.
- 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 FILHO, 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.
- MENGEL, K. e E. A. KIRKBY, 1979. Principles of plant nutrition. International Potash Institute Berne, Switzerland. 593p.
- MIYAKE, M.; M. ISMUNADJI; I. ZULKARNAINI e S. ROECHAN, 1984. Phosphate response of rice in Indonesian paddy fields. TROPICAL AGRICULTURE RESEARCH CENTER, Technical Bulletin nº 17, Japan, 78p.
- 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.

- 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 latos solos, na presença e na ausência de calagem. R. bras. Ci. Solo, 9:13-22.
- PACK, M.R. e R.S. GOMEZ, 1956. Correlation between plant analysis and soil test in New Mexico. 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, 1978. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2:1-9.
- RAIJ, B. van e A. Van DIEST, 1980. Phosphate supplying power of rock phosphate in an oxisol. Plant and Soil, 55:97-104.
- 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 Agrônomico de Campinas. Boletim Técnico nº 81. 31p.
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análise química de plantas. ESALQ/USP. Departamento de Química. 56p.
- SFREDO, G.J.; C.M. BORKERT; D.S. CORDEIRO; J.B. PALHANO e R.C. DITTRICH, 1979. Comparação de cinco extratores de fósforo do solo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. R. bras. Ci. Solo, 3:111-115.
- SHINDE, R.N.; P.A. SARANGAMATH e S. PATNAIR, 1978. Efficiency of HCl and H₂SO₄ acidulated rock phosphates for rice (Oryza sativa L.) on acid soils. Plant and Soil, 50:575-584.
- SMYTH, F.J. e P.A. SANCHEZ, 1980. Níveis críticos de fósforo para arroz de sequeiro em um Latossolo dos cerrados. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 4:88-92.

SOIL SURVEY STAFF, 1975. Soil taxonomy. Agric. Handbook nº 436, USDA - U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

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.

VETORRI, L. 1969. Métodos de análise de solo. Equipe de Pedologia e Fertilidade de Solo (Brasil). Bol. Tec. 7. Rio de Janeiro.

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.