

EFEITO DE CINCO FOSFATOS PRÉ- , CO- E PÓS-APLICADOS AO CALCÁRIO NO SUPRIMENTO DE FÓSFORO AO SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH-CV. CONTIBRASIL), EM TRÊS SOLOS ÁCIDOS

JOÃO KAMINSKI

Orientador: FRANCISCO ASSIS FERRAZ DE MELLO

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1983

A meus pais e irmãos,

DEDICÒ.

*À minha esposa, Maria de Lourdes e meus filhos
Junior e Emerson, razões do meu esforço,*

OFEREÇO ESTE TRABALHO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Prof. Dr. Francisco Assis Ferraz de Mello pela orientação, incentivo e amizade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

À Araxá S.A. Fertilizantes e Produtos Químicos, pela cedência dos fertilizantes e financiamentos de parte da pesquisa.

Aos colegas do Departamento de Solos do CCR - UFSM, especialmente à Flávio Moreira Xavier, Hardi René Bartz e Helio Brenner, que assumindo minhas atividades didáticas oportunizaram meu afastamento da UFSM para a realização do Curso.

Ao colega, amigo e procurador Arno Bernardo Heldwein, pelo apoio e inestimável ajuda durante a execução do presente trabalho.

Aos Professores Drs. E. Malavolta, J.C. Alcarde, T. Kinjo e T. Muraoka pelo auxílio material e incentivo.

Ao Prof. Adj. Valduino Stefanel pelo auxílio na avaliação estatística dos resultados e cedência dos programas para processamento dos dados.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Solos da UFSM pelo auxílio na elaboração das análises de solo.

A todos colegas e amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do presente trabalho.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMO	
SUMMARY	
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Fosfatos Naturais	5
2.2. Fosfatos acidulados	17
2.3. Termofosfatos	30
2.4. Eficiência de extratores químicos na avaliação de fósforo disponível e natureza de fosfatos apli- cados	34
3. MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1. Solos	43
3.2. Tratamentos usados	44
3.3. Delineamento experimental	48
3.4. Condução do experimento	48
3.5. Análises de laboratório	50
3.5.1. Análises do tecido das plantas	50
3.5.2. Análise dos solos	50
3.6. Análise estatística	52

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1. Efeito dos fosfatos e épocas de sua aplicação em relação ao calcário em três solos, no suprimento de fósforo para o sorgo	53
4.2. Eficiência dos métodos de análise na avaliação do fósforo disponível e natureza dos fosfatos apli- cados	82
5. CONCLUSÕES	100
6. LITERATURA CITADA	102
7. APÊNDICE	115

EFEITO DE CINCO FOSFATOS PRÉ-, CO - E PÓS - APLICADOS
AO CALCÁRIO, NO SUPRIMENTO DE FÓSFORO AO SORGO
(*Sorghum bicolor* (L.) Moench - cv. contibrasil), EM TRÊS
SOLOS ÁCIDOS

Autor: João Kaminski

Orientador: Francisco Assis Ferráz de Mello

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido em vasos, utilizando-se três solos, Bom Jesus (Haplumbrept) argiloso, ocorrente no Rio Grande do Sul, LVE (Haplortox) argiloso, de Minas Gerais, Paredão Vermelho (Rhodochrult Orticu) arenoso, de São Paulo, para verificar o efeito na capacidade de suprimento de fósforo para o sorgo (*Sorghum bicolor* L. cv. Contibrasil), estimado pelo rendimento de matéria seca e quantidade de fósforo absorvido, do fosfato natural concentrado Araxá e dos fosfatos artificiais dele obtidos: superfosfato simples, termofosfato magnésiano Yoorin, termofosfato 0581 Arafertil e fosfato parcialmente acidulado com 50% de ácido sulfúrico. Todos pré - e pós-aplicados em 90 dias, e co-aplicados, ao calcário, na dose de $150 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg solo}^{-1}$. Estimou-se a disponibilidade de fósforo nos solos tratados pelos métodos Bray I,

Olsen, NaOH 0,1N, EDTA, Resina de Troca Aniônica e Carolina do Norte.

O fosfato concentrado Araxã mostrou-se ineficiente no suprimento de fósforo ao sorgo, mesmo pré-aplicado ao calcário em 90 dias. Os fosfatos artificiais tiveram sua eficiência máxima quando co-aplicados ao calcário e a mínima quando pré-aplicados. O superfosfato simples equivaleu-se ao termofosfato 0581 Arafertil, e foram superiores ao termofosfato magnésiano Yoorin e este, superior ao fosfato parcialmente acidulado no suprimento de fósforo ao sorgo.

Os coeficientes de correlação linear obtidos entre fósforo absorvido pelo sorgo e extraído nos três solos tratados com cinco fosfatos aplicados em três épocas foram Bray I 0,87; NaOH 0,1N 0,87; Olsen 0,86; Resina de Troca Aniônica 0,78; EDTA 0,63 e Carolina do Norte 0,58.

"EFFECT OF PHOSPHATE FORMS IN SUPPLYING PHOSPHORUS FOR SORGHUM PLANTS (*Sorghum bicolor* (L.), MOENCH - cv. CONTIBRASIL), WHEN PRIOR-, CO- AND POST-APPLIED TO LIME, IN THREE ACID SOILS".

autor: João Kaminski

adviser: Prof. Dr. Francisco Assis Ferraz de Mello

SUMMARY

This research was carried out in pots, using three different soils: Bom Jesus (Haplumbrept) clayey, from Rio Grande do Sul; LVE (Haplortox) clayey, from Minas Gerais, and Paredão Vermelho (Rhodochrult Orticu) sandy, from São Paulo. It studied the phosphorus supplying capacity, for sorghum plants (*Sorghum bicolor* L. - Var. Contibrasil), estimated by matter yield and absorbed phosphorus, of Araxa rock phosphate as well as artificial phosphates derived from it: superphosphate, Yoorin magnesium termophosphate, Arafertil 0581 thermophosphate and partially acidulated with sulfuric acid 50%. All phosphate forms were 90 days prior and post-applied to lime, and both co-applied in all soils. In the treated soils the phosphorus availability was estimated by the Bray I, Olsen, NaOH 0,1N, EDTA, Anion Exchange Resin, and North Carolina methods.

Araxa rock phosphate was inefficient as a phosphorus supplier for sorghum plants, even when applied 90 days prior to lime. The artificial phosphates had the maximum efficiency when co-applied with lime, and the minimum efficiency when applied 90 days prior to lime. The Araxa 0581 thermophosphate was equivalent to superphosphate in its efficiency which showed to be superior to Yoorin magnesium thermosphosphate. The latter was superior to partially acidulated phosphate.

The linear correlation coefficients among absorbed phosphorus by sorghum plants and the phosphorus extracted by the methods tested in the three soils and five phosphate forms applied at three different timings were: Bray I 0,87; NaOH 0,1N 0,87; Olsen 0,86; Anion Exchange Resin 0,78; EDTA 0,63 and North Caroline 0,58.

1. INTRODUÇÃO

A produtividade dos solos agrícolas brasileiros é limitada pela deficiência de nutrientes essenciais, e o fósforo é o elemento mais carente, quer pela sua deficiência natural ou por causa das características dos solos, nos quais coexistem argilas de baixa atividade e óxidos hidratados de ferro e alumínio, resultando em apreciável capacidade de retenção dos fosfatos adicionados.

Aliado a isso, a modernização da tecnologia e expansão da fronteira agrícola, exigem consideráveis incrementos anuais na oferta de fertilizantes fosfatados. Estes fertilizantes são, geralmente, bastante solúveis para sustentar efeitos imediatos na cultura adubada, mas os complexos processos físico-químicos dos solos reduzem seus efeitos residuais. Por isso, para os solos altamente intemperizados ocorrentes nas regiões tropicais, tem sido propostos fer-

tilizantes alternativos, como os fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados ou termofosfatos, que por terem limitada solubilidade e exigirem uma tecnologia intermediária, alargariam seus efeitos residuais nos solos, proporcionando colheitas mais econômicas.

No Brasil estão sendo lançados no mercado fosfatos parcialmente acidulados, com ácido sulfúrico, e termofosfatos, produtos alternativos, de menor custo financeiro, mas com poucas informações sobre seu desempenho fertilizante. Isto determina a necessidade de pesquisas que possam determinar sua eficiência agronômica, ou buscar métodos de adubação que possam aproveitar ao máximo seu potencial de fertilização.

A eficiência de um fertilizante no suprimento de fósforo para as culturas depende de suas próprias características, tais como concentração de P_2O_5 e solubilidade, das características dos solos e dos padrões de absorção de nutrientes das plantas envolvidas; o conhecimento de todos estes fatores, que afetam a magnitude dos seus efeitos imediatos e residuais, é fundamental para a determinação das quantidades de fertilizante a usar, para que possam ser atingidos os máximos rendimentos econômicos.

Devido o elevado grau de acidez dos solos muito intemperizados, faz-se mister que eles tenham sua acidez corrigida, o que reduziria a intensidade da ação físico-química dos solos sobre os fertilizantes alternativos e diminuiria sua dissolução e, conseqüentemente, a capacidade de suprimen-

to de fósforo para as plantas. Por esta razão, é fundamental o estudo de técnicas que possam adequar estas práticas sempre juízos pela supressão da calagem, esperando efeito máximo do fosfato, ou corrigindo a acidez do solo sem adição do fosfato, por causa da possível diminuição de sua eficiência.

Este trabalho foi executado com os objetivos de (1) testar o fosfato natural concentrado Araxã e os fosfatos artificiais obtidos do primeiro; superfosfato simples, termofosfato magnésiano Yoorin, Termofosfato Arafertil 0581 não magnésiano e o fosfato Araxã acidulado à 50% com ácido sulfúrico, em três solos com variado grau de acidez, pré-, co-, e pós-aplicando os fosfatos ao corretivo da acidez, no suprimento de fósforo para o sorgo, cv. Contibrasil. E (2) estimar o fósforo disponível nos solos tratados, pelos extratores de Bray I, Olsen, Carolina do Norte, Resina de Troca Aniônica, NaOH 0,1N e EDTA.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O material fosfatado de interesse agrônômico e industrial se constitui de uma reunião de minerais agrupados sob o título genérico de rocha fosfatada ou fosfato natural. Esta denominação cobre uma ampla variação em tipos de rocha de composição e textura diversas, o que faz de seus estudos de avaliação um complexo e fascinante campo de pesquisas. As diversas ocorrências de minerais fosfatados de valor comercial apresentam, pelo menos, uma característica comun, são constituídos de um ou mais minerais do grupo das apatitas. As diferenças na composição química, física e crystalográfica são as responsáveis pelas propriedades dos fosfatos naturais concentrados produzidos. A rocha fosfatada comercial é utilizado na fabricação de fertilizantes, manufaturade compostos industriais fosfatados ou, mesmo, usado para aplicação direta ao solo como fertilizante, e se refere a qualquer

rocha que contenha alta percentagem de minerais fosfatados, de forma que possa ser usada para os diferentes propósitos (CHIEN e McCLELLAN, 1977; McCLELLAN, 1978; McCLELLAN e GREMILLION, 1980).

No Brasil, ocorrem diversos depósitos de minerais fosfatados de diferentes origens, composições químicas e mineralógicas, responsáveis pelo fornecimento da matéria prima para fabricação de fertilizantes fosfatados de grande parcela das indústrias brasileiras.

2.1. Fosfatos Naturais

O uso de rocha fosfatada como fonte de fósforo para plantas cultivadas não é um conceito novo, mas a maioria dos experimentos com ela conduzidos, sob ponto de vista da fertilidade do solo, relatavam a aplicação de determinada rocha num solo em particular, anotando os rendimentos obtidos pelas culturas. Esses dados apresentavam severas limitações, pois não consideravam a variabilidade entre solos e nem entre rochas. Como consequência destas informações incompletas, os resultados apresentam grande variação entre experimentos, mesmo sob condições de solo semelhantes, impossibilitando uma conclusão sobre a eficiência dessas rochas como fonte de fósforo para solos e culturas (FENSTER e LEON, 1978).

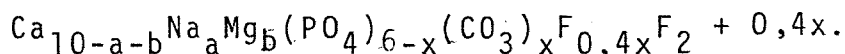
Mais recentemente LEHR e McCLELLAN (1972) em estudos de laboratório, estabeleceram critérios para caracteri

zação dos fosfatos de rocha, permitindo uma razoável previsão do seu comportamento como fonte de fósforo e facilitando a interpretação de resultados anteriormente obtidos com rochas provenientes de diferentes regiões geográficas. Porém, as vantagens de tal metodologia, que prevê a solubilidade absoluta em citrato tomada como a relação entre o P_2O_5 solúvel em citrato de amônio, segundo a OAC, e o teor teórico de P_2O_5 da apatita, estão na dependência do uso de análises refinadas de raio X e complexos programas de computador, nem sempre disponíveis na grande maioria dos laboratórios que procuram avaliar os fosfatos de rocha como fertilizantes (McCLELLAN, 1978). Para minimizar tais problemas, ALCARDE e PONCHIO (1979 e 1980), ALCARDE e JACINTHO (1980) tentam caracterizar as rochas fosfatadas brasileiras e os demais fertilizantes fosfatados, em termos de solubilidade, para posteriores avaliações ou recomendações como fontes de fósforo para culturas. CHIEN (1978b), recomenda que as condições nas quais a solubilidade do fosfato tenha sido medida devam ser fixadas, pois o tempo de contato e agitação da amostra com o extrator, concentração da solução, temperatura e tamanho da partícula afetam a sua taxa de dissolução.

McCLELLAN (1978) relata que a maioria dos depósitos de apatitas comerciais, são originários de sedimentos marinhos, complexos ígneos alcalinos, depósitos residuais produzidos pela intemperização de calcários fosfáticos sedimentares e complexos carbonatitos ígneos. As diferenças na com

posição química destes materiais são os principais responsáveis pela variação nas propriedades dos fosfatos produzidos. Assim, em sedimentos marinhos a rocha é basicamente carbonato fluorapatita; em depósitos ígneos a composição se aproxima a da fluorapatita; nos depósitos residuais as apatitas podem estar associadas a fosfatos de cálcio-ferro-alumínio.

Apesar do grande número de alterações na composição química das apatitas, o grau de substituição de PO_4^{-3} por CO_3^{-2} e F^- é o que modifica as características do fosfato, apresentando uma correlação com a solubilidade do material (CHIEN, 1977; HOWELER e WOODRUFF, 1968; McCLELLAN e GREMILION, 1980), sendo que LEHR e McCLELLAN (1972) representam suas fórmulas empíricas como sendo:



Portanto, a apatita componente do fosfato de rocha tem composição diferente daquela da fluorapatita, tomada como padrão, e sua reatividade química difere de acordo com esta composição. Tal composição está relacionada com a origem geológica; assim rochas sedimentares apresentam substituições isomórficas de fosfato por carbonato + fluoreto; mostrando um decréscimo sistemático de fosfato quando a substituição aumenta, resultando uma microestrutura cristalina, porosa, alta superfície específica e de maior solubilidade. Já as rochas de origem ígnea e metamórfica apresentam forte estrutura cristalina e muito lenta liberação de fósforo (HOWELER e WOODRUFF, 1968; LEHR e McCLELLAN, 1972; CHIEN e McCLELLAN, 1977; KHASAWNEH e DOLL, 1978; McCLELLAN

LAN e GREMILION, 1980), mesmo porque as substituições isomórficas que nelas ocorrem podem ser da hidróxila pelo fluoreto produzindo uma hidroxifluorapatita, sem alterar a velocidade de dissolução. Por isto sua estabilidade no solo é muito grande, e os relatos de FINE e BARTHOLOMEW (1947) indicam que partículas de fosfatos de rocha persistiram por 25 anos em solo Podzólico Vermelho Amarelo, enquanto que MOSCHLER *et alii* (1957) mostraram que partículas de fosfato de rocha persistiram pelo menos, por 40 anos após a adição em solo franco silteoso.

Por causa das substituições isomórficas, as análises químicas indicam, normalmente, maior conteúdo de fósforo em rochas ígneas que em sedimentares. Embora isto seja uma qualidade desejável na rocha para a manufatura de fertilizantes ou ácido fosfórico, é um fator irrelevante se o fosfato de rocha é destinado para aplicação direta ao solo (KHA-SAWNEH e DOLL, 1978), pois nesta situação, a sua reatividade no solo é a propriedade fundamental.

O emprego direto ao solo da rocha fosfatada para suprimento de fósforo às culturas, constitui uma alternativa simples e de menor custo da adubação. Os insumos necessários para promover sua utilização se constituem na mineração, enriquecimento do minério, transporte e aplicação. Porém a sua eficiência agrônômica depende da reatividade da rocha, tipos de solos e culturas. Assim, a dissolução da apatita ocasionará a concomitante dissociação do Ca^{2+} , PO_4^{3-} e F^- e, em menor

extensão, dos ions introduzidos pela substituição isomórfica, especialmente Mg^{2+} , CO_3^{2-} e OH^- . Os ions PO_4^{3-} serão rapidamente protonados para $H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-} . As forças que direcionam o sentido da reação devem estar relacionadas aos gradientes dos potenciais químicos destes ions, que, segundo relato de KHASAWNEH e DOLL (1978) consistem nos seguintes componentes:

- Gradiente de pH, onde a solubilidade aumenta com o decréscimo do pH.
- Gradiente em pCa, onde a solubilidade aumenta com o decréscimo da atividade do Ca^{2+} na solução de solo.
- Gradientes em atividade de $H_2PO_4^-$ na solução do solo, onde a solubilidade é aumentada se há retirada que reduz ($H_2PO_4^-$) e dificultada se ($H_2PO_4^-$) está alto.
- A pH abaixo de certos níveis, a solubilidade aumenta com o aumento da substituição do PO_4^{3-} pelo CO_3^{2-} no mineral da apatita.

Como se observa, os três primeiros são fatores de solo, e o quarto, um fator ligado ao fosfato. Porém, outros fatores também devem ser incluídos, como a espécie de planta usada (VAN RAIJ e VAN DIEST; 1979), isto é, característica ou padrão de absorção e utilização de cátions e ânions pelas espécies (AGUILAR e VAN DIEST, 1981), pois as quantidades de nutrientes catiônicos e aniônicos absorvidos pelas culturas nem sempre são equivalentes, produzindo efeitos fisiológicos com consequências edafológicas que podem alterar as condições de disponibilidade de fosfatos na rizosfera. Portanto, a eficiência

cia agronômica dos fosfatos naturais, medida pela resposta biológica, é uma resultante da complexidade de todos estes fatores, da variabilidade dos solos, condições de manejo, regime hídrico e climático, material genético cultivado, condições microbiológicas do solo e da rizosfera, além de considerar a natureza do minério e as formas e métodos de aplicação.

Também a mistura dos fosfatos de rocha com algum aditivo tem confundido a interpretação do comportamento destas rochas como fonte de fósforo. Assim, TERMAN *et alii* (1964) usaram enxofre, resina-H e superfosfato simples como acidulantes para fosfato de rocha, constatando melhores resultados na absorção de fósforo pelo milho do que quando usaram somente a rocha. KHASAWNEH e DOLL (1978) relatam uma série de dados, desde 1916, em que o aditivo ora foi enxofre, inoculado ou não com *Thiobacillus* spp, em que a eficiência dos fosfatos de rocha foi melhorada; ora fontes de nitrogênio de reação ácida, cujos resultados variam amplamente; ou também o composto orgânico, este com pequeno efeito. Além desses, misturas de fosfatos naturais com superfosfatos foram tentadas, mas os resultados parecem indicar que a eficiência aumenta a medida que aumentam as quantidades de fosfato proveniente dos superfosfatos (BARRETO, 1977; KAMINSKI e FERREIRA, 1978; MOKWUNYE e CHIEN, 1980; ENGELSTAD e TERMAN, 1980).

Dentre as propriedades do solo que interferem na dissolução dos fósforos naturais, o pH e a capacidade de sorção de fósforo são as mais estudadas, mesmo porque satis-

fazem os postulados de KHASAWNEH e DOLL (1978). Assim, o baixo pH do solo aumentaria a dissolução do fosfato natural, pois proporciona ions H^+ para sua acidulação, fazendo a velocidade de dissolução aumentar com o decréscimo do pH. ELLIS *et alii* (1955) relatam que são necessários valores de pH menores que 6,0 para satisfatória utilização do fosfato natural, e os melhores resultados foram obtidos a pH 5,1. Já CHU *et alii* (1962) mostraram que mais de 30% do fosfato de rocha foi dissolvido a pH 4,5 em solos de textura média. DYNIA (1977) usando solos com diferentes capacidades de retenção de fósforo e pH, sugere que a eficiência do fosfato de Gafsa é maior quando aplicado a solos com alto teor de argila e pH não superior a 6,0. Por sua vez REINHORN *et alii* (1978) destacam que o pH do solo não mostra um claro efeito sobre a disponibilidade de fosfatos com diferentes solubilidades em ácido cítrico e fórmico.

BARNES e KAMPRATH (1975) trabalhando com Ultisols da Carolina do Norte e JUO e KANG (1979) com Ultisols do Oeste da África, constataram que o efeito do pH baixo na dissolução dos fosfatos e suprimento de fósforo para as culturas, só se fez sentir nos fosfatos mais reativos, p.e. Carolina do Norte; destacando os primeiros, que o tempo de contato com o solo e o grau de moagem do fosfato maximizam seu efeito. Porém, VAN DER PAAUW (1965) assinala que, embora o pH tenha melhorado a eficiência do fosfato de Gafsa, os valores de pH que permitem a maior eficiência deste fosfato, são muito baixos para o ótimo desenvolvimento das culturas.

A capacidade de retenção de fósforo pelo solo é a responsável pela imediata retirada dos íons fosfatos da solução do solo, criando um gradiente de $H_2PO_4^-$, favorecendo a dissolução do fosfato natural, como sugere o princípio do produto de solubilidade. Tal propriedade do solo geralmente é acompanhada por baixos teores de cálcio trocável, o que determinaria uma demanda do solo por este íon, favorecendo ainda mais a dissolução do fosfato (CHU *et alii*, 1962; SMYTH e SANCHEZ, 1982).

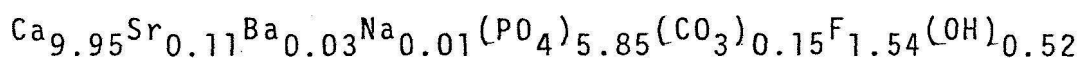
Os resultados obtidos por diversos pesquisadores não são concordantes no que se refere a alteração da eficiência de fosfatos naturais como fornecedores de fósforo às culturas pela variação da capacidade de sorção de fósforo.

Assim, McCLEAN e LOGAN (1970) mostram que em solos com alta capacidade de retenção de fósforo, o conteúdo do elemento nas plantas decresceu com o aumento da quantidade de fósforo solúvel em água no fertilizante. Porém, VAN DER PAAUW (1965) obteve resultados opostos. DYNIA (1977) concluiu que a eficiência relativa do fosfato de Gafsa aumenta linearmente com a capacidade de retenção de fósforo pelo solo. Já REINHORN *et alii* (1978) destacam que em solos com baixa capacidade de retenção de fósforo a disponibilidade depende das características do fosfato natural, enquanto que nos solos de alta capacidade de retenção, as diferenças de solubilidade das rochas não explicam as variações encontradas. Isto indica que devem ser considerados diversos fatores para estimar a disponibilidade

de fósforo de diferentes fosfatos naturais, pois parece que apenas solubilidade do fosfato, pH e capacidade de retenção de fósforo pelo solo não são suficientes. Todavia, quando se trata de dissolução do fosfato no solo, a sua capacidade de retenção de fósforo está diretamente relacionada (CHIEN *et alii*, 1980), embora o grau de dissolução ainda depende das características de solubilidade da rocha (McCLELLAN, 1978; SMYTH e SANCHEZ, 1982).

No Brasil, entre as diversas ocorrências de minerais fosfatados, é encontrada no Estado de Minas Gerais a jazida de Araxá, minerada pela ARAFERTIL, da qual são retiradas e concentradas considerável quantidade de rochas fosfáticas utilizadas para manufatura de fertilizantes fosfatados ou, mesmo, para aplicação direta.

GREMILLION e LEHR (1976) relacionam dados obtidos com uma amostra de fosfato concentrado Araxá, cujo teor de apatita é de 87% em peso e 8% de barita ($BaSO_4$) e os restantes 5% compostos de silicatos amorfos, dolomita, ilmenita e goetita. A apatita ocorrente na rocha foi caracterizada como essencialmente hidroxifluorapatita, com pequena substituição de fosfato por carbonato, sendo sua composição química proposta como:



na qual o equivalente em P_2O_5 é maior que 35%. É um mineral bem cristalizado, essencialmente hexagonal, de natureza não

porosa nas partículas da apatita, por isso de baixa solubilidade, mesmo em solução de HCl a 12%. Não a recomendam para uso direto na agricultura, embora seja adequada para o uso industrial e manufatura de fertilizantes por acidulação, quer com ácido fosfórico 54% de P_2O_5 (relação ácido/rocha de 1,57), ou com ácido sulfúrico 98% (relação ácido/rocha de 0,6). CHIEN (1978a) obteve bons resultados usando fosfato concentrado Araxá alterado termicamente.

A aplicação direta do fosfato concentrado Araxá como fonte de fósforo tem mostrado resultados modestos quando usado nos métodos convencionais (CHIEN, 1978a; KORNDORFER, 1978; SIQUEIRA *et alii*, 1977; FEITOSA *et alii*, 1978; NOVAIS *et alii*, 1980; BRAGA *et alii*, 1980), por isso têm sido feitas tentativas para melhorar a eficiência deste fosfato, usando propriedades do solo como auxiliares nos processos de dissolução do fosfato. Assim, a adição do fosfato ao solo precedendo a correção da acidez, poderia aumentar sua dissolução pelo fornecimento dos ions H^+ pelo solo, aumentando sua eficiência como fonte de fósforo às culturas. ELLIS *et alii* (1955), CHU *et alii* (1962), SARAGAMATH *et alii* (1977), SHINDE *et alii* (1978b), BARNES e KAMPRATH (1975), VAN RAIJ & VAN DIEST (1980); VAN DER PAAUW (1965) trabalhando sob diferentes condições, com fosfatos de diferentes origens geológicas, e solos de diferentes características, com diferentes espécies de plantas, salientam que a adição dos fosfatos antes da correção da acidez do solo aumenta a eficiência do material devi

do o incremento de sua dissolução no solo. Porém não há um consenso sobre o espaço de tempo que o fosfato deva preceder o corretivo, o que deve depender das propriedades do solo e reatividade dos fosfatos.

SOUZA (1977) usando fosfato concentrado de Araxá, entre outros, constatou que o tempo de incubação do fosfato com o solo, sem adição de corretivos da acidez, melhorou a eficiência dos fosfatos naturais empregados, proporcionando maior aumento de matéria seca e fósforo absorvido pela planta teste, à medida que o período de incubação aumentou de zero para 45 e noventa dias. Porém, NOVAIS *et alii* (1980), usando dez latossolos com amplas variações em textura, pH, concentração de alumínio trocável e altas capacidades de retenção de fósforo, observaram que o rendimento de matéria seca, e o teor de fósforo absorvido pelo sorgo, decresceram acentuadamente à medida que crescia o espaço de tempo de incubação dos solos com os fosfatos. Postulam os autores que os produtos formados na reação solo-fertilizante, com o decorrer do tempo, tem menor disponibilidade para as plantas que os fosfatos recém formados nessa reação. Os resultados sugerem que, embora haja uma maior dissolução do fosfato com o aumento do período de incubação, a reação do fósforo liberado forma, gradativamente, produtos de menor disponibilidade que aqueles do material original ou do recentemente formado, com o que concordam SMYTH e SANCHEZ (1982).

CANTARUTTI *et alii* (1981) trabalhando com la-

tossolo argiloso, ácido e alto alumínio trocável, constataram que, para o fosfato concentrado Araxá, a incubação por 30 dias no solo, depois da qual foi feita adição de calcário e imediato plantio, forneceram os maiores rendimentos de matéria seca e fósforo absorvido pela planta teste. Quando o fosfato e o corretivo foram co-aplicados e incubados por 30 dias antecedendo o plantio, os resultados foram imediatamente inferiores ao primeiro caso. Mas se a aplicação de ambos se deu junto com o plantio, os resultados foram inferiores, o que foi atribuído ao efeito repressivo do calcário sobre a ação da acidez do solo na solubilização do fosfato. Já o uso de somente fosfato, adicionado no plantio ou incubado por 30 dias antecedentes ao plantio, mostrou-se ineficiente no suprimento de fósforo, possivelmente porque, como também sugere VAN DER PAAUW (1965), os efeitos tenham sido comprometidos por causa dos prejuízos da acidez do solo sobre as plantas.

CHIEN (1978b) sugere que a aplicação de fertilizantes não fosfatados solúveis, pode aumentar a dissolução de rochas fosfatadas na solução do solo pelo aumento da força iônica da solução, sem alterar a capacidade de sorção de fósforo pelo solo, como sugere o conceito de produto de solubilidade.

Como se observa, não são as características dos solos e fosfatos de rocha interferem na previsão de sua eficiência como fonte de fósforo, mas as próprias práticas de melhoramento da fertilidade do solo podem ser fator preponderante

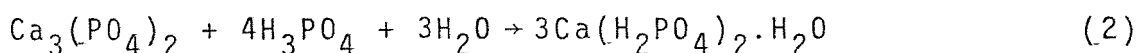
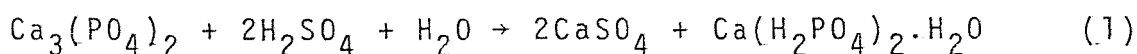
te para tal. Por isso, a industrialização do fosfato de rocha, por ataque com ácido, ou por via térmica, objetiva uniformizar as fontes de fósforo, aumentar a solubilidade do fosfato e neutralizar a imprevisibilidade da eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados naturais.

2.2. Fosfatos acidulados

Os fosfatos acidulados comumente comercializados são conhecidos como superfosfatos. Sua elaboração iniciou no século XIX com o tratamento de farinha de ossos com ácido sulfúrico. Em torno de 1830 passou-se a utilizar o fosfato de rocha como matéria prima. O uso de ácido fosfórico como acidulante é bem mais recente e se desenvolveu a partir da obtenção deste ácido por via úmida, mas somente em torno de 1950 o fosfato triplo popularizou-se pela crescente oferta no mercado. Embora a metodologia tenha sido desenvolvida na Alemanha, a primeira indústria de superfosfato simples, a que usa ácido sulfúrico como acidulante, foi instalada na Inglaterra em 1842 e em 1853 haviam 14 fábricas no Reino Unido. Mas foi nos Estados Unidos que a indústria de fosfatos acidulados ganhou grande impulso, concentrando-se no TVA o desenvolvimento da tecnologia para tal finalidade (YOUNG e DAVIS, 1980).

Atualmente, o fosfato concentrado de rocha é o ponto de partida para a fabricação do fertilizante fosfatado.

A reação de acidulação busca a conversão do fosfato tricálcico insolúvel em fosfato monocálcico, que é prontamente solubilizado, podendo ser assim representada:



originando na reação (1) o superfosfato simples, com um equivalente em P_2O_5 de 15-21%, em torno de 20% de Ca e 10% de enxofre, além das impurezas próprias que acompanham a matéria prima, fosfato de rocha. Pela reação (2) é obtido o superfosfato triplo com um equivalente em P_2O_5 de 42-46% e, aproximadamente, 14% de Ca, mais as impurezas, como no primeiro caso (YOUNG e DAVIS, 1980 e WAGGAMAN e SAUCHELLI, 1969).

Devido a sua solubilidade, os superfosfatos minimizam os fatores planta e produto na disponibilidade de fósforo para as culturas. Por isso, na grande maioria dos experimentos de fonte de fósforo, sob as mais variadas condições, os superfosfatos apresentam os melhores resultados (KAMINSKI & FERREIRA, 1978; KORNDORFER, 1978; CHIEN, 1978a; MINHAS & KICK, 1974; DOLL *et alii*, 1960; NELLER & BARTLETT, 1957; FEITOSA *et alii*, 1978; ZAGO & KAMINSKI, 1979).

VAN RAIJ e VAN DIEST (1980) apresentam esquematicamente as reações do fertilizante fosfatado no solo como sendo:

P-fertilizante → P-solução do solo → P-lábil → P-não lábil,

lembrando que após o primeiro passo, passagem do fósforo do fertilizante para a solução do solo, todos os compostos fosfatados se comportam similarmente. Então, o primeiro passo parece ser o ponto crítico da eficiência do fertilizante como supridor do fósforo, pois quando ele é rápido, como ocorre com a maioria dos fosfatos acidulados, os demais passos também são rápidos, aumentando as taxas de fosfato não lábil. Por esta razão, os fatores ligados a solo parecem controlar a eficiência agronômica destes fertilizantes.

A reação do fosfato monocálcico no solo foi estudada por LINDSAY e STEPHENSON (1959) que pode ser resumida pelo que segue; quando o fosfato monocálcico (MCP) é adicionado ao solo, dissolve-se prontamente; sua dissolução é limitada somente pela velocidade com que a água pode alcançar o grânulo do fertilizante, e dá-se, provavelmente, em menos de 48 horas. Como a dissolução é acompanhada pela hidrólise parcial do MCP, há precipitação de fosfato dicálcico dihidratado (PDCD) no sítio do grânulo e forma-se uma solução saturada metaestável tripla (MTPS) de ácido fosfórico e fosfato mono e dicálcico. Mas o processo de dissolução prossegue, pois entra mais água no grânulo por difusão de vapor, e a MTPS move-se para fora do grânulo como uma solução devido o potencial matricial do solo que o rodeia. A MTPS é uma solução concentrada (3,98M de P e 1,44M de Ca) e tem um pH de 1,48, podendo atingir 1,01 como admite LE MARE (1975). Esta alta acidez do MTPS introduz na solução quantidades de Al, Fe, Ca, Mn e outros elementos constituin-

tes do solo, sendo ele exaurido de seus componentes prontamente atacáveis a medida que a MTFS o percorre, provocando aumento no seu pH pela incorporação destes elementos na solução e resulta na precipitação do fosfato recentemente formado na frente de avanço da solução. O PDCD é um dos produtos da precipitação inicial mais importantes do MCP e está precipitado não somente no sítio do grânulo, mas em toda zona de reação. Segundo LE MARE (1975) é nessa forma que pode ser encontrado mais de 1/3, do fosfato adicionado como MCP, tornando-se possivelmente, a principal forma de fósforo lábil, e por isso, a principal fonte de fósforo para as culturas, embora os fosfatos de alumínio, ferro e outros recentemente precipitados são potencialmente disponíveis. Porém, com o decorrer do tempo, e dependendo das características do solo, os fosfatos precipitados tornam-se mais estáveis e menos disponíveis (SHELTON e COLEMAN, 1968). A reação se completa quando fosfatos mais estáveis passam a governar a concentração do fósforo na solução do solo. Pelo exposto pode-se deduzir que o próprio processo de dissolução do fosfato monocálcico acelera a formação de compostos menos solúveis e, conseqüentemente, a fixação pelo solo. Assim, qualquer propriedade do solo que afete uma das reações do fertilizante no solo, afetará a disponibilidade de fósforo para as plantas (VOLKWEISS e VAN RAIJ, 1977; SAMPLE *et alii*, 1980). MILAN (1981), trabalhando com 13 solos do Rio Grande do Sul, com ampla variação de propriedades, relata que seria interessante relacionar algumas características dos solos com as doses de fósforo necessárias para obtenção de rendimentos econômicos. Mas, capacidade de retenção de fósforo, teor

de argila, Ca^{2+} trocável, quantidades de óxidos de ferro e alumínio extraídos com oxalato, se mostraram pouco eficientes para prever o efeito do superfosfato triplo nesses solos.

Como se observa, a velocidade de reação das rochas fosfatadas é usualmente baixa quando comparada à imediata disponibilidade e rápida reação dos fosfatos acidulados com os constituintes do solo. Desde que o fósforo disponível para as plantas provém das formas de fósforo metaestáveis, entre as quais o fosfato dicálcico, logo, quanto por mais tempo estas formas metaestáveis permanecerem no solo, melhor a suplementação de P para as culturas. Então, considerando as transformações do fósforo no solo, sem abandonar os aspectos químicos, tecnológicos e de manufatura dos fertilizantes acidulados, a acidulação parcial do fosfato de rocha proporcionaria vantagens em termos de eficiência do fertilizante e custo de industrialização (GARBOUCHEV, 1981). Assim, a acidulação parcial resultaria num produto com fosfato solúvel em água-fosfato monocálcico —, solúvel em ácido cítrico — fosfato bicálcico —, e insolúveis — fosfato policálcico —, cujas composições variariam com o grau de acidulação e tipo de ácido utilizado, (DASH *et alii*, 1981, HAMMOND *et alii*, 1980), formando um composto não muito solúvel para produzir outras formas estáveis com o solo, nem tão pouco solúvel quanto os fosfatos de rocha (PANDA e MISRA, 1970). Então, o fosfato monocálcico satisfaria a demanda inicial da planta, bem como os processos de solubilização e hidrólise forneceria ácido suficiente para solubi-

lizar a rocha fosfatada não atacado durante a industrialização, promovendo uma sustentação na solubilidade de fósforo, com uma menor ativação de Fe e Al, resultando em menor fixação que a do fosfato completamente acidulado (ASHBY *et alii*, 1966; FENSTER e LEON, 1978; McLEAN e WHEELER, 1964; MOKWUNYE e CHIEN, 1980).

Também este tipo de fertilizante não é novo, pois como relatam ASHBY *et alii* (1966), em 1903 foi registrada patente nos Estados Unidos, para um processo no qual o fosfato de rocha era tratado com 1/3 do ácido sulfúrico necessário para obtenção de superfosfato. Mais ou menos na mesma época, e por aproximadamente 30 anos, foi comercializado na Finlândia um produto 50% adiculado, "fosfato Kotka", cuja eficiência fertilizante era considerada igual à do superfosfato.

Um número considerável de pesquisas tem testado alguns fosfatos naturais parcialmente acidulados por diversos ácidos, como fonte de fósforo para as culturas, mas seus resultados são, no mínimo, conflitantes. Mas a maioria das diferenças podem ser atribuída à forma de utilização do fosfato parcialmente acidulado - grânulo ou pó -, ao tipo de ácido utilizado - fosfórico, sulfúrico, clorídrico ou nítrico -, além das diferenças de respostas devido o solo usado para testar o fertilizante e, também, ao critério utilizado na escolha das quantidades de fósforo aplicado (FENSTER & LEON, 1978; KHASAWNEH & DOLL, 1978; ENGEISTAD & TERMAN, 1980). O próprio método de adição do ácido ao fosfato de rocha, na obtenção do produ-

to, e a subsequente cura, podem determinar a natureza química do material, pois uma acidulação a 100% produz fosfato monocálcico, enquanto que menores graus de acidulação podem resultar em fases de fosfato mono e dicálcico bem distribuídas, ou em bolsões, dependendo do método de mistura e seu manuseio (HAMMOND *et alii*, 1980).

A fase de fosfato dicálcico é tão efetiva quanto a do fosfato monocálcico quando na forma de pó, mas sua eficiência diminui com a granulação (KHASAWNEH & DOLL, 1978), porém, de modo geral, é admitido que a acidulação parcial não parece aumentar a efetividade da porção não atacada a rocha fosfatada, embora dados de FERREIRA & KAMINSKI (1979) sugiram o contrário. Também MOKWUNYE & CHIEN (1980) mostraram que não só a porção solúvel em água do fosfato parcialmente acidulado é responsável pelo fósforo disponível no solo deste tipo de fertilizante, salientando, no entanto, que em misturas de fosfato solúvel com fosfato de rocha, a disponibilidade deste não é melhorada como no caso anterior.

A acidulação parcial da rocha fosfatada com ácido fosfórico permite admitir maior eficiência na produção de formas de fósforo solúveis em água - fosfatos monocálcicos - do que usando outros tipos de ácidos, pois além do fósforo solubilizado da rocha, também o próprio ácido fosfórico é fonte importante para produção destes fosfatos solúveis (HAMMOND *et alii*, 1980). Assim, é justo admitir que a acidulação com este ácido produza melhores resultados que nos mesmos níveis de acidula-

ção com outros ácidos, como mostram, especialmente, os dados de FRANCO (1977) e de PANDA & MISRA (1970).

TERMAN & ALLEN (1967) e, mais recentemente, HAMMOND *et alii* (1980), relatam que a solubilidade em água dos fosfatos parece ser o fator que afeta diretamente a absorção de fósforo pelas plantas e, conseqüentemente, o rendimento em matéria seca. Embora isso, salientam os autores que a eficiência dos fosfatos parcialmente acidulados é bem maior que a das rochas fosfatadas de baixa e média reatividade, o que é unanimemente aceito. Porém, McLEAN & WHEELER (1964) e McLEAN (1965) encontraram respostas ao fosfato parcialmente acidulado com ácido fosfórico, a 20% da necessidade para superfosfato triplo, equivalente a este último em termos de rendimento de matéria seca e absorção de fósforo. Mas os resultados mais notáveis foram obtidos por McLEAN & LOGAN (1970), quando em 88 experimentos, em solos com variável capacidade de sorção de fósforo e pH entre 5,5 e 6,5, usando seis culturas em casa de vegetação, o fosfato acidulado a 20% equivalou-se ao superfosfato triplo em 55 casos, sendo superior em 16 casos e inferior em somente 17 casos, destacando que a capacidade de retenção de fósforo dos solos tem grande importância no desempenho do fosfato parcialmente acidulado como fonte de fósforo. Esta variável pode explicar muitas discrepâncias encontradas na literatura, especialmente quando a reatividade dos fosfatos de rocha e os níveis de acidulação são semelhantes para um mesmo ácido.

LUTZ (1971) utilizando fosfato parcialmente aci

dulado a 20% e superfosfato triplo, a partir da rocha fosfata da Flórida, o qual pode ser classificado na categoria de fosfatos de reatividade média (McCLELLAN & GREMILLION, 1980), em experimentos de campo por três anos, observou que ambas as fontes foram adequadas nas doses mais elevadas e o superfosfato triplo foi mais eficiente nas doses mais baixas. Nestas, possivelmente, o fosfato parcialmente acidulado forneceu quantidade inadequada de fósforo durante o desenvolvimento da planta, como preconizam McLEAN & WHEELER (1964), McLEAN & LOGAN (1970), FERREIRA & KAMINSKI (1979) e FENSTER & LEON (1978).

FERREIRA & KAMINSKI (1979) trabalhando em casa de vegetação com dois solos de textura média, com pequenas diferenças na capacidade de retenção de fósforo, usando fosfato de Patos parcialmente acidulado, em diferentes níveis de ácido fosfórico, obtiveram resultados em que, para níveis de acidulação a partir de 50%, os rendimentos de matéria seca e fósforo absorvido não diferiram estatisticamente daqueles obtidos com 100% de acidulação. GARBOUCHEV (1981) considera que um fosfato parcialmente acidulado é eficiente, para ser produzido pelo processo de Door-Oliver, consome de 30 a 32% de ácido fosfórico normalmente usado na manufatura do superfosfato triplo, com características físicas iguais a este e custo menor de 30 a 35%, possibilitando uma produção de 55 a 65% maior que da capacidade instalada para superfosfato triplo.

O ácido sulfúrico foi o primeiro ácido utilizada

do como forma de aumentar a solubilidade dos fosfatos básicos. É, hoje, um processo alternativo de acidulação de rocha fosfatada para produção de fertilizantes fosfatados, desde que sua principal utilização é para obtenção do ácido fosfórico, de cujo processo o sulfato de cálcio é um rejeito de pequena aplicação na agricultura ou indústria. Então, a acidulação com ácido sulfúrico para obtenção de fertilizante, deixa de produzir o sulfato de cálcio e diminui o consumo de enxofre, do qual o Brasil é dependente de importação. A acidulação parcial com este ácido tornaria possível uma maior economia do ácido, reduzindo a dependência externa para obtenção dessa matéria prima do fabrico de fertilizantes.

Como já foi dito, a eficiência do ácido sulfúrico é menor que a do ácido fosfórico na obtenção de fosfato solúvel num mesmo nível de acidulação (PANDA & MISRA, 1970), por isso a maioria dos resultados de pesquisa mostram a vantagem dos produtos acidulados com ácido fosfórico sobre os com ácido sulfúrico (FRANCO, 1977; TERMAN & ALLEN, 1967; HAMMOND *et alii*, 1980), porém em todas situações, a acidulação parcial forneceu um fertilizante fosfatado mais efetivo, como fonte de fósforo para as culturas, do que a rocha fosfatada do qual se originou.

Um dos interessantes aspectos, destacados por HAMMOND *et alii* (1980), é de que o processo de secagem do material parcialmente acidulado, e a conseqüente cura, deve se

dar à temperatura ambiental, pois quando são usadas temperaturas mais elevadas, pode provocar um consumo alto de ácido para produção de sulfato de cálcio, que envolve as partículas de fosfato de rocha, dificultando a complementação da reação, produzindo, possivelmente, bolsões de fosfato dicálcico envolvidos por sulfatos e muito pouco fosfato monocálcico. Também, nesta situação, os grânulos são maiores e dificilmente se desfazem quando umedecidos, resultando um produto de muito baixa qualidade e cujo valor fertilizante é semelhante ao da rocha fosfatada não acidulado. Além disso, os autores relatam que o aumento na percentagem de acidulação com ácido sulfúrico aumenta o rendimento relativo de matéria seca, e que 40% de acidulação com ácido sulfúrico equivale a 10% com ácido fosfórico, embora em ambos os rendimentos relativos atingiram mais de 65% do alcançado pelo superfosfato triplo, tomado como padrão.

O ácido nítrico também tem sido usado como uma alternativa de acidulação das rochas fosfatadas pois o material produzido, além de portador de fosfato solúvel, é também fonte de nitrogênio. Porém, o nitrato de cálcio, formado durante a reação, torna-o de difícil manuseio e armazenamento. Na acidulação parcial, possivelmente, a quantidade de nitrato de cálcio formado fosse menor e insuficiente para transmitir suas desvantagens a todo produto, mas existe muito pouca informação se tal objetivo é alcançado. Caso este produto reunisse vantagens de fosfatos solúveis mais as do nitrato, tor-

naria-o uma grande alternativa de produção sem a dependência externa de importação de enxofre e/ou ácido sulfúrico. PANDA e MISRA (1970) mostram que a acidulação da rocha fosfatada com ácido nítrico resulta na formação de mais fosfato solúvel em ácido cítrico do que de solúvel em água, devido a conversão do fosfato dicálcico em presença de nitrato de cálcio. A sua eficiência como fonte de fósforo é inferior a do produto similar de ácido fosfórico, e, como este, mostra melhores respostas quando usado em solos ácidos sem calagem. Porém, é muito mais eficiente que o fosfato de rocha do qual provém, mesmo quando usado em solos com acidez corrigida.

O ácido clorídrico também foi tentado como alternativa para acidulação de rochas fosfatadas, mas como o anterior, também apresenta dificuldades de manuseio e armazenamento devido a presença de um produto da reação muito higroscópico, o cloreto de cálcio.

FRANCO (1977) e SHINDE *et alii* (1978a) usando ácido clorídrico para solubilizar fosfatos, encontraram resultados semelhantes aos do ácido nítrico. Assim, foi observado que este tipo de acidulação produz mais fosfato solúvel em ácido cítrico que em água, porém isto não é aplicado a todos fosfatos de rocha usados como matéria prima, pois, possivelmente isto esteja relacionado com a composição química e mineralógica da rocha. Porém, observou-se que com o aumento do grau de acidulação cresce a disponibilidade de fósforo para as plantas. SHINDE *et alii* (1978a) mostram que embora isto ocorra,

o nível de acidulação de 50% é similar ao de 100%, quer no rendimento da matéria seca de arroz ou na absorção de fósforo pelas plantas, mesmo que a quantidade de fósforo solúvel em água seja aumentada com o acréscimo do grau de acidulação. Tais resultados permitem inferir que não somente o fósforo solúvel em água é boa fonte de fósforo, mas também o são os fosfatos solúveis em ácido cítrico, possivelmente fosfato dicálcio, para plantas cultivadas, desde que as condições de solo e espécies de planta assim o permitam.

Como se observa, os relatos publicados sobre o uso de fosfatos parcialmente acidulados não são concordantes. A maioria das contradições pode ser atribuída às variáveis envolvidas nos estudos, como a diferença dos ácidos usados na acidulação; o manuseio e cura da mistura recém preparada; forma de sua incorporação ao solo - granulada ou pó; a quantidade de fósforo aplicado; o tipo de fosfato tomado como referência para quantificar o tratamento - solúvel em água, ácido cítrico ou total; a espécie de planta usada; os tratamentos complementares que recebeu o solo objeto do estudo e outras. Porém, alguns fatos são evidentes, qualquer que seja o tipo de ácido usado - fosfórico, sulfúrico, nítrico ou clorídrico - melhora a eficiência do produto em relação ao fosfato que lhe deu origem, independente de problemas de armazenagem e manuseio. Os níveis de acidulação em torno de 50% do total parecem mostrar resultados animadores, especialmente em solos com maior capacidade de retenção de fósforo. Parecem existir espécies de

plantas que melhor se adaptam a este tipo de fosfato, o que deve ser verificado com acuracidade. Enfim, para melhor segurança na sua utilização é necessário maiores estudos envolvendo todas as variáveis que possam influir na eficiência agrônômica destes produtos, pois necessita-se de alternativas brasileiras buscando a independência do mercado internacional de insumos para a fabricação de fertilizantes fosfatados, uma vez que os fosfatos de rocha brasileiros parecem não ser a melhor alternativa para aplicação direta como fonte de fósforo na agricultura.

2.3. Termofosfatos

Existem muitos processos que preconizam o aquecimento de misturas de fosfato de rocha com outros reagentes, para obtenção de fertilizantes com fósforo disponível para as culturas. BIXBY (1980) situa-os em três categorias gerais: (1) aqueles baseados nas reações químicas entre o fosfato e um sal alcalino ou silicato de magnésio; (2) aqueles baseados na remoção do fluoreto por volatilização; e (3) processo em forno elétrico baseado na acidulação em altas temperaturas com silício, em presença de carbono como agente de redução. As duas primeiras produziriam fosfatos solúveis em ácido cítrico e o forno elétrico seria usado para obtenção de fósforo elementar, que por seu turno, seria convertido em ácido fosfórico.

co. Jã HAORE (1980) salienta que estes processos seriam mais adequados se utilizadas rochas fosfatadas marginais, crandalitas, milisitas e barranditas, fosfatos com alto teor de Fe e Al. A calcinação destruiria a estrutura cristalina, resultando um produto amorfo, com alta superfície específica e maior solubilidade.

YOUNG e DAVIS (1980) destacam que, os processos térmicos mais usados são o Rhenânia, que produz um fosfato de cálcio e sódio pela fusão a 1250°C de rocha fosfatada mais sílica mais carbonato de sódio, bastante usado na Europa e África; e o fosfato de cálcio e magnésio fundido, produzidos comumente no Japão e Tailândia, por uma operação tipo fornalha elétrica. Usa-se uma fonte de magnésio, normalmente olivina ou serpentina, e fosfato de rocha. A massa vítrea é pulverizada e usada na agricultura. Também as escórias básicas com destaque para Escória de Thomas, subprodutos da indústria do aço, são usadas como fertilizantes fosfatados.

GROSS BRAUN (1980) salienta que devido as características de nossos solos, especialmente daqueles para os quais se dirige a expansão da agricultura, permitem definir o tipo de fertilizante que melhor responda economicamente à sua aplicação, e neste contexto, os termofosfatos teriam papel de destaque. FENSTER e LEON (1978) mostram os termofosfatos, especialmente os fosfatos magnesianos fundidos, como alternativas de grande potencial para solos da América Latina. Relatam resultados em que estes fosfatos mostraram-se até superiores

quando comparados aos superfosfatos, inclusive na absorção de cálcio e magnésio. Também GOEDERT e LOBATO (1979) em relatório sobre o comportamento de fertilizantes fosfatados em solos de "cerrado" por três cultivos sucessivos de trigo, soja, e arroz, destacam o desempenho do termofosfato magnésiano já no primeiro cultivo, comparável, e até superior para soja, ao do superfosfato triplo. FEITOSA e VAN RAIJ (1976) e FEITOSA e BITTENCOURT (1981) trabalhando com solos do Estado de São Paulo, em casa de vegetação, usando, trigo e milho como plantas teste, verificaram que o termofosfato foi tão eficiente quanto as melhores fontes para o suprimento de fósforo e rendimento de matéria seca das plantas cultivadas. Já FERREIRA e KAMINSKI (1979) mostraram que calcinação do fosfato de Patos-Minas até 900°C apresentou eficiência igual ou inferior ao produto não tratado, mas tais resultados podem ter ocorrido por causa da possível formação de aglomerados, perda em porosidade e crescimento dos cristais de apatita induzidos pelo calor, decrescendo a sua área superficial. Isto ocorreria principalmente em rochas de baixa reatividade, como relatam McCLELLAN e GREMILLION (1980).

KORNDORFER (1978) trabalhando com dois solos do Rio Grande do Sul, de diferentes características, numa sucessão de quatro cultivos, observou que a eficiência do termofosfato magnésiano - Yoorin - foi semelhante ao superfosfato triplo, porém o fosfato de Pirocana, marginal e calcinado somente, apresentou eficiência intermediária.

CHIEN (1978a) estudando o comportamento de termofosfato obtido pelo processo Rhenânia, a partir do fosfato concentrado Araxá, salienta que seu comportamento comparável aos superfosfatos como fonte de fósforo às culturas, pode ser atribuído às diferentes reações destes dois fosfatos com o solo, pois o termofosfato reage menos intensamente com os componentes do solo por manter o pH mais alto no sítio de reação e por causa da presença do ion silicato que "protege" o ion fosfato da fixação. Como SARANGAMATH *et alii* (1977) postulam eficiência semelhante, como fonte de fósforo, do fosfato monocálcico e do fosfato dicálcio, que seria a forma dominante dos termofosfatos, é possível que o efeito maior esteja na menor vulnerabilidade deste à fixação pelo Fe e Al do solo, com o que concordam SAMPLE *et alii* (1980).

FENSTER e LEON (1978) destacam que é difícil saber se os termofosfatos terão vantagens econômicas sobre os fosfatos acidulados, por causa do alto consumo de energia, durante a fusão. Mas pode se tornar economicamente competitivo, se a energia requerida for proveniente de hidroelétricas ou carvão, e se houverem reservas de serpentina e olivina disponíveis e adequadamente localizadas. Porém, deve ser salientado, que existem poucas informações de pesquisa para se definir sobre sua utilização massal, faltando ainda informações sobre o porquê das plantas responderem melhor a termofosfatos, sobre quantidades, métodos e formas de aplicação e sobre espécies e variedades de plantas cujos padrões de absorção melhor se adaptem a este tipo de fertilizante fosfatado.

2.4. Eficiência de extratores químicos na avaliação de fósforo disponível e natureza de fosfatos aplicados

Os eventos químicos e físico-químicos que ocorrem com o fósforo adicionado ao solo foram resumidos por VAN RAIJ e VAN DIEST (1980) como no esquema:

P-fertilizante → P-solução ⇄ P-lábil → P-não-lábil

Como as concentrações de fósforo na solução do solo permanecem baixas, os fertilizantes que se dissolvem rapidamente nos solos, transferem o fosfato à fração lábil, e esta, com o tempo, transforma-se, exponencialmente, na fração não lábil. Estas frações, especialmente, a primeira, controlam a liberação do fósforo para a solução. Se o fosfato é pouco solúvel, sua dissolução pode também colaborar na manutenção do fósforo em solução, talvez até em maior grau do que a passagem do fósforo lábil para a fração não lábil. Para se calcular a dosagem de fertilizante que deva ser empregada, é necessário que se conheça a cinética dos eventos que com ele venham a ocorrer, de forma que o incremento da fração disponível para a planta represente uma quantidade entre aquela que será utilizada pela cultura e a quantidade disponível do solo. Porém, como sugerem PALMA e FASSBENDER (1970) e VAN RAIJ (1978), o suprimento do fósforo para a planta depende de quatro fatores primários: quantidade de fósforo no solo, intensidade ou fósforo na solução do solo, velocidade das interações do fósforo

do solo e da solução, e da difusidade do elemento no solo. Tais parâmetros podem ser estimados, mas a metodologia é difícil para uso rotineiro em análise de terras. Por isso, a maioria dos métodos baseia-se em determinações que refletem o fator quantidade ou intensidade do fósforo no solo.

Assim, os métodos hoje existentes, extraem quantidades variáveis de fósforo raramente equivalentes, no entanto correlacionadas, com o fósforo lábil, o que caracterizaria o fator quantidade. Mas este é constituído de um sem número de compostos fosfatados, intrínsecos do próprio solo ou formados pela adição do ion fosfato pela adubação, ou ainda, por compostos utilizados como fertilizantes que não completaram suas reações de dissolução no solo. Entretanto, as características dos solos é que vão determinar os compostos fosfatados que constituirão seu fator quantidade. Basicamente são compostos, ligados a ferro, alumínio e cálcio, Fe-P, Al-P e Ca-P, cujas quantidades e combinações dependem do material de origem e do grau de intemperismo do solo. A adição de fertilizantes fosfatados praticamente não muda as proporções dos compostos presentes, por isso a utilização de métodos de fracionamento do fósforo do solo pode prever satisfatoriamente o destino do fertilizante adicionado (THOMAS e PEASLEE, 1973).

BRAGA (1980) e THOMAS e PEASLEE (1973) interpretando um consenso de muitos pesquisadores, relacionam as principais formas de fósforo removidas pelos ions comumente usados como extratores nos métodos de análise do fósforo de

solos. Assim, extratores ácidos, aumentariam a solubilidade do Ca-P, inclusive apatitas, embora em menor extensão pudesse remover o Al-P e, em menor grau, o Fe-P. Então, em solos que contivessem as três formas, a ordem de remoção obedeceria $\text{Ca-P} > \text{Al-P} > \text{Fe-P}$; onde não houvesse Ca-P, a ordem seria $\text{Al-P} > \text{Fe-P}$. Já os extratores básicos, como os hidróxidos, parecem ter pequeno efeito sobre o Ca-P, mas dissolveriam o Fe-P e o Al-P, nesta ordem. Contudo os ions bicarbonato teriam a propriedade de baixar a atividade do ion Ca pela precipitação como CaCO_3 , solubilizando o Ca-P mas, ainda, removeriam o Al do fosfato, provavelmente pela precipitação do cation como hidróxido de Al, porém não teriam ação sobre o Ca-P básico, apatitas. Os ions fluoreto teriam ação sobre o Ca-P mais solúvel, CaHPO_4 , e sobre o Al-P, pois complexariam os cations. A ação dos ions fluoreto e bicarbonato seria semelhante, mas aqueles reagiriam mais vigorosamente, removendo frações não disponíveis para o HCO_3^- . Os ions acetato e sulfato, sem acompanhamento de H^+ , teriam pequena habilidade em remover os fosfatos pela formação de complexos fracos com metais polivalentes, mas teriam utilidade na prevenção de readsorção do fosfato por outros ions durante a extração.

Também resinas trocadoras de anions e diluição isotópica com fósforo marcado, tem sido usados para estimar o fósforo lábil com bons resultados, especialmente o primeiro que, devido sua versatilidade, adapta-se a diferentes condições de solo. Contudo, as comparações devem ser feitas cuida-

dosamente, pois a escolha dos métodos pode ser influenciada por preferências locais ou por possibilidades antecipadas de maior sucesso de determinado método (VAN RAIJ, 1978), principalmente se o extrator for adequado à forma de fósforo predominante naqueles solos e a escolha for feita baseada na capacidade de recuperação do fósforo adicionado pelo método em questão. Por isso, para que um método de laboratório possa estimar satisfatoriamente a quantidade de fósforo disponível para as culturas, deve correlacionar adequadamente com a resposta da planta à aplicação do fosfato (BALERDI *et alii*, 1968; PALMA e FASBENDER, 1970; THOMAS e PEASLEE, 1973; VAN RAIJ, 1978).

SHELTON e COLEMAN (1968) relatam que o efeito residual do fósforo no solo depende da natureza dos compostos formados, quando os componentes dos fertilizantes fosfatados reagem com o solo. A disponibilidade seria afetada pela velocidade com que o fósforo reagiria com alumínio e ferro e as subsequentes mudanças nas formas responsáveis pelo maior ou menor efeito residual. Estas formas constituem o fator quantidade e são, justamente, as estimadas pelos métodos de análises de fósforo do solo. Assim, quando são adicionados fosfatos de baixa solubilidade, como os fosfatos naturais, cujas partículas podem permanecer sem reagir completamente nos solos por largos períodos de tempo (FINE e BARTHOLOMEW, 1947 e MOSCHLER *et alii*, 1957), a utilização de extrator ácido pode extrair quantidades de fósforo superiores às disponíveis, não correlacionando adequadamente com os rendimentos das cultu-

ras, ou com a quantidade absorvida do elemento, como mostram dados de DOLL *et alii* (1960), usando o método Carolina do Norte; SALOMON e SMITH (1956) usando Bray II; BARNES e KAMPRATH (1975), Carolina do Norte; VAN RAIJ e VAN DIEST (1980), Carolina do Norte; FEITOSA e BITTENCOURT (1981) usando o método IAC, H_2SO_4 0,05N; FEITOSA e VAN RAIJ (1976) usando IAC e Bray II; KORNDORFER (1978) com o Carolina do Norte e outros. Porém, quando as fontes de fósforo são mais solúveis e completam a reação de dissolução nos solos, os extratores ácidos agem satisfatoriamente, como observaram CAJUSTE e KUSSOW (1974) e ANGHINONI (1972) com solos do Rio Grande do Sul e BALERDI *et alii* (1968) com 104 solos da América Central.

Os métodos que usam fluoretos como extrator, Bray I (HCl 0,025 N + NH_4F 0,03 N), parecem ter boa adaptação para estimar o fósforo disponível de fosfatos de rocha, pois SALOMON e SMITH (1956) e SMITH *et alii* (1957) mostram que este método distingue solos entre os que receberam fosfatos naturais e os que receberam fosfatos solúveis e que, a fração daqueles não dissolvida nos solos permaneceu intacta pelo extrator. Porém, parece existir uma certa controvérsia entre o tempo de contato do fosfato com o solo e a quantidade extraída de P pelo método, pois BARNES e KAMPRATH (1975) e CHIEN (1978c) obtiveram resultados em que os teores extraídos aumentam com o tempo de contato da rocha no solo, enquanto que REINHORN e HAGIN (1978) observaram o contrário. Tais discrepâncias possivelmente tenham ocorrido devido o tipo de solo usado e os compostos

fosfatados constituintes do fósforo lábil dos diferentes solos. BALERDI *et alii* (1968) obteve alta correlação entre o fósforo absorvido pela planta e o extraído pelo método, em solos da América Central, dos quais, em 73% predominava Ca-P e 27% Fe e Al-P. Quando variaram as fontes de fósforo adicionadas, VAN RAIJ e VAN DIEST (1980) encontraram altas correlações entre o fósforo absorvido pela planta e o extraído pelo método Bray I. Da mesma forma FEITOSA e BITTENCOURT (1981), porém usando H_2SO_4 0,05 N + 0,03 N NH_4F . McLEAN e LOGAN (1970) avaliando fontes de fósforo com diferentes solubilidades em água, em 88 experimentos, destacam que as diferenças observadas dos seus efeitos sobre a disponibilidade de fósforo para seis culturas testadas, foram também detectadas na disponibilidade do fósforo dos solos estimada pelo método de Bray I.

O método que emprega solução de bicarbonato de sódio como extrator, Olsen ($NaHCO_3$ 0,5 M, pH 8.5), tem apresentado altos coeficientes de correlação entre o fósforo extraído pelo método e o absorvido pelas plantas, mesmo quando testados sob diferentes condições de solos como mostram dados de BALERDI *et alii* (1968); ANGHINONI (1972), aqueles usando solos de diferentes características e este quantidades crescentes de fósforo adicionado; FEITOSA e VAN RAIJ (1976), com dois solos de São Paulo, dois cultivos para avaliar efeito imediato e residual e, ainda, seis fontes de fósforo com ampla variação em solubilidade; KORNDORFER (1978) com dois solos do RS, com diferentes características, treze fosfatos naturais,

dois termofosfatos e superfosfato triplo. Dos dados de SMYTH e SANCHEZ (1982), que estudaram a dissolução de rochas fosfatadas e disponibilidade do elemento em solos de cerrado, com diferentes capacidade de sorção de fósforo, pode-se depreender que se o método de Olsen não estima satisfatoriamente a dissolução do fostatato, por causa das reações do fosfato com o solo, as quantidades por ele extraídas poderiam correlacionar com o fósforo disponível para as culturas, discriminando razoavelmente o fósforo lábil da fração não lábil.

ZAGO e KAMINSKI (1979) consideram o fósforo extraído por hidróxido de sódio como um bom critério para avaliação do seu estado de disponibilidade no solo.

OLSEN (1975) relata que o ácido etileno diamino tetracético (EDTA) é um bom extrator para fósforo, sendo adequado para o uso em comparações entre fontes, especialmente entre fosfatos naturais, e correlaciona razoavelmente com o fósforo absorvido por plantas.

O uso da resina de troca aniônica na avaliação de disponibilidade de fósforo de solos tem se difundido rapidamente, dado sua versatilidade e adaptabilidade a diferentes condições de solo. Por isso em testes de comparações de métodos de análise de fósforo apresenta altos coeficientes de correlação com o fósforo absorvido, como mostram dados colecionados por VAN RAIJ (1978) e dados obtidos por VAN RAIJ e VAN DIEST (1980) aqueles sob diferentes condições de solos e estes usando fontes de fósforo de variado grau de solubilidade.

Ou ainda, para avaliar diferentes parâmetros para reações de fósforo nos solos, como fizeram PALMA e FASSBENDER (1970) em quarenta solos da América Central, SMYTH e SANCHEZ (1982) estimando a dissolução de fosfatos de rocha em solos de cerrado.

A avaliação da dissolução de fosfatos nos solos, envolve, normalmente, estimativas de compostos fosfatados neles formados por reações secundárias. Contudo, a maioria das técnicas de extração deste elemento são medidas indiretas e podem incluir porções dos fosfatos que não reagiram com os componentes dos solos, ou removem apenas parte do fósforo lábil. Estes métodos são mais correlacionados com a disponibilidade do elemento para as culturas do que com a magnitude da reação entre o fertilizante e o solo. Por isso, os resultados das análises podem ser influenciadas por variações na técnica de determinação, relação solo: solução, tempo de agitação, temperatura, planta teste usada e outros, produzindo resultados de difícil comparação em seus valores absolutos, e impedindo, com isso, a extrapolação de resultados, exigindo para cada solo, ou grupo de solos, estudo de correlações e calibração dos métodos usados ou propostos, para maior segurança na informação sobre disponibilidade, ou mesmo, necessidade de utilização de fertilizantes fosfatados, sem absolutamente indicar a fonte de fósforo mais adequada para cada situação. Pois, como admite MILAN (1981), existem características de solos mais importantes na determinação de necessidade de adubação fosfata-

da do que apenas a predição dos métodos químicos de extração de fósforo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em vasos, nas casas de vegetação da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e nos laboratórios do Departamento de Solos do Centro de Ciências Rurais na Universidade Federal de Santa Maria.

3.1. Solos

Foram utilizados três solos ácidos, Bom Jesus ocorrente ao norte do Rio Grande do Sul, classificado como Cambisol Húmico-álico, Haplumbrept; Latossol Vermelho Escuro-orto, (LE), ocorrente ao sul de Minas Gerais sob vegetação de cerrado, classificado como Haplortox; Paredão Vermelho, Latossol Vermelho Escuro textura média, ocorrente no Estado de São Paulo, classificado como Rhodochrult Orticu. As amostras dos so-

los foram coletadas a profundidade de 0-20 cm, de um s^o local, em áreas dos munic^opios de Bom Jesus-RS, Arax^a-MG e Charqueada-SP, localizados pela similaridade de suas caracterⁱsticas topogr^aficas e morfol^ogicas com as descritas em seus perfis modais (BRASIL, 1960 e 1973). Ap^os a coleta, cada amostra de solo foi seca ao ar, tamizada em peneira 2 mm, homogeneizada e separada em dezoito por^oes de 1700 g para os tratamentos com fosfato precedendo a calagem, uma por^o de 35 kg para aplica^o do calc^ario antes do fosfato e reservados 35 kg para tratamentos de calc^ario e fosfato simult^aneo. Ainda foi retirada amostra para caracteriza^o dos solos. As caracterⁱsticas gerais dos solos estudados est^ao na Tabela 1.

3.2. Tratamentos usados

Os solos foram submetidos a tratamentos com fertilizantes fosfatados adicionados em tr^es ^epo^cas: antecedendo 90 dias a aplica^o do calc^ario (pr^e-aplicado), juntamente com o calc^ario (co-aplicado), e 90 dias ap^os a aplica^o do calc^ario (pos-aplicado). Tais tratamentos foram aplicados de forma que a sementeira da planta teste deu-se no mesmo dia em todos os solos e tratamentos. A quantidade de calc^ario utilizada foi a estimada pelo m^etodo SMP para eleva^o do pH do solo at^e 6,0 (KAMINSKI, 1974). O calc^ario usado constituiu-se na mistura de carbonato de calc^o e carbonato de magn^esio precipitados na

TABELA 1. Características gerais dos solos estudados

Solo	pH <u>1/</u> água	pH <u>2/</u> CaCl ₂	P <u>3/</u> ppm	K <u>3/</u> ppm	M.O. <u>4/</u> %	Ca ⁺⁺ me/100/g <u>5/</u>	Mg ⁺⁺ me/100/g <u>5/</u>	Al ⁺⁺⁺ me/100/g <u>5/</u>
Bom Jesus	4,5	4,1	3,0	96	8,0	1,40	1,26	4,8
LVE	5,1	4,6	1,5	36	4,5	0,35	0,33	0,32
Paredão Vermelho	5,2	5,4	3,5	41	0,3	0,44	0,24	0,36

H + Al <u>6/</u> me/100 g	argila <u>7/</u> %	calcário <u>8/</u> t/ha	pH final <u>9/</u> água	C.R.P. <u>10/</u> ppm
15,7	57	15,0	5,4	193,8
6,1	51	5,0	5,4	162,3
2,3	9	1,5	6,3	27,3

1/ e 9/ pH em água, relação 1:1

2/ pH em CaCl₂, 0,01 M, relação 1:1

3/ P e K extraídos pelo método Carolina do Norte e determinados conforme MIELNICZUK *et alii* (1969).

4/ Matéria orgânica, %, determinado pelo método de Wakley e Black, adaptado para colorimetria (MIELNICZUK *et alii*, 1969).

5/ Extraídos com KCl e determinado por titulação com EDTA e NaOH, respectivamente.

6/ Extraídos com Ca(CH₃COO)₂ 1N pH 7.0 e determinado por titulação com NaOH.

7/ Determinado pelo método da pipeta.

8/ Determinado segundo KAMINSKI (1974).

10/ C.R.P. = capacidade de retenção de fósforo - Estimado pela isoterma de Langmuir, para 0,2 ppm de P na solução de equilíbrio.

relação molar Ca:Mg de 3:1, nas quantidades indicadas na Tabela 1. A quantidade de fosfato usada equivaleu a 150 mg de P_2O_5 . kg de solo⁻¹, em função do teor total de P_2O_5 do fertilizante utilizado, Tabelas 2.

TABELA 2. Características dos fertilizantes fosfatados

Fontes	P ₂ O ₅ total %	P ₂ O ₅ solúvel em ^{1/}		
		Ac. cítrico %	água %	citrato de amônio + água %
TA ^{2/}	22,3	22,1	6,8	22,3
TY ^{3/}	18,9	17,6	1,4	10,7
SS ^{4/}	18,3	16,3	15,5	18,3
PA ^{5/}	27,3	9,7	7,8	10,9
AC ^{6/}	35,1	4,0	0,0	1,1

^{1/} Conforme metodologia prevista na legislação brasileira

^{2/} TA - Termofosfato Calcinado Anafertil nº 0581

^{3/} TY - Termofosfato Magnesiano Yoorin

^{4/} SS - Superfosfato Simples

^{5/} PA - Fosfato Parcialmente Acidulado, com H₂SO₄ a 50%

^{6/} AC - Fosfato Natural Concentrado Araxã.

Os fertilizantes usados neste experimento foram o Fosfato Natural Araxã Concentrado (AC) e Superfosfato Simples (SS), Termofosfato Calcinado Anafertil nº 0581 (TA), Termofosfato Yoorin (TY), Fosfato Araxã Parcialmente Acidulado

(PA) com 50% do ácido necessário para obtenção do superfosfato simples, todos os quatro últimos obtidos a partir do primeiro. Os produtos foram elaborados nos laboratórios da Araxã S.A. - Fertilizantes e Produtos Químicos. A caracterização analítica dos fertilizantes estão na Tabela 2. Na Tabela 3, os índices de solubilidade em ácido cítrico a 2%, água e citrato de amônio neutro. Os termofosfatos e o fosfato concentrado Araxã foram usados em pó, o superfosfato simples farelado e o parcialmente acidulado granulado, > 0,5 < 1,0 mm.

TABELA 3. Índice de solubilidade em ácido cítrico, água e citrato de amônio dos fosfatos

Fonte	P ₂ O ₅ total	% do P ₂ O ₅ ác. cítrico	solúvel em água	citrato de amônio
TA	1,00	0,99	0,31	1,00
TY	1,00	0,93	0,13	0,57
SS	1,00	0,90	0,85	1,00
PA	1,00	0,36	0,29	0,40
AC	1,00	0,11	0,00	0,03

As amostras de solo tratadas com fosfato pré-aplicado a calagem, bem como o que recebeu somente calcário, foram incubadas com umidade equivalente a 70% da capacidade de embebição, em sacos plásticos fechados. Semanalmente os sacos eram abertos e os solos revolvidos, até completar o período de 90 dias. Completada a incubação, as amostras foram secas ao ar, novamente tamizadas em peneira 2 mm. Após, foram separadas

em porções equivalentes a um litro de solo, nas quais foram aplicados os tratamentos a que se destinava fosfato pré ou pos-aplicado ao calcário. Ao mesmo tempo as porções reservadas foram divididas em quantidades equivalentes a um litro, nas quais foram adicionados os tratamentos de calcário e fosfatos co-aplicados, em doses e quantidades estabelecidas.

Estas porções, representando os tratamentos e repetições, foram envazadas e umedecidas a 70% da porosidade total, estimada pela fórmula:

$$(1 - \text{densidade global} \cdot \text{densidade de partículas}^{-1}),$$

com reposição diária de água destilada, baseada no peso do vaso previamente calibrado, permanecendo assim por 30 dias.

3.3. Delineamento experimental

Os tratamentos foram distribuídos no delineamento experimental tri-fatorial inteiramente casualizado, com três repetições. Três solos, cinco fontes de fósforo e três épocas de aplicação do fósforo em relação ao calcário, mais seis testemunhas (3x5x3+6).

3.4. Condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegeta

ção, onde as combinações de tratamentos foram distribuídos ao acaso. Decorridos vinte e cinco dias da última incubação, cada vaso de um litro, recebeu uma adubação complementar de N, K, B, Cu e Zn nas doses de 70, 50, 0.5, 1.5, 5.0 mg.litro⁻¹ de solo, em solução aquosa, utilizando nitrato de amônio (NH₄NO₃), cloreto de potássio (KCl), ácido bórico (H₃BO₃), sulfato de cobre (CuSO₄) e sulfato de zinco (ZnSO₄) como fonte dos nutrientes, respectivamente. Cinco dias apōs, efetuou-se a sementeira, vinte sementes por vaso da planta teste, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench - cv. Contibrasil). Decorridos dez dias da germinação procedeu-se o desbaste, permanecendo cinco plantas por vaso. Nesta ocasião foram adicionados mais 35 e 30 mg.litro⁻¹ de solo de N e K, respectivamente, da mesma forma que anteriormente. Apōs 25 dias do desbaste adicionou-se mais 70 e 60 mg.litro⁻¹ de solo de N e K, devido a amarelecimento das folhas inferiores. Completados 50 dias, a partir da germinação, as plantas foram colhidas para análise. Durante a condução do experimento os vasos tinham diariamente ajustados seu peso, com água destilada, para valores de umidade equivalentes a 70% do volume total de poros. A cada reposição de água os vasos tinham trocadas suas localizações.

O corte da parte aérea das plantas foi feito rente ao solo, sendo o material recolhido em sacos de papel e secos em estufa a 60°C até peso constante. Apōs foram pesados e moídos em micromoinho, passando em peneira de 20 mesh.

As porções de solo contidas em cada vaso foram separadas das raízes, destorroadas e secas ao ar. Posteriormente foram moídas e preparados para análise.

3.5. Análises de laboratório

3.5.1. Análises do tecido das plantas

No tecido das plantas foi determinado o fósforo, extraíndo-se-o por digestão nitro-perclórica e analisando o extrato com a solução Vanadomolibdica, conforme método descrito por SARRUGE e HAAG (1974).

3.5.2. Análise dos solos

Nas porções de solo previamente preparadas foi determinado o fósforo usando-se os métodos abaixo descritos:

Método de Bray 1, original. Extrator: fluoreto de amônio 0,03 N + ácido clorídrico 0,025 N de pH 3.5, na relação solo extrator 1:10, 3 g de solo e 30 ml de extrator, com um minuto de agitação manual e filtração imediata com papel filtro SS faixa azul. No filtrado foi determinado o fósforo (ANGHINONI, 1972).

Método Carolina do Norte (Melich). Extrator, ácido clorídrico 0,05 N + ácido sulfúrico 0,025 N, pH 1.2, re

lação solo extrator 1:10, com agitação por cinco minutos e reposo por 17 horas, retirado o sobrenadante para análise de fósforo (MIELNICZUK *et alii*, 1969).

Método EDTA. Extrator: ácido etileno diamino-tetracético sólido. Usou-se 300 mg de EDTA em 5 g de solo a 50 ml de água destilada, com agitação manual suave e repouso por 24 horas e então retirado o sobrenadante para determinação do fósforo (OLSEN, 1975).

Método de Olsen. Extrator: bicarbonato de sódio 0,5 M, pH 8.5, com adição de "Superfloc 127" na dose de $0,5 \text{ g} \cdot 10 \text{ l}^{-1}$. Relação solo extrator 1:5, com agitação de vinte minutos e centrifugação por cinco minutos a 2500 rpm. Sobrenadante recolhido e adicionadas cinco gotas de ácido sulfúrico concentrado e quatro centímetros cúbicos (4 cm^3) de carvão ativado previamente lavado com ácido sulfúrico e neutralizado com hidróxido de sódio. A suspensão permaneceu em contato por duas horas, sendo então filtrado com papel filtro SS faixa azul e neste determinado o fósforo (ANGHINONI, 1972; BRAGA, 1980).

Método da Resina de Troca Aniônica: Resina de troca aniônica, base forte, previamente saturada com bicarbonato. Usou-se 3 g de solo peneirado em tamiz 60 mesh e quatro centímetros cúbicos de resina, partículas maiores que 30 mesh 30 ml de água destilada e deionizada. Agitou-se por 16 horas, após a resina foi separada do solo por peneiramento com tamiz 50 mesh, colocada em coluna e eluída com 30 ml ácido clorídriu

co 1 N. No eluído foi determinado o fósforo (VAN RAIJ 1978).

Método do fracionamento parcial de fósforo. Extrator: hidróxido de sódio 0,1 N, com adição de "Superfloc 127", 0,5 g. 10 l^{-1} . Relação solo extrator 1:10. O solo foi previamente lavado com cloreto de amônio 1 N, com agitação por 30 minutos, centrifugado e descartado o sobrenadante. Após adicionou-se hidróxido, agitando a suspensão por 17 horas. Centrifugando-se por 10 minutos a 2500 rpm, a partir daí procedeu-se da mesma forma que no método de Olsen (ZAGO e KAMINSKI, 1978).

Nos extratos obtidos dos diferentes métodos, o fósforo foi determinado usando-se, como complexante, uma solução de ácido clorídrico 0,87 N + heptamolibdato de sódio 0,38% + ácido bórico 0,5%. O ácido amino-naftosulfônico 0,13% + sulfito e meta bissulfito de sódio em solução aquosa foi usado como redutor (MIELNICZUK *et alii*, 1969).

3.6. Análise estatística

Os resultados obtidos foram comparados pela análise da variância, aplicando-se o Teste Tukey para comparação das médias.

As relações fósforo absorvido pelo sorgo e fósforo extraído pelos métodos foram obtidas pela análise de correlação linear.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados, e que serão discutidos a seguir, referem-se ao rendimento de matéria seca ($\text{g} \cdot \text{vaso}^{-1}$) e fósforo absorvido ($\text{mg} \cdot \text{vaso}^{-1}$), obtidos em três solos ácidos tratados com fosfato concentrado Araxã (AC), superfosfato simples (SS), termofosfato calcinado Arafertil nº 0581 (TA), termofosfato magnésiano Yoorin (TY) e fosfato parcialmente acidulado em 50% do superfosfato simples (PA), todos os quatro últimos obtidos a partir do primeiro nos laboratórios da ARAXÃ S.A. - Fertilizantes e Produtos Químicos, Araxã-MG, Estes fosfatos foram, pre- (A) e pós-aplicados (D), em 90 dias ao corretivo da acidez, e co-aplicados (J) a este, nos três solos.

4.1. Efeito dos fosfatos e épocas de sua aplicação em relação ao calcário em três solos, no suprimento de fósforo para o sorgo

Diante dos resultados de rendimentos de matê-

ria seca e fósforo absorvidos, apresentados nas Tabelas 4 e 5 verifica-se que os fosfatos comportam-se diferentemente entre si, entre épocas de adição ao solo em função do corretivo da acidez e entre tipos de solo, como ilustram as Figuras 1 a 6 e os dados das Tabelas 6, 7, 9 e 10.

A diferença de comportamento dos fosfatos, como fonte de fósforo para as culturas, em função do tipo de solo, também foi observada por ZAGO e KAMINSKI (1979), KORNDORFER (1978), FEITOSA e VAN RAIJ (1976). MILAN (1981) trabalhando com treze solos do Rio Grande do Sul, observou que as quantidades de fosfato exigidas pelos solos, para obtenção dos máximos rendimentos estimados, se correlacionaram com o teor de Al extraído com citrato-ditionito-bicarbonato e com oxalato, capacidade de retenção de fósforo e teor de argila. Assim, os solos Bom Jesus e LVE, com os mais altos teores de argila e capacidade de retenção de fósforo, Tabela 1, teriam as mais baixas produções de matéria seca e fósforo absorvido pelo solo que o solo Paredão Vermelho, para a mesma quantidade de fósforo adicionado, $150 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg de solo}^{-1}$, Tabelas 6 e 7. Já os rendimentos de matéria seca e fósforo absorvido, significativamente maiores, obtidos no solo Bem Jesus, em relação ao LVE, podem ser atribuídos ao maior teor de matéria orgânica daquele e a possível menor quantidade de óxidos, o que pode alterar os produtos da reação solo-fertilizante e a energia de retenção do fosfato, pois o fósforo aplicado ao solo é transformado em compostos mais estáveis a medida que se dissolve,

TABELA 4. Matéria seca produzida pelo sorgo em três solos tratados com diferentes fontes de fósforo e submetidos a três épocas de aplicação do fosfato em relação a aplicação do calcário

Época*	Fonte**	Bom Jesus		LVE		Paredão	
		g.vaso ⁻¹	Índice***	g.vaso ⁻¹	Índice	g.vaso ⁻¹	Índice
A	AC	0,57	0,01	0,72	0,05	2,07	0,13
	PA	0,83	0,03	1,60	0,25	4,53	0,42
	SS	1,20	0,08	2,03	0,35	9,70	1,03
	TA	1,37	0,09	1,57	0,24	9,87	1,05
	TY	1,20	0,08	1,20	0,16	9,57	1,01
J	AC	1,13	0,07	2,00	0,34	1,77	0,10
	PA	4,30	0,44	4,67	0,94	6,17	0,61
	SS	9,20	1,00	4,93	1,00	9,47	1,00
	TA	6,90	0,73	4,47	0,90	9,93	1,05
	TY	5,10	0,53	4,17	0,83	9,00	0,94
D	AC	0,67	0,02	0,67	0,04	1,47	0,06
	PA	1,63	0,13	2,23	0,39	6,37	0,63
	SS	3,93	0,39	3,37	0,65	9,70	1,03
	TA	3,40	0,20	2,06	0,35	9,30	0,98
Testemunha		0,53	0,00	0,50	0,00	0,93	0,00

* Época, A - fosfato pré-aplicado em 90 dias ao calcário
 J - calcário e fosfato co-aplicados
 D - fosfato pós-aplicado em 90 dias ao calcário.

** Fonte- AC, fosfato concentrado Araxá, PA - fosfato Araxá parcialmente acidulado, SS - superfosfato simples, TA - termofosfato calcinado Arafertil nº 0581; TY - termofosfato Yoorin.

*** Índice- calculado entre 0, tribuído à testemunha, e 1,00 para o superfosfato simples aplicado junto com o calcário (Época 2).

TABELA 5. Fósforo absorvido pelo sorgo, de três solos tratados com diferentes fontes de fósforo e submetidos a três épocas de aplicação do calcário (corretivo da acidez)

Época	Fonte	SOLOS					
		Bom Jesus		LVE		Paredão	
		mg. vaso	Índice	mg/vaso	Índice	mg/vaso	Índice
A	AC	0,34	0,01	0,61	0,08	2,48	0,13
	PA	0,73	0,05	1,38	0,27	4,93	0,31
	SS	1,41	0,12	2,12	0,44	8,45	0,56
	TA	1,57	0,13	1,40	0,27	11,17	0,76
	TY	1,32	0,11	0,97	0,17	9,30	0,64
J	AC	1,01	0,09	1,60	0,32	1,79	0,09
	PA	6,01	0,60	3,79	0,83	5,51	0,35
	SS	9,79	1,00	4,51	1,00	14,53	1,00
	TA	8,52	0,87	4,31	0,95	8,90	0,60
	TY	6,31	0,62	4,43	0,98	8,60	0,58
D	AC	0,33	0,01	0,42	0,04	1,66	0,08
	PA	1,53	0,13	1,78	0,36	4,25	0,26
	SS	3,40	0,33	2,67	0,58	12,46	0,85
	TA	2,97	0,28	1,65	0,34	11,69	0,84
	TY	1,88	0,17	1,65	0,34	8,66	0,58
	Testemunha	0,26	0,00	0,25	0,00	0,58	0,00

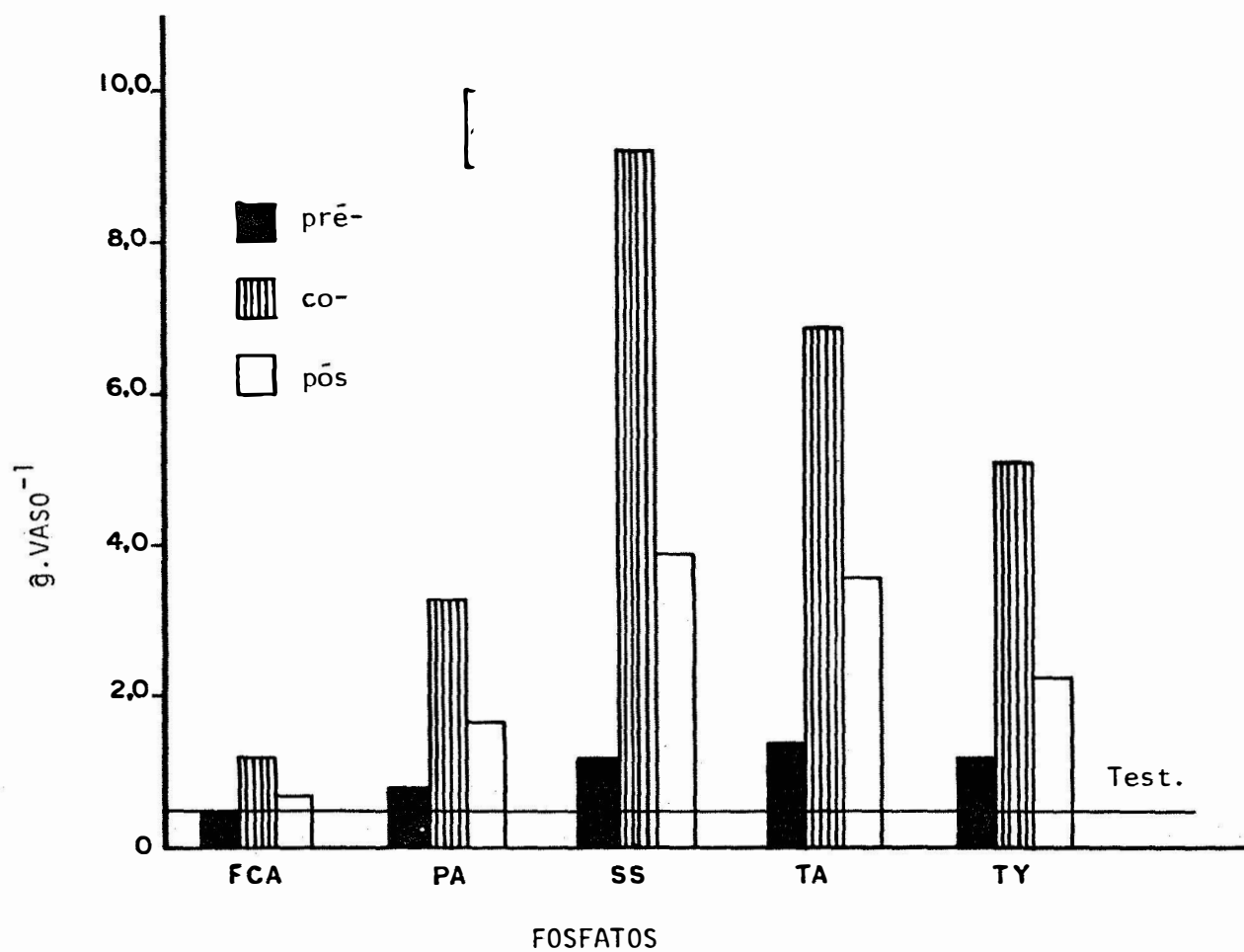


FIGURA 1. Efeito dos fosfatos pré-, co- e pos-aplicados ao corretivo da acidez, sobre a produção de matéria seca no solo Bom Jesus.

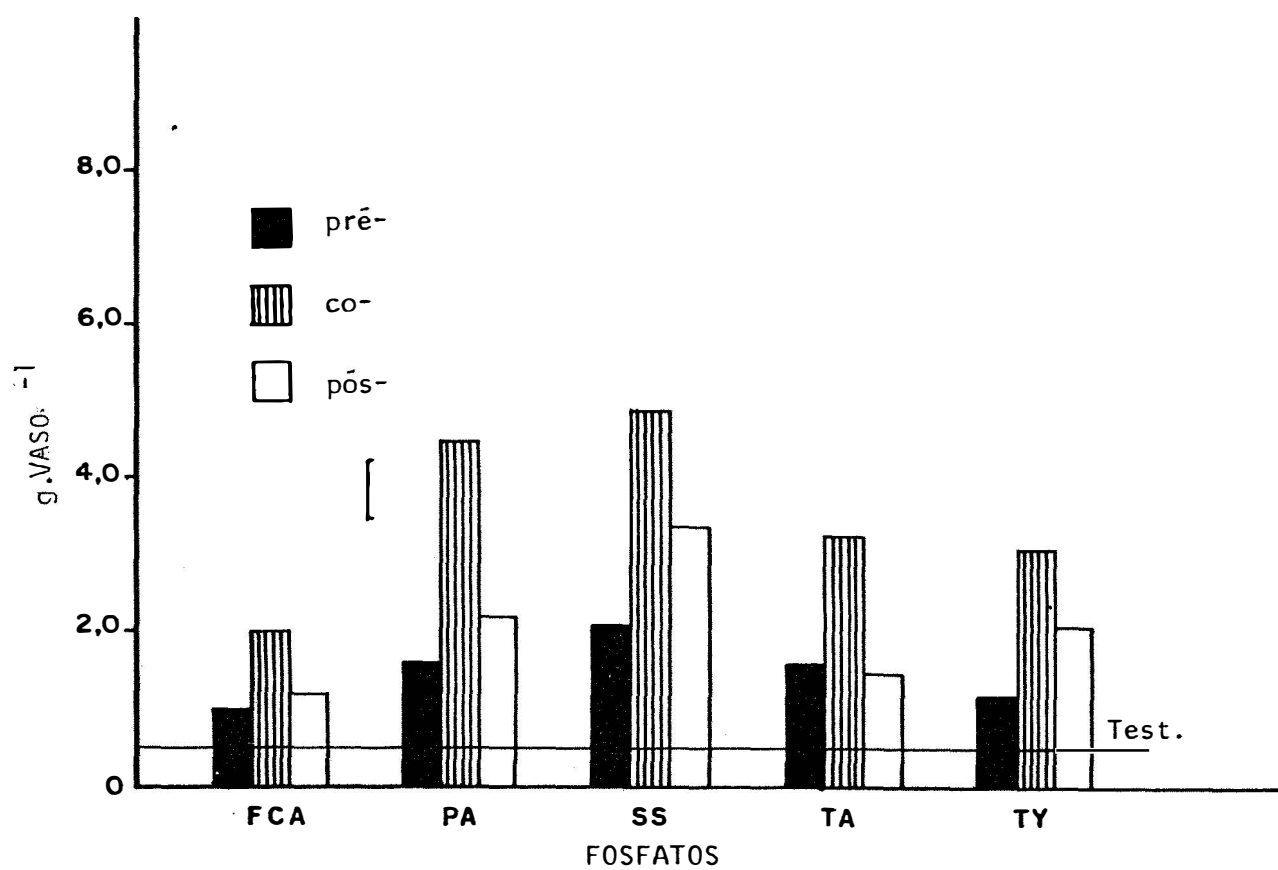


FIGURA 2. Efeito dos fosfatos pré-, co- e pos-aplicados ao corretivo da acidez, sobre o rendimento de matéria seca no solo LVE.

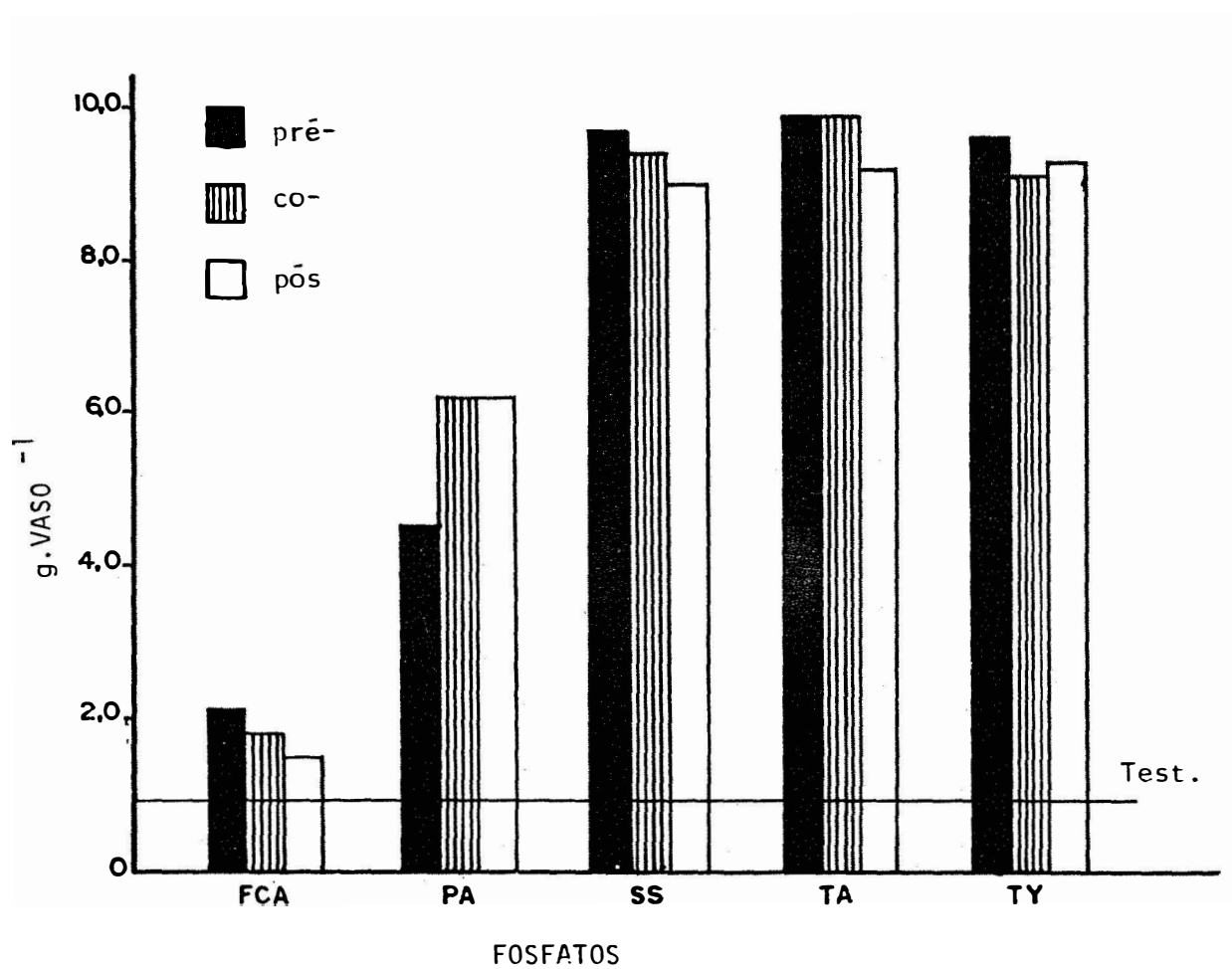


FIGURA 3. Efeito dos fosfatos pré-, co-, pos-aplicados ao corretivo da acidez sobre a produção de matéria seca no solo Paredão Vermelho.

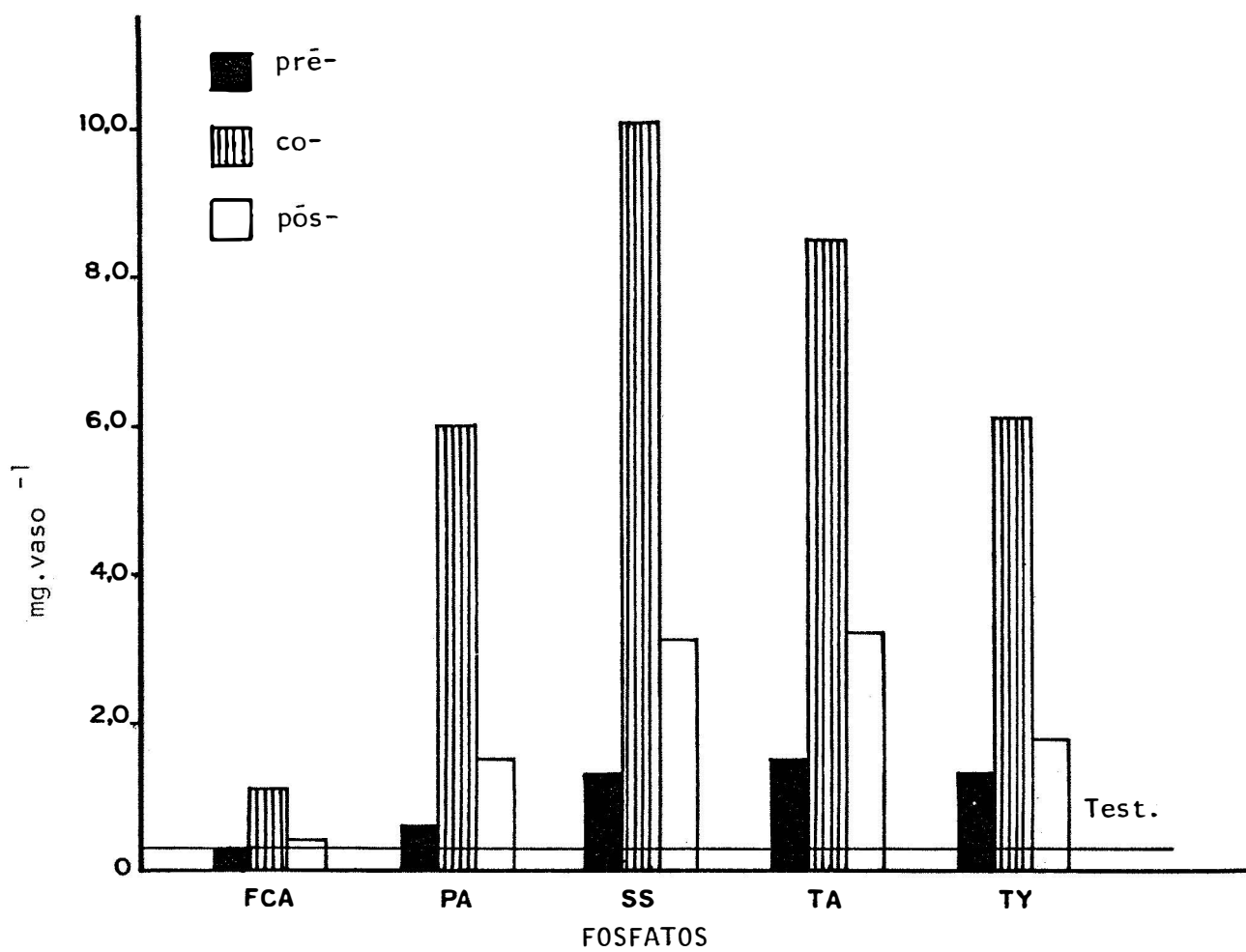


FIGURA 4. Efeitos dos fosfatos prê-, co- e pos-aplicados ao corretivo da acidez sobre a quantidade de fósforo a bsorvido no solo Bom Jesus.

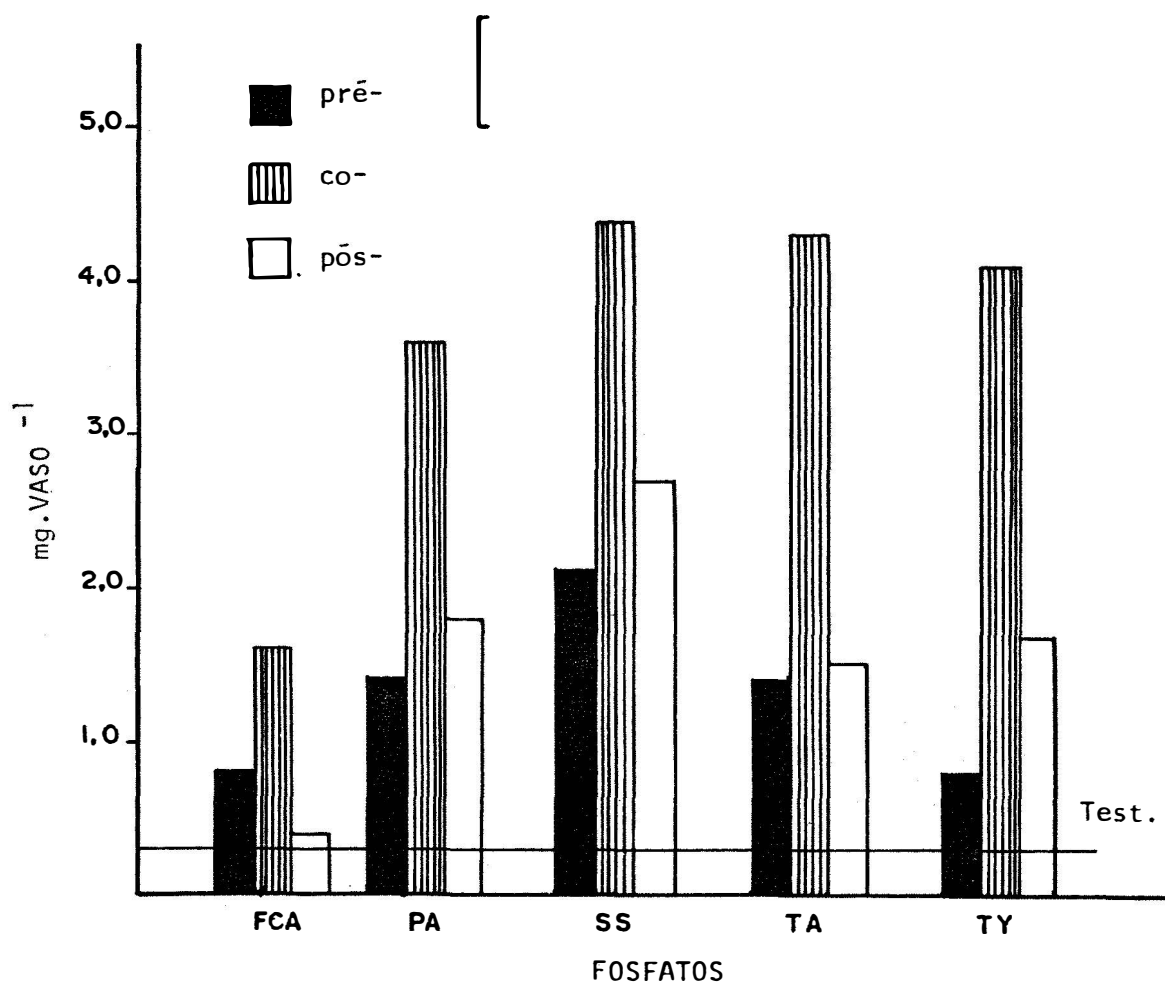


FIGURA 5. Efeitos dos fosfatos pré-, co- e pós-aplicados ao corretivo da acidez sobre a quantidade de fósforo a bsorvido no solo LVE.

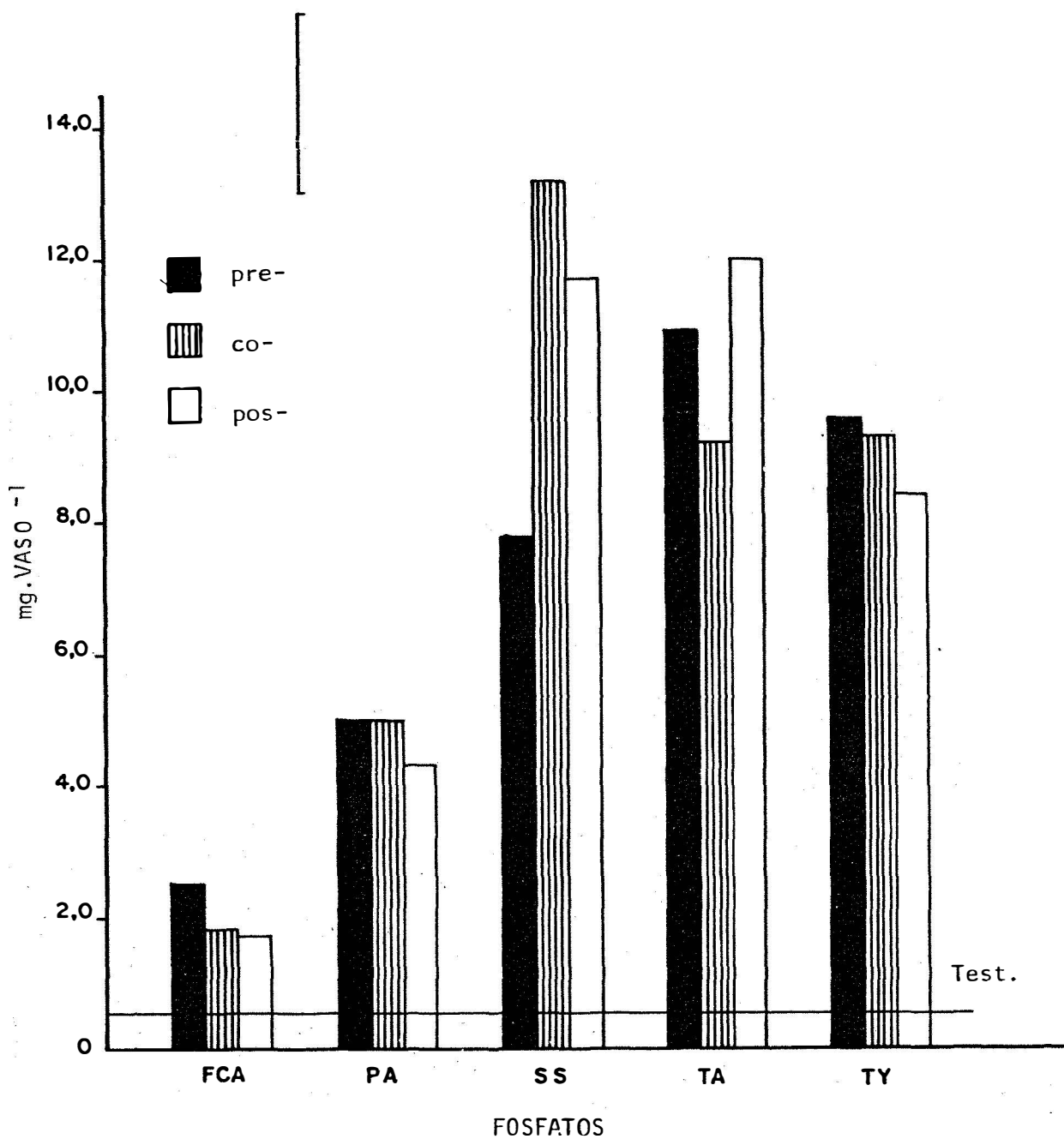


FIGURA 6. Efeitos dos fosfatos prē-, co- e pōs-aplicados ao corretivo da acidez sobre a quantidade de fōsforo à bsorvido no solo Paredão Vermelho.

e a natureza dos novos produtos formados nestas reações, passa a controlar a sua disponibilidade para as plantas (SHELTON e COLEMAN, 1968; SAMPLE *et alii*, 1980; ENGELSTED e TERMAN, 1980).

Quando um fosfato é adicionado ao solo, há a formação de uma solução saturada em fosfato, metaestável, próximo ao sítio do grânulo, o que implica no aumento do potencial osmótico, estabelecendo um gradiente e provocando uma demanda por água na zona concentrada. Mas a solução, quer por difusão ou devido a diferença no potencial matricial, move-se para fora desta zona, resultando num aumento da área de reação do fertilizante com os constituintes do solo (LINDSAY e STEPHENSON, 1959; LE MARE, 1975; SAMPLE *et alii*, 1980). Estas reações são mais intensas quanto mais solúvel for o fosfato adicionado. Assim, os fosfatos de menor solubilidade terão soluções menos concentradas, menor gradiente osmótico e menor difusão no sítio de reação, conseqüentemente, as reações fertilizante com os constituintes do solo ocorrerão em menor volume de solo e, proporcionalmente, em menor magnitude (SAMPLE *et alii*, 1980), mas qualquer propriedade do solo que afete uma das reações do fertilizante no, ou com o solo, afetará a sua disponibilidade para as culturas (VOLKWEISS e VAN RAIJ, 1977; VAN RAIJ e VANDIEST, 1980). Isso pode ser observado comparando-se os efeitos dos fosfatos nos diferentes solos usados, Tabelas 6 e 7; os solos com maior capacidade de retenção de fósforo, apresentaram diferenças menos acentuadas entre os fos-

TABELA 6. Média do rendimento de matéria seca do sorgo cultivado em vasos (g.vaso^{-1}), nos três solos tratados com cinco fosfatos

Solos	Fontes					Média	Test.
	AC	PA	SS	TA	TY		
BJ <u>1/</u>	0,79	2,26	4,78	3,88	2,86	2,91	0,53
LVE <u>2/</u>	1,13	2,83	3,44	2,54	2,48	2,49	0,50
PV <u>3/</u>	1,77	5,69	9,62	9,68	9,29	7,20	0,98
Média	1,23	3,59	5,95	5,37	4,87		

1/ BJ - Solo Bom Jesus

2/ LVE - Latossol Vermelho Escuro

3/ PV - Paredão Vermelho

0,855 Δ ou dms (Tukey 1%) para comparações do efeito das fontes para mesmo solo.

0,744 Δ ou dms (Tukey 1%) para comparação do efeito das fontes entre solos.

0,494 Δ ou dms (Tukey 1%) para comparações das médias das fontes.

0,330 Δ ou dms (Tukey 1%) para comparações das médias entre solos.

TABELA 7. Média do fósforo absorvido pelo sorgo (mg.vaso^{-1}) cultivado em vasos, nos três solos tratados com cinco fosfatos

Solos	Fonte					Média	Test.
	AC	PA	SS	TA	TY		
BJ <u>1/</u>	0,56	2,76	4,86	4,35	3,17	3,14	0,26
LVE <u>2/</u>	0,88	2,32	3,10	2,45	2,36	2,20	0,25
PV <u>3/</u>	1,99	4,90	11,81	10,59	8,86	7,62	0,58
Média	1,14	3,33	6,59	5,80	4,80		

1/ BJ - Bom Jesus

2/ LVE - Latossolo Vermelho Escuro

3/ PV - Paredão Vermelho

1,50 Δ ou dms (Tukey 1%) para comparações do efeito das fontes no mesmo solo.

1,31 Δ ou dms (Tukey 1%) para comparações do efeito das fontes entre solos.

0,870 Δ ou dms (Tukey 1%) para comparações entre médias das fontes.

0,560 Δ ou dms (Tukey 1%) para comparações das médias entre solos.

TABELA 8. Coeficientes de correlação entre matéria seca (M.S.) produzida e fósforo-
absorvido (P-abs) pelo sorgo e as quantidades de P₂O₅ solúvel em ácido cí-
trico, citrato de amônio neutro e água adicionados aos três solos

Solubilidade	Solos					
	Bom Jesus		LVE		Paredão Vermelho	
	M.S.	P-abs	M.S.	P-abs	M.S.	P-abs
Ácido cítrico	0,48**	0,38*	0,57**	0,36*	0,55**	0,64**
Citrato	0,54**	0,44*	0,59**	0,40*	0,58**	0,73**
Água	0,54**	0,42*	0,63**	0,44*	0,51**	0,72**

** r < 0,01

* r < 0,05

fatos mais solúveis em ácido cítrico a 2%, superfosfatos simples e os termofosfatos, e os menos solúveis, fosfato natural e parcialmente acidulado, permitindo inferir que os compostos formados no solo, e que comporiam o P-lábil, são mais estáveis neste tipo de solos. Enquanto no solo com menor capacidade de retenção de fósforo, Paredão Vermelho, as características de dissolução dos fosfatos, Tabelas 2 e 3, parecem se adequar mais convenientemente à previsão no suprimento do fósforo das diferentes fontes. Consequentemente, os efeitos da solubilidade dos fosfatos no suprimento de fósforo para as culturas seriam mais acentuados quanto menores fossem as interferências das características dos solos na composição do seu fósforo lábil. Então, solos arenosos, com baixa acidez e capacidade de retenção de fósforo, deveriam apresentar coeficientes de correlação mais elevados entre a quantidade de fósforo absorvido pela planta e a quantidade de fósforo solúvel, que solos argilosos, como se pode observar na Tabela 8 e é ilustrado pelas Figuras 7 e 8.

O uso de superfosfatos como fontes de fósforo têm sido difundido intensamente, dada sua alta eficiência agrônômica, disponibilidade no mercado e facilidades no manuseio e aplicação. Porém a utilização de fosfatos naturais, termofosfatos ou fosfatos parcialmente acidulados tem sido propostas como alternativas para países em desenvolvimento, devido as disponibilidades locais e do custo da energia necessária para as transformações em superfosfatos (CHIEN, 1978a; PANDA

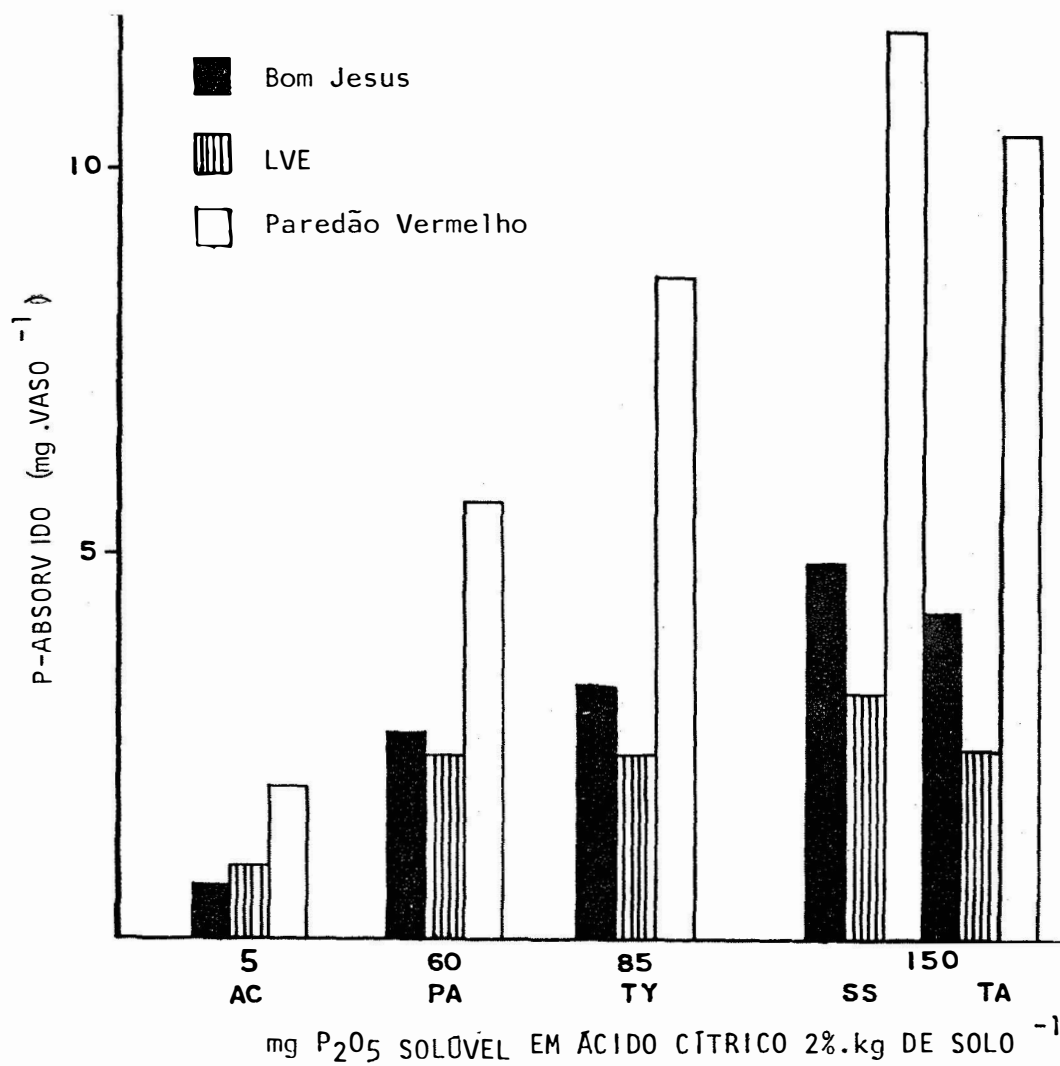


FIGURA 7. Efeito das quantidades de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 2% aplicadas aos solos sobre o teor de fósforo absorvido pelo sorgo,

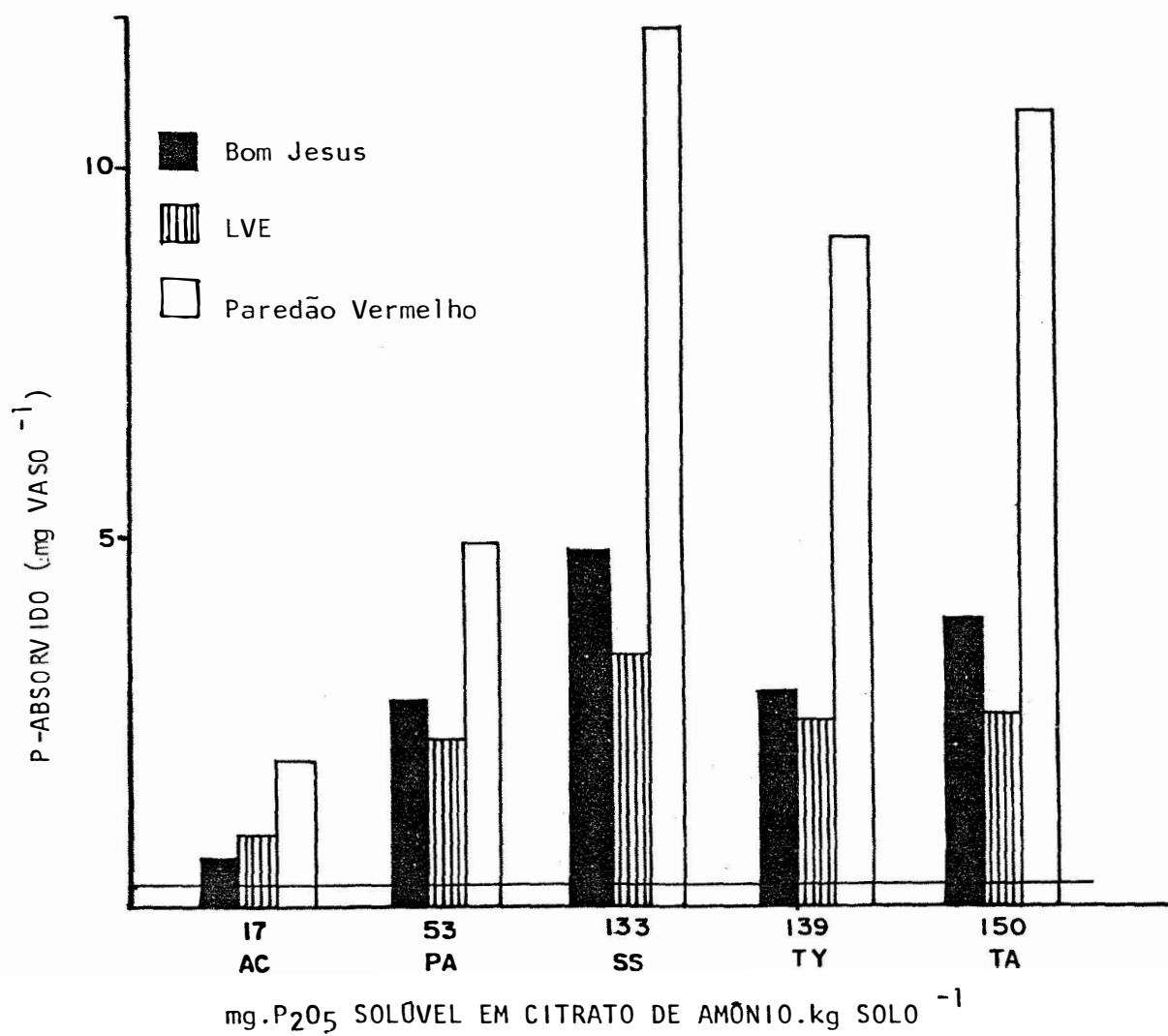


FIGURA 8. Efeito das quantidades de P₂O₅ solúvel em citrato de amônio neutro aplicadas aos três solos sobre o teor de fósforo absorvido pelo sorgo.

e MISRA, 1970, FENSTER e LEON, 1978; MOKWUNYE e CHIEN, 1980; FERREIRA e KAMINSKI, 1979; YOUNG e DAVIS, 1980; FERREIRA e RAMINSKI, 1979; YOUNG e DAVIS, 1980; GROSS BRAUN, 1980; GOEDERT e LOBATO, 1979; HOARE, 1980). Porém, os fosfatos naturais ocorrentes no Brasil parecem não fornecer boas perspectivas como mostram resultados de KORNDORFER (1978), CHIEN (1978a) VAN RAIJ e VAN DIEST (1980), SIQUEIRA *et alii* (1977), KAMINSKI e FERREIRA (1978), GOEDERT e LOBATO (1979). Os resultados obtidos neste trabalho com fosfato concentrado Araxã, Tabelas 4, 6 e 9, confirmam estas observações, concordando com a advertência de GREMILLION e LEHR (1976) que não o recomendam para uso direto na agricultura, devido suas características físicas e cristalográficas. Porém, como a maioria dos solos cultivados são ácidos, foi postulado que quando a adição do fosfato natural precede a do corretivo da acidez, por um determinado período de tempo, a própria acidez do solo adequaria o ambiente à dissolução do fosfato natural, incrementando sua eficiência como fonte de fósforo para as culturas (ELLIS *et alii*, 1955; CHU *et alii*, 1962; KHASAWNEH e DOLL, 1978). Porém, tal procedimento com o fosfato concentrado Araxã, pré-aplicado em 90 dias ao calcário, não apresentou em média, resultados satisfatórios, Tabelas 4, 5, 9 e 10. Mas, pela Tabela 4, parece haver uma tendência que tal ocorra no solo LVE. Porém os resultados são de sanimadores quando comparados com outras fontes de fósforo, co- ou pós-aplicadas ao calcário, Tabela 4 e Apêndice 1. Resultados similares obteve VAN RAIJ e . (1980) quando

TABELA 9. Média do rendimento de matéria seca do sorgo cultivado em vasos (g.vaso^{-1}) em três solos com cinco fontes de fósforo pré-, co e pós-aplicado ao corretivo da acidez

Época	Fonte					Média	Test.
	AC	PA	SS	TA	TY		
A	1,12	2,32	4,31	4,27	3,99	3,20	0,53
D	0,93	3,41	5,67	4,74	4,54	3,86	0,50
J	1,63	5,04	7,87	7,09	6,09	5,54	0,98
Média	1,23	3,59	5,95	5,37	4,87		

A, fosfato pré-aplicado 90 dias do corretivo da acidez

D, fosfato pós-aplicado 90 dias do corretivo.

J, fosfato co-aplicado ao corretivo

0,855 Δ ou dms (Tuckey 1%) para comparações do efeito das fontes para mesma época de adição dos corretivos.

0,744 Δ ou dms (Tuckey 1%) para comparações do efeito da época de adição do fosfato.

0,494 Δ ou dms (Tuckey 1%) para comparações das médias das fontes.

0,330 Δ ou dms (Tuckey 1%) para comparações das médias entre épocas de adição dos corretivos.

TABELA 10. Média do fósforo absorvido (mg.vaso^{-1}) pelo sorgo em três solos tratados com cinco fontes de fósforo pré-, co-, e pós-aplicados ao corretivo da acidez

Época	Fonte					Média	Test.
	AC	PA	SS	TA	TY		
A	1,14	2,35	3,99	4,71	3,87	3,21	0,26
D	0,81	2,52	6,18	5,43	4,07	3,80	0,25
J	1,46	5,10	9,61	7,25	6,45	5,97	0,58
Média	1,14	3,33	6,59	5,80	4,80		

1,50 Δ ou dms (Tuckey 1%) para comparações do efeito das fontes para mesma época de adição dos corretivos.

1,31 Δ ou dms (Tuckey 1%) para comparações do efeito da época de adição do fosfato.

0,87 Δ ou dms (Tuckey 1%) para comparações das médias das fontes.

0,56 Δ ou dms (Tuckey 1%) para comparações das médias entre épocas de adição dos corretivos.

pre-aplicou o fosfato em 75 dias ao calcário, e CANTARUTTI *et alii* (1981) quando pré-aplicou o fosfato concentrado Araxã em 30 dias. NOVAIS *et alii* (1980), trabalhando com dez latossolos com ampla variação textural, advertem que verifica-se um decréscimo acentuado no suprimento de fósforo para o sorgo a medida que aumenta o tempo de contato do fosfato com o solo. Já SOUZA (1977), observou que quando o fosfato concentrado Araxã antecedeu o corretivo da acidez, o suprimento de fósforo correlacionou-se negativamente com o tempo de incubação. Tais observações contraditórias devem estimular a pesquisa nesta área, procurando determinar as variáveis de solo e culturas envolvidas, como propõem AGUILAR e VANDIEST (1981) e VAN RAIJ e VANDIEST (1979).

BARNES e KAMPRATH (1975) obtiveram bons resultados usando fosfato natural sem correção da acidez com calcário. VAN DER PAAUW (1965) alerta que os efeitos da acidez, na condição anterior, podem ser mais prejudiciais que os efeitos benéficos da dissolução do fosfato, o que deve despertar para condução de experimentos em solos selecionados, cujos graus e tipo de acidez possam contribuir para dissolução de fosfatos naturais, mas sem prejudicar os rendimentos das culturas.

SMYTH e SANCHEZ (1962) admitem, como ELLIS *et alii* (1955) e CHU *et alii* (1962), que haja maior dissolução do fosfato de rocha, quando aplicado ao solo sem prévia correção da acidez, porém, como relatam NOVAIS *et alii* (1980), os

produtos formados na reação solo-fertilizante teriam disponibilidade tão, ou mais, baixa quanto a dos próprios fosfatos naturais de baixa solubilidade pós-aplicados ao calcário, justificando os baixos suprimentos de fósforo quando se pré-, co- ou pós-aplicou o fosfato concentrado Araxá, Tabelas 4 e 9:

Os fertilizantes fosfatados alternativos, termofosfatos e parcialmente acidulados, justificam-se por envolverem uma tecnologia intermediária, mais complexa que a mineração, moagem e concentração dos fosfatos naturais para aplicação direta, mas menos complicada que os processos de fabricação dos superfosfatos. Estes produtos reúnem fosfatos solúveis em citrato de amônio neutro, ácido cítrico e água, em diferentes proporções, que dependem dos processos de fabricação (YOUNG e DAVIS, 1980; DASH *et alii*, 1981). Os resultados das Tabelas 2 e 3 mostram a variação de solubilidade dos fosfatos utilizados neste trabalho.

Normalmente as comparações da eficiência destes fosfatos são feitas com superfosfatos, usados como padrão. Em tais circunstâncias seria de se esperar resultados inferiores dos primeiros. Porém, em se tratando de termofosfatos, sem discriminar os magnesianos, como o Yoorin, dos não magnesianos, como o Arafertil, os resultados tem mostrado eficiência equivalentes entre os super e os termofosfatos, como mostram os resultados apresentados por FENSTER e LEON (1978), GOEDERT e LOBATO (1979), FEITOSA e VAN RAIJ (1976), FEITOSA e BITTENCOURT (1981), KORNDORFER (1978), ZAGO e KAMINSKI (1979)

e CHIEN (1978a). Os resultados apresentados nas Tabelas 4, 5, 6, 7, 9 e 10 indicam que, na média geral, o termofosfato magnésiano Yoorin foi significativamente inferior ao termofosfato Arafertil não magnésiano e este equivaleu-se ao superfosfato simples. Porém, houve interação solo-fosfato e fosfato época de aplicação, Tabelas 6, 7, 9 e 10, indicando que o tipo de solo e a época de aplicação do fertilizante em relação ao calcário influenciam sua performance no suprimento de fósforo para o sorgo. Assim, no solo LVE ambos termofosfatos foram significativamente inferiores ao superfosfato simples, mas semelhantes entre si. Já no solo Bom Jesus o superfosfato simples foi significativamente superior ao termofosfato Arafertil que por sua vez foi superior ao termofosfato magnésiano Yoorin. Porém no solo arenoso, os três fosfatos tiveram comportamento semelhante, Figuras 7 e 8, Apêndice 2. CHIEN, 1978a admite que embora os termofosfatos tenham solubilidade em água inferior a dos superfosfatos, a adição de silicatos, como agente de fusão na manufatura do fertilizante, pode colaborar para o aumento de sua efetividade agronômica, ou pelo efeito corretivo da acidez do silicato no sítio de dissolução, reduzindo a reação com os componentes do solo, ou pelo efeito combinado deste e da competição do silicato com o fosfato pelos mesmos "locus" de retenção no solo.

O fosfato parcialmente acidulado foi significativamente inferior aos demais fosfatos artificiais, em média, Tabelas 4 a 7, no rendimento de matéria seca e fósforo absor-

sorvido pelo sorgo. A interação solo-fosfato implica na diferença comportamental deste fosfato como função do tipo de solo. Embora não tenha diferido significativamente entre os solos com maior capacidade de retenção de fósforo, Bom Jesus e LVE, neste último foi tão eficiente quanto o superfosfato simples e os termofosfatos, possivelmente porque este solo apresentou os mais baixos rendimentos de matéria seca e fósforo absorvido pelo sorgo, indicando que as quantidades adicionadas de P_2O_5 foram insuficientes para rendimentos máximos, embora tenha diferido significativamente da testemunha e do fosfato concentrado Araxá. BARRETO (1977) trabalhando com fosfatos Gafsa, Catalão e Patos parcialmente acidulados com ácido fosfórico, não observou vantagens na acidulação parcial, quando comparada ao superfosfato triplo, no suprimento de fósforo para o trigo. HAMMOND *et alii* (1980) observaram que a acidulação parcial com ácido sulfúrico a 40%, aumentou a eficiência da rocha de 3 para 52%, comparado ao superfosfato triplo. Quando o acidulante foi o ácido fosfórico, ao nível de acidulação de 20%, a eficiência foi de 78 a 90% do superfosfato triplo, numa sucessão de três cultivos de milho. Já SHINDE *et alii* (1979a) e DASH *et alii* (1981), obtiveram resultados semelhantes ao do superfosfato simples quando usaram ácido sulfúrico nos níveis de acidulação 50 e 75%, sob condições de alagamento e com plantas de sequeiro. No entanto TERMAN e ALLEN (1967) observaram que a economia na aplicação de fosfatos parcialmente acidulados é similar a redução de fosfato solúvel

em água na mesma magnitude. PANDA e MISRA (1970) e FERREIRA e KAMINSKI (1979) apresentam resultados em que a acidulação parcial com ácido fosfórico ao nível de 50% foi tão eficiente, quanto o superfosfato triplo no suprimento de fósforo para as plantas testadas. McLEAN e WHEELER (1964), McLEAN *et alii* (1965) e McLEAN e LOGAN (1970) destacam a eficiência do fosfato parcialmente acidulado com ácido fosfórico, a 20%.

Estes resultados contrastantes, possivelmente, tenham sido obtidos pelas diferenças nos tipos de solos usados, tipo de ácidos, manuseio e cura depois da acidulação, espécie de planta usada ou granulometria do fosfato (KHASAWEH e DOLL, 1978). ENGELSTAD e TERMAN (1980), alertam que a granulação tende a aumentar a eficiência do fosfato solúvel em água, com oponente deste tipo de fertilizante, mas o daquela fração não acidulada, é drasticamente reduzida. Possivelmente o fosfato parcialmente acidulado não granular seja mais efetivo.

LUTZ (1971) utilizando o fosfato de rocha parcialmente acidulado e superfosfato triplo, observou que o superfosfato foi mais eficiente que o parcialmente acidulado nas doses de P_2O_5 mais baixas, equivalendo-se quando as quantidades aplicadas aumentaram.

No presente trabalho, o fosfato parcialmente acidulado foi usado granulado (+ 0,5 e -1 mm) e as doses de P_2O_5 foram inferiores as necessárias para atingir altos rendimentos, principalmente nos solos argilosos, o que justificaria os rendimentos de matéria seca e fósforo absorvido significativamente inferiores do fos

fato parcialmente acidulado, quando comparado aos demais fosfatos artificiais. Mesmo assim, a acidulação parcial do fosfato concentrado Araxã foi significativamente superior ao produto original nos três solos e nas três épocas de aplicação, Tabelas 4, 5, 6, 7, 9 e 10. Observação esta unânime na literatura consultada.

Por estas razões, as fontes alternativas não devem ser vistas como substitutos e equivalentes dos superfosfatos, mas apenas como alternativas economicamente vantajosas, pois com o crescente aproveitamento do potencial hidroelétrico e carbonífero brasileiro, os termofosfatos terão diminuídos seus "inputs" energéticos e os fosfatos parcialmente acidulados podem representar custos sociais menores, devido o decréscimo de insumos importados, como o enxofre, ou ácidos sulfúricos e fosfórico.

A interação entre fosfatos e época de sua aplicação em relação ao calcário, no suprimento de fósforo para o sorgo, Tabelas 9 e 10, pode ser indício de que os produtos iniciais da reação solo-fertilizante, ou mesmo a dissolução dos fosfatos, são influenciados pela presença ou ausência do material corretivo durante as reações do produto da dissolução do fosfato com os componentes do solo. Assim, a adição de fosfatos antes do corretivo proporcionaria a formação de compostos estáveis nos solos ácidos, devido sua capacidade de retenção de fósforo, acelerando a passagem do fósforo lábil para o não lábil, diminuindo severamente sua disponibilidade, e não ha-

veria a reversão para fósforo lábil, ou de apenas pequena quantidade, após a correção da acidez com calcário, justificando os baixos rendimentos de matéria seca e fósforo absorvido nos tratamentos em que o fósforo foi pré-aplicado em 90 dias ao calcário, Tabelas 4, 5, 9 e 10. Já a pós-aplicação dos fosfatos ao calcário, reduziria a intensidade e magnitude das reações, enquanto que a co-aplicação do fosfato ao corretivo da acidez, proporcionaria dissolução concomitante e interações entre seus produtos, formando, predominantemente, fosfatos secundários menos estáveis e mais disponíveis e, ao mesmo tempo, impedindo, ou diminuindo, as recombinações do fósforo com os componentes ácidos dos solos, superfícies de óxidos hidratados de ferro e alumínio. Para tanto, a época de aplicação do corretivo teria maior influência nos solos com maior capacidade de retenção de fósforo do que nos solos mais renosos, o que pode ser constatado pela observação dos dados do Apêndice 3 a 6 e Figuras 1 a 6, pois não houve diferença significativa entre as épocas de adição do fosfato no solo Paredão Vermelho, enquanto que nos outros dois solos, houve diferenças significativa entre as três épocas de adição dos fosfatos. Observações semelhantes são relatadas por CANTARUTTI *et alii* (1981), VAN RAIJ e VAN DIEST (1980) e SAMPLE *et alii* (1980). VAN RAIJ e VAN DIEST (1980) atribuem os resultados obtidos com a co-aplicação do fosfato e o corretivo à característica de dissolução dos fosfatos usados, rápida no começo e declinando após, e ao imediato plantio da cultura, três dias após a adição, o que

não permitiria a recombinação dos fosfatos a formas menos disponíveis. Porém, CANTARUTTI *et alii* (1981) obteve bons resultados no suprimento de fósforo ao sorgo quanto a incubação dos fosfatos e calcário co-aplicados antecedeu em trinta dias o plantio, como no presente trabalho. SAMPLE *et alii* (1980) apresentam resultados em que quando o fosfato monocálcico foi misturado ao calcário, mais de 90% do fosfato permaneceu no sítio do grânulo como fosfato dicálcico desidratado, o que retardaria consideravelmente as recombinações dos fosfatos com os componentes do solo. Isto justificaria os altos rendimentos obtidos com o superfosfato simples no solo Bom Jesus, quando co-aplicado ao calcário, Tabela 4. Porém, os produtos da dissolução dos outros fosfatos também são protonizados no solo, permitindo recombinações como as acima citadas, o que, associado às características de dissolução do próprio fosfato, além da contribuição nesta, provocada pelo aumento da concentração da solução do solo ou da força iônica da solução devido as dissoluções concomitantes (CHIEN, 1978b), justificariam os significativos aumentos obtidos no suprimento de fósforo pelos fosfatos quando co-aplicados ao corretivo da acidez.

O desempenho do fosfato concentrado Araxá no suprimento de fósforo para as plantas não foi melhorado pela sua pré-aplicação ao solo, sugerindo que se houve incremento em sua dissolução, os compostos formados no solo foram suficientemente insolúveis para permitir sua absorção, como relatam NOVAIS *et alii* (1980). Porém como outros autores, SOUZA,

(1977) e CANTARUTTI *et alii* (1981) fizeram constatações diferentes, usando o mesmo fosfato e outros solos, é conveniente que prossigam os trabalhos de pesquisa nesta área, variando os períodos de incubação solo-fosfato, diminuindo os intervalos e aumentando as observações, incluindo como variáveis as características dos solos e as espécies de plantas envolvidas nos testes.

Também a época de aplicação dos fosfatos artificiais em relação ao calcário pode ser uma variável interessante, porém os resultados obtidos neste trabalho só deverão ser recomendados rotineiramente após sua comprovação em maior número de experimentos, variando os tipos de solos e conduzidos à campo.

As características de dissolução dos fosfatos, são estimadas por extratores químicos, normalmente ácido cítrico, ácido fórmico, citrato de amônio e água (ALCARDE e colaboradores, 1979, 1980). Com isso, os fertilizantes são classificados segundo sua solubilidade, sendo que os fosfatos mais reativos nestas soluções são os mais recomendados, e os menos reativos, evitado seu uso para aplicação no solo, pois o fósforo assim determinado é oficialmente denominado "fósforo disponível do fertilizante". Porém para prever a eficiência do fosfato não basta a estimativa de sua reatividade por extratores químicos; é necessário que sejam considerados, além da característica e composição do próprio fertilizante, também os fatores do solo (CHIEN, 1978b; ENGELSTAD e TERMAN, 1980), bem

como o efeito do tempo de contato e da intensidade da reação solo-fosfato (ENGELSTAD e TERMAN, 1980). Tais observações podem justificar os resultados apresentados na Tabela 11 e Apêndice 7 onde se verifica que a reatividade dos fosfatos estimada pelo ácido cítrico, citrato de amônio e água, são índices imprecisos para previsão do seu efeito no solo. Seria conveniente o teste de outros extratores, como o EDTA proposto por OLSEN (1975), Resina-H (CHIEN, 1978b) e outros, ou mesmo incluir a variável solo, ou característica dos solos como variáveis, usando equações de regressão de múltiplas variáveis, dada as facilidades oferecidas pela computação eletrônica.

4.2. Eficiência dos métodos de análise na avaliação do fósforo disponível e natureza dos fosfatos aplicados

Os resultados das análises de fósforo extraível dos três solos tratados com cinco fosfatos de diferentes naturezas, pré-, co- e pos-aplicados ao calcário, são apresentados nas Tabelas 12 a 17.

Os extratores ácidos, como o Carolina do Norte ($\text{HCl } 0,05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$) e o EDTA (ácido etileno diamino-tetracético), possuem uma maior capacidade de extração de fósforo do solo, que os demais métodos, quando o fosfato usado foi o concentrado Araxá ou o parcialmente acidulado, Tabelas 12 e

TABELA 11. Coeficientes de correlação entre quantidades de fósforo solúvel em ácido cítrico, citrato de amônio e água e o fósforo absorvido pelo sorgo, para cada solo e cada época de aplicação do corretivo da acidez

Solo	Época	Ác. cítrico	Citrato de amônio	Água
Bom Jesus	A	0,232 ns	0,254 ns	0,025 ns
	D	0,940**	0,960**	0,932**
	J	-0,190 ns	0,712*	0,687*
L V E	A	-0,423 ns	0,624 ns	0,791*
	D	0,884*	0,918**	0,971**
	J	-0,273 ns	-0,048 ns	0,162 ns
Paredão	A	0,598*	0,121 ns	-0,345 ns
	D	0,797**	0,879**	0,856**
	J	-0,645 ns	0,448 ns	0,818**

* $r < 0,05$; ** $r < 0,01$; ns = não significativo.

13. Porém, para os demais fosfatos pareceu haver uma uniformidade de extração. CAJUSTE e KUSSOW (1974) citam que a maior parte do fósforo absorvido pelas culturas resulta dos compostos secundários formados da reação solo-fertilizante e, embora o papel destas diferentes formas de fósforo do solo não esteja perfeitamente estabelecido na nutrição mineral de plantas, seria de se esperar que os maiores coeficientes de corre

TABELA 12. Fósforo extraído pelo método Carolina do Norte (ppm) nos três solos tratados com cinco fontes de fósforo, pré-, co- e pós-aplicadas ao corretivo da acidez (média das três repetições)

Época	Fonte	Solos		
		BJ	LVE	PV
A	AC	13,6	4,2	42,6
	PA	9,0	5,1	36,9
	SS	8,9	2,6	33,2
	TA	7,7	3,5	30,0
	TY	7,7	3,3	32,1
J	AC	11,3	3,7	46,5
	PA	6,6	1,8	34,6
	SS	8,8	5,3	36,7
	TA	8,3	3,0	34,6
	TY	10,2	4,5	33,3
D	AC	6,7	4,9	44,2
	PA	9,3	2,0	54,3
	SS	6,2	2,9	36,2
	TA	5,8	2,3	38,0
	TY	6,7	1,9	37,8
Testemunha		4,0	1,0	3,5

TABELA 13. Fósforo extraído com EDTA (ppm) nos três solos tratados com cinco fontes de fósforo, pré-, co- e pós aplicadas ao corretivo da acidez (média das três repetições)

Época	Fonte	Solos		
		BJ	LVE	PV
A	AC	6,3	3,3	46,3
	PA	5,5	2,8	30,8
	SS	3,0	1,8	33,5
	TA	2,6	1,0	32,3
	TY	3,7	1,0	36,7
J	AC	5,3	3,2	29,0
	PA	4,5	1,8	33,0
	SS	4,3	2,3	38,0
	TA	6,3	1,8	42,8
	TY	5,0	2,2	41,7
D	AC	6,7	3,2	38,5
	PA	3,6	2,3	41,0
	SS	3,3	2,3	41,5
	TA	3,3	1,7	47,0
	TY	3,7	1,7	49,5
Testemunha		1,3	1,0	2,3

TABELA 14. Fósforo extraído pelo método de Bray I (ppm) nos três solos tratados com cinco fontes de fósforo, pré-, co- e pós-aplicadas ao corretivo da acidez (média das três repetições)

Época	Fonte	Solos		
		BJ	LVE	PV
A	AC	2,5	2,2	5,7
	PA	3,8	4,7	11,7
	SS	4,1	7,0	28,7
	TA	6,7	7,0	26,0
	TY	5,0	7,0	24,3
J	AC	3,2	3,2	5,5
	PA	6,3	4,0	9,7
	SS	12,2	7,1	26,7
	TA	8,8	3,9	30,0
	TY	8,3	5,8	26,7
D	AC	4,8	4,0	5,7
	PA	7,2	4,3	12,4
	SS	12,5	6,5	28,7
	TA	12,2	5,7	28,1
	TY	12,2	5,7	25,6
Testemunha		2,3	1,0	4,6

TABELA 15. Fósforo extraído pelo método de Olsen (ppm) nos três solos tratados com cinco fontes de fósforo, pré-, co- e pós-aplicadas ao corretivo da acidez (média das três repetições)

Época	Fonte	Solos		
		BJ	LVE	PV
A	AC	1,5	2,3	1,2
	PA	1,5	3,7	5,8
	SS	3,3	5,5	15,7
	TA	2,7	3,7	17,8
	TY	2,5	3,7	15,8
J	AC	1,8	2,7	1,3
	PA	3,7	3,5	3,5
	SS	6,0	5,8	13,5
	TA	3,8	5,8	15,5
	TY	4,9	5,8	13,2
D	AC	2,5	13,	1,7
	PA	2,5	1,3	6,0
	SS	6,0	7,7	14,8
	TA	7,7	6,2	15,3
	TY	6,6	5,7	9,3
Testemunha		1,8	1,0	1,2

TABELA 16. Fósforo extraído pelo NaOH 0,1N (ppm) nos três solos tratados com cinco fontes de fósforo, pré-, co e pós-aplicadas ao corretivo da acidez (média das três repetições)

Época	Fonte	Solos		
		BJ	LVE	PV
A	AC	6,3	3,2	6,8
	PA	8,7	4,5	13,5
	SS	12,6	6,5	22,8
	TA	15,3	5,9	27,4
	TY	8,7	6,3	20,2
J	AC	5,1	4,2	6,4
	PA	6,7	4,7	13,2
	SS	10,6	6,7	26,5
	TA	13,9	5,2	23,3
	TY	11,1	4,9	24,5
D	AC	5,1	3,9	6,4
	PA	6,7	5,9	13,2
	SS	10,6	8,3	23,8
	TA	9,6	6,2	25,7
	TY	9,2	6,5	23,2
Testemunha		4,2	2,6	5,5

TABELA 17. Fósforo extraído pela Resina de Troca Aniônica Saturada com bicarbonato nos três solos tratados com cinco fontes de fósforo, pré-, co- e pós-aplicadas ao corretivo da acidez (média das três repetições)

Época	Fonte	Solos		
		BJ	LVE	PV
A	AC	5,1	3,8	2,8
	PA	7,3	4,7	5,5
	SS	11,7	6,8	14,7
	TA	14,4	9,0	16,4
	TY	9,3	7,9	10,7
J	AC	5,3	3,5	2,7
	PA	5,9	4,9	4,0
	SS	12,1	12,4	17,3
	TA	11,9	9,4	22,0
	TY	9,9	8,0	13,5
D	AC	5,7	2,5	2,4
	PA	8,0	3,9	4,4
	SS	12,5	10,7	17,9
	TA	13,5	8,4	24,2
	TY	10,9	7,0	13,7
Testemunha		3,9	2,3	2,5

lação, entre o fósforo extraído pelo método e o absorvido pelas plantas, fossem obtidos quando a fração extraída representasse a fração absorvida. De acordo com THOMAS e PEASLEE(1973) e BRAGA (1980), os extratores ácidos teriam a propriedade de aumentar a solubilidade dos fosfatos básicos do solo, apatitas, ocorrentes ou adicionadas, superestimando o fósforo disponível. Por isso, deduz-se que a maior capacidade de extração, destes métodos, tenha ocorrido por causa da baixa reatividade de fosfato concentrado Araxá, e da fração não acidulada do fosfato parcialmente solubilizado nos solos, justificando os baixos coeficientes de correlação, embora significativos, Tabela 18, obtidos entre o fósforo extraído pelos métodos Carolina do Norte e EDTA e a quantidade de matéria seca produzida e fósforo absorvido pelo sorgo. Observações semelhantes foram feitas por DOLL *et alii* (1960), BARNES e KAMPRATH (1975), KORDORFNER (1978), FEITOSA e VAN RAIJ (1976), FEITOSA e BITTENCOURT (1981). As quantidades extraídas por ambos os métodos foram maiores no solo Paredão Vermelho que nos solos Bom Jesus e LVE, o que pode ser atribuído a maior capacidade de retenção de fósforo destes solos e da conseqüente maior readsorção - precipitação dos fosfatos e os componentes dos solos solubilizados durante os processos de extração.

VAN RAIJ (1978) destaca que nas condições brasileiras o uso de métodos com extratores ácidos torna-se restrito devido, primeiramente, a utilização crescente de fosfatos naturais como fertilizante e, em segundo lugar, por que a

TABELA 18. Coeficiente de correlação geral entre matéria seca produzida e fósforo absorvido pelo sorgo cultivado em vasos e a quantidade extraída pelos métodos de análise, nos três solos e três épocas de aplicação dos fosfatos

Métodos	M.S.	P-absorvido
Carolina do Norte	0,59**	0,58**
EDTA	0,63**	0,63**
Bray I	0,83**	0,87**
Olsen	0,83**	0,86**
NaOH 0,1 N	0,80**	0,87**
Resina de Troca Aniônica	0,74**	0,78**

** $r < 0,01$

reserva de fósforo lábil nos solos ácidos é formada, em grande parte, por fosfatos de alumínio, sendo preferível, então, extratores ou métodos que tenham maior ação em dissolver esta fração. Porém, quando se eliminou os tratamentos com fosfato concentrado Araxã e parcialmente acidulado dos dados para obtenção dos coeficientes de correlação, entre fósforo absorvido e fósforo extraído pelos métodos Carolina do Norte e EDTA, estes passaram de 0,58 e 0,63 para 0,82 e 0,80 respectivamente, Apêndice 14, indicando que quando os fertilizantes utilizados nas adubações são mais solúveis e as reações solo-fertilizante são completadas, o método Carolina do Norte pode ser utilizado satisfatoriamente. SHELTON e COLEMAN (1968), DOLL *et alii* (1960), CAJUSTE e KUSSOW (1974) e ANGHINONI (1972) obti-

veram boas correlações entre fósforo absorvido e extraído pelo método Carolina do Norte quando usaram fosfatos solúveis, ou de rápida reação no solo, como fonte de fósforo, sob as mais diferentes condições de solos e culturas. BALERDI *et alii* (1968) observaram que em solos onde ocorrem predominantemente Ca-P, o método Carolina do Norte tem maior capacidade de extração de fósforo, mas os coeficientes de correlação mais altos, entre fósforo extraído e absorvido, foram encontrados nos solos em que predominavam Fe-P e Al-P.

OLSEN (1975) destaca a eficiência do ácido etileno diaminotetracético na extração de fósforo disponível para plantas, mesmo quando para estimar a eficiência de fosfatos naturais. Porém, no presente trabalho o uso de EDTA como extrator, Tabela 13 e 18, apresentou baixos coeficientes de correlação, embora significativos, quando se manteve os dados obtidos com fosfato natural e parcialmente acidulado. Por isso seu comportamento como extrator de fósforo pode ser equiparado ao do Carolina do Norte, com a desvantagem de ter menor capacidade de extração em solos mais argilosos, possivelmente pela maior intensidade dos processos de readsorção - precipitação, uma vez que o período de contato solo:extrator é de 24 horas, mas mesmo assim, os coeficientes de correlação entre as quantidades de fósforo extraídas por ambos os métodos são altos, $r = 0,95$, Tabela 19, permitindo deduzir que as quantidades extraídas se não são iguais, são, pelo menos, proporcionais, dissolvendo frações semelhantes de fosfatos do solo.

TABELA 19. Coeficientes da correlação geral obtidos entre as quantidades de fósforo extraídos pelos métodos de análise química entre si

Métodos	Carol.	EDTA	Bray	Olsen	NaOH	Resina
Carol.	-	0,95**	0,63**	0,54**	0,65**	0,34**
EDTA	0,95**	-	0,68**	0,59**	0,68**	0,39**
Bray	0,63**	0,68**	-	0,95**	0,94**	0,84**
Olsen	0,54**	0,59**	0,95**	-	0,90**	0,84**
NaOH	0,65**	0,68**	0,94**	0,90**	-	0,80**
Resina	0,34**	0,39**	0,84**	0,84**	0,80**	-

** $r < 0,01$.

O método de Bray I ($\text{HCl } 0,025\text{N} + \text{NH}_4\text{F } 0,03\text{N}$), tem amplo emprego na determinação de fósforo disponível em solos. A combinação do HCl com o NH_4F é adequada para dissolver as formas de fósforo facilmente solúveis em ácidos, como os fosfatos de cálcio que não apatitas e fosfatos de alumínio e ferro, componentes do fósforo lábil dos solos. Embora seja um extrator ácido, ele não dissolve porções significativas de fosfatos de rocha de baixa reatividade nos solos (CHIEN, 1978c; SHINDE *et alii*, 1978b; BARNES e KAMPRATH, 1975; SALOMAN e SMITH, 1956; SMITH *et alii*, 1957; REINHORN e HAGIN, 1978; VAN RAIJ e VANDIEST, 1980). Os resultados apresentados na Tabela 14 confirmam estas observações. Os coeficientes de correlação obtidos entre fósforo absorvido pelo sorgo e extraído pelo m

todo, Tabelas 18 e 20, destacam-no como o método mais adequado para estimativas do fósforo disponível em solos que receberam fertilização com fosfatos de diferentes naturezas. Assim, este método parece discriminar satisfatoriamente o fósforo disponível dos solos, independente do tipo de fertilizante usado, época de aplicação e características dos solos, Tabelas 14, 18, 20 e Apêndices 8 à 14. Os coeficientes de correlação obtidos entre as quantidades de fósforo extraídas pelo método Bray I e dos métodos Carolina do Norte e EDTA, permitem inferir que as formas de fósforo dissolvidas, se forem semelhantes não são proporcionais, Tabela 19, mas dados os coeficientes da Tabela 18, o método de Bray é mais adequado que os dois anteriormente citados para estimar fósforo disponível em solos de diferentes características, concordando com resultados de BALERDI *et alii* (1968).

O método de Olsen (NaHCO_3 0,5N, pH 8.5) tem sido preferido por muitos pesquisadores dado os altos coeficientes de correlação obtidos nas respostas das plantas à fertilização fosfatada.

SHINDE *et alii* (1978b), SMYTH e SANCHEZ (1982), VAN RAIJ e VANDIEST (1980), KORNDORFER (1978), SARANGAMATH *et alii* (1977), FEITOSA e VAN RAIJ (1976) usaram o método de Olsen para estimar o fósforo disponível no solo tratado com fosfatos das mais diferentes características de solubilidade, observando sempre altos coeficientes de correlação entre o fósforo extraído pelo método e o absorvido pelas plantas, ou o

TABELA 20. Coeficientes de correlação entre fósforo absorvido pelo sorgo e extraído pelos métodos em três solos tratados com cinco fosfatos, pre-, co- e pós-aplicados ao corretivo da acidez

Métodos	Épocas de aplicação		
	A	D	J
Carolina do Norte	0,71	0,64	0,43
EDTA	0,76	0,75	0,38
Bray I	0,94	0,94	0,77
Olsen	0,95	0,91	0,76
Na.OH 0,1N	0,86	0,95	0,80
Resina de Troca Aniônica	0,62	0,89	0,78

rendimento dos cultivos. VAN RAIJ (1978) numa revisão sobre métodos de laboratório para avaliar disponibilidade de fósforo em solos, destaca o método de Olsen por sua superioridade, e versatilidade em diferentes condições de solos para este tipo de estimativa. Também BALLERDI *et alii* (1968) encontrou altos coeficientes de correlação entre o fósforo extraído pelo método de Olsen e as formas de fósforo ocorrentes, sua utilização pela planta e seu rendimento relativo em 86 solos da América Central.

Os resultados apresentados na Tabela 15 e os coeficientes de correlação da Tabela 18, mostram a adaptabili

dade do método de Olsen, na estimativa do fósforo disponível do solo e, mesmo, na avaliação qualitativa do efeito de diferentes fosfatos na disponibilidade de fósforo para solos e cultura estudados.

O método que usa NaOH como extrator parece dissolver os fosfatos ligados a Fe e Al (BRAGA, 1980; THOMAS e PEASLEE, 1973), por isso alertam BALERDI *et alii* (1968) que este método pode extrair quantidades consideráveis de fósforo em solos com predominância nesses fosfatos, o que determinaria baixos índices de correlação. Mas ZAGO e KAMINSKI (1979) usaram-no para estimar as quantidades de diferentes fertilizantes que reagiram no solo, com relativo sucesso, pois houve proporcionalidade entre fósforo extraído e rendimento de matéria seca das plantas.

Os resultados das Tabelas 16 e 18, indicam que a extração de fósforo com NaOH 0,1N é adequada para estimar o fósforo disponível, pois seus coeficientes de correlação são similares aos obtidos para os métodos de Bray I e Olsen. Inclusive, as quantidades de fósforo extraídos pelos três métodos são similares ou, pelo menos, proporcionais, como atestam os coeficientes de correlação apresentados na Tabela 19.

Como se observa, Tabela 19, os métodos de Bray I, Olsen e NaOH 0,1N foram similares na sua ação sobre os fosfatos ocorrentes, nos solos e nas situações estudadas. Porém, como os dois últimos são soluções fortemente alcalinas, tem ação dispersante e peptizante (THOMAS e PEASLEE, 1973) sobre

a argila e a matéria-orgânica, tem limitadas suas possibilidades de adaptação a análise de rotina, pois devem ser usados tratamentos adicionais como floculantes, clarificantes etc., que podem facilmente se transformar em agentes de contaminação, pela sua própria composição, se não forem tomados cuidados extraordinários. Por esta razão, o método de Bray I pode ser classificado como o método mais adequado dentre estes, para utilização em análises de solo para estimativas de fósforo disponível.

Os dados da Tabela 17 mostram as quantidades de fósforo extraído pela Resina de Troca Aniônica (RTA) nos três solos tratados com cinco fosfatos pré-, co- e pós - aplicados ao calcário. Os coeficientes de correlação obtidos entre estas quantidades extraídas pela RTA e matéria seca produzida ou fósforo absorvido pelo sorgo cultivado nestes solos são apresentados nas Tabelas 18 e 20. Estes coeficientes apresentam valores intermediários, mais baixos que os obtidos para os métodos de Bray I, Olsen e NaOH 0,1N, e mais altos que os obtidos para os métodos que usam extratores ácidos. VAN RAIJ (1978) destaca a superioridade da RTA, sobre os demais métodos, na valiação da disponibilidade de fósforo em solos. No seu resumo dos dados coletados desde 1953 até 1977, mostra uma razoável variação no R^2 , mostrando situações em que a RTA é superior aos métodos usados para comparações, especialmente da aqueles que usam extratores de ácidos diluídos, mas há situações em que os métodos de Bray I e Olsen mostraram-se superio-

res a RTA. VAN RAIJ e VANDIEST (1980), trabalhando com oxisol e com cinco fosfatos, quatro naturais e superfosfato triplo, testando quatro métodos de análise, obteve altos coeficientes de correlação com RTA. PALMA e FASSBENDER (1970) trabalhando com quarenta amostras superficiais de solos da América Central, destacam que devido as altas correlações obtidas pelo método da RTA, quando comparada com outros métodos, indicam que esta é a melhor forma de avaliação do fósforo disponível de solos.

Quando se correlaciona as quantidades de fósforo extraído pelos diferentes métodos, Tabela 19, observa-se que os métodos aqui usados podem ser sub-divididos em dois grupos, os que usam extratores ácidos e os demais. Os primeiros podem ser considerados inadequados, ou pouco eficientes, para avaliação do fósforo disponível em solos tratados com fosfatos naturais ou parcialmente acidulados, Tabela 18, porém para os demais métodos pode-se admitir um comportamento similar, dados os altos coeficientes de correlação entre eles, Tabela 19. Portanto, a escolha ou preferência por qualquer destes métodos dependerá de sua adaptabilidade à análise em laboratórios de rotina, mais do que a alta eficiência do extrator.

Dadas as características de dissoluções dos fosfatos ocorrentes nos solos e os extratores químicos usados, propostas por THOMAS e PEASLEE (1973) e BRAGA (1980), e as considerações de SAMPLE *et alii* (1980), seria de se esperar que os métodos apresentassem coeficientes de correlação similares, qualquer que fosse a época de adição do fosfato ao solo.

Porém, nos dados da Tabela 20, observa-se que quando os fosfatos foram co-aplicados ao corretivo da acidez, os coeficientes de correlação foram inferiores aos das demais situações. Tal situação pode ter ocorrido por causa da própria dinâmica da reatividade dos fosfatos e de seus produtos iniciais de reação no solo. Pois, como relatam ainda SAMPLE *et alii* (1980), o fosfato dicálcio dihidratado que representa quase 90% do P_2O_5 adicionado junto com o calcário, não é um produto final da reação, mas um intermediário, talvez metaestável, ou mesmo instável, na situação geral do solo e os óxidos de ferro e alumínio permanecem ativos em remover o fósforo da solução, dependendo das características do meio. Mais ainda, dada as dificuldades de se estabelecer a magnitude das reações, bem como sua cinética, é possível que a absorção de fósforo pelas plantas fosse controlada inicialmente pelo fosfato dicálcio, mas como prosseguiram suas reações nos solos, e as amostras para análise foram retiradas após a colheita do experimento e secagem do solo, o fósforo então determinado não representaria inteiramente aquele que foi absorvido pelas plantas, mas o componente do fósforo lábil existentes no momento da análise. Como as reações no solo do fertilizante e do calcário não foram concomitantes nas outras duas situações, os compostos extraídos pelos métodos poderiam representar os absorvidos pelas plantas.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nas condições do presente trabalho pode-se concluir que:

- A eficiência dos fosfatos artificiais no suprimento de fósforo para o sorgo obedeceu a ordem: superfosfato simples = termofosfato 0581 Arafertil > termofosfato magnésiano Yóorin > fosfato Araxã parcialmente acidulado.
- Os tipos de solos e a época de aplicação do fosfato em relação ao calcário interagiram na capacidade de suprimento de fósforo para o sorgo, dos fosfatos artificiais.
- Os maiores rendimentos de matéria seca e fósforo absorvido nos solos argilosos obtidos quando os fosfatos foram co-aplicados ao calcário indicam que esta é a melhor época da adubação fosfatada, enquan-

to que em solos arenosos o fosfato pode ser aplicado precedendo, junto ou sucedendo o calcário.

- Os fosfatos não devem ser aplicados precedendo a calagem em solos argilosos.
- O fósforo extraído nos três solos tratados com cinco fosfatos correlacionam significativamente, com fósforo absorvido pelo sorgo, para os métodos Carolina do Norte, EDTA, Bray I, Olsen, NaOH 0,1N e Resina de Troca Aniônica.
- A quantidade de fósforo absorvido pelo sorgo e o extraído pelos métodos apresentou os coeficientes de correlação linear: Bray I 0,87; NaOH 0,1N 0,87; Olsen 0,86; Resina de Troca Aniônica 0,78; EDTA 0,63; Carolina do Norte 0,58.
- Os maiores coeficientes de correlação linear entre fósforo absorvido e extraído foram obtidos quando os fosfatos foram pós-aplicados ao calcário em 90 dias.
- Os métodos mais adequados para estimativa de fósforo "disponível" são os de Bray I, Olsen, Resina de Troca Aniônica e o que usa NaOH 0,1N como extrator; independentemente do tipo de solo e do fertilizante fosfatado utilizado.

6. LITERATURA CITADA

- AGUILAR, S.A. e A. VAN DIEST 1981. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. Plant Soil, Hague, 51: 27-42.
- ALCARDE, J.C. e C.O. PONCHIO, 1979. Ação solubilizante das soluções de citrato de amônio e do ácido cítrico sobre os fertilizantes fosfatados. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 3: 173-178.
- ALCARDE, J.C. e C.O. PONCHIO, 1980. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 4: 196-200.
- ALCARDE, J.C. e A.O. JACINTHO, 1980. Comparação entre três critérios de laboratório para avaliar o fósforo insolúvel em água dos fertilizantes. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 4: 201-203.

- ANGUINONI, I., 1972. Relação do fósforo com as características dos solos do Rio Grande do Sul e avaliação de sua disponibilidade por métodos químicos. 108f. Tese (Mestr. Agr. Solos). Fac. Agron., UFRGS, Porto Alegre. [Não publicado]
- ASHBY, D.L.; N.E. FENSTER e O.J. ATTOE, 1966. Effect of partial acidulation and elemental sulfur on availability of phosphorus in rock phosphate. Agron. J., Madison 58: 621-625.
- BALERDI, F.; MÜLLER e H.W. FASSBENDER, 1968. Estudio del fósforo en suelos de America Central. III. Comparacion de cinco métodos químicos de analisis de fósforo disponible. Turrialba, Turrialba, 18: 348-360.
- BARRETO, A.C., 1977. Efeitos da acidulação parcial, de mistura com superfosfato triplo e enxofre e da granulação na eficiência de fosfatos naturais. 64f. Tese (Mestr. Agron. Solos). Fac. Agron., UFRGS, Porto Alegre. [Não publicado]
- BARNES, J.S. e E.J. KAMPRATH, 1975. Availability of North Carolina rock phosphate applied to soils. North Carolina Agri. Exp. Sta., USA, 22p. (Tech. Bull. 229).
- BIXBY, D.W. Sulfur requirements of the phosphate industry. In: KHASANNEH, F.E.; E.C. SAMPLE e E.J. KAMPRATH, (ed.). The Role of Phosphorus in Agriculture, Madison, Amer. Soc. Agron. Inc., Cap. 5, p.129-150.
- BRAGA, N.R.; H.A. MASCARENHAS; C.T. FEITOSA; R.HIROCE e B. VAN RAIJ, 1980. Efeito de fosfatos sobre o crescimento e produção da soja. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 4: 36-39.

- BRAGA, J.M., 1980. Avaliação da fertilidade do solo (Análise Química). II. Parte. Viçosa, Imp. Univ. da Univ. Fed. Viçosa. 80p. (Boletim 48).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, 1960. Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro. 634p. (Boletim Técnico, 12).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 431p. (Boletim Técnico, 30).
- CAJUSTE, L.J. e W.R. KUSSOW, 1974. Use and limitation on the North Carolina method to predict available phosphorus in some oxisols. Trop. Agric, Trinidad, 51: 248-252.
- CANTARUTTI, R.B.; J.H. BRAGA; R.F. NOVAIS e J.T.L. THIEBAUT, 1981. Época de aplicação de fosfato natural em relação a calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 5: 129-133.
- CHIEN, S.H., 1977. Thermodynamic considerations on the solubility of phosphate rock. Soil Sci., Baltimore, 123: 117-121.
- CHIEN, S.H., 1978a. Reactions of phosphate rocks, Rhenania phosphate, and superphosphate with an Acid Soil. Soil Sci. Soc. Amer. J., Madison, 42: 705-708.
- CHIEN, S.H., 1978b. Dissolution of phosphate rocks in solutions and soils. In: International Fertilizer Development Center (ed.). Seminar on Phosphate Rock for direct application. Haifa, Israel, p.97-129.

- CHIEN, S.H., 1978c. Interpretation of Bray I - extractable phosphorus from acid soil treated with phosphate rocks. Soil Sci, Baltimore, 126: 34-39.
- CHIEN, S.H. e G.H. McCLELLAN, 1977. Variation of the Apatite Composition in Phosphate Rock and its relationship to rock's chemical reactivity and agronomic effectiveness. Conference on classification and management of Tropical Soils, Malaysia Soc. Soil Sci., Kuala Lumpur. Malaysia. 25p. |Datilografado| /
- CHIEN, S.H.; L.A. LEON e H.R. TEJADA, 1980. Dissolution of North Carolina phosphate rock in acid colombian soil as related to soil properties. Soil Sci. Soc. Amer. Journ. Madison, 44: 1267-1271.
- CHU, C.R.; W.W. MOSCHLER e G.W. THOMAS, 1962. Rock phosphate transformations in acid soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 26: 476-478.
- DASH, R.N.; S.K. MOHANTY e S. PATNAIK, 1981. Efficiency of HCl - and H₂SO₄ - acidulated rock phosphates for a rice based cropping system. Fert. Res., Hague, 2: 109-118.
- DOLL, E.C.; H.F. MILLER e J.F. FREEMAN, 1960. Initial and residual effects of tock phosphate and superphosphate. Agron. J., Madison, 52: 247-250.
- DYNIA, J.F., 1977. Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência de adubos fosfatados. 61f. Tese (Mestr. Agron. - Solos) Fac. Agron., UFRGS, Por to Alegre. |Não publicado|

- ELLIS Jr., R.; M.A. QUADER e E. TRUOG, 1955. Rock phosphate availability as influenced by soil pH. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 19: 484-487.
- ENGELSTAD, O.P. e G.L. TERMAN, 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In: KHASANNEH, F.E.; E.C. SAMPLE e E.J. KAMPRATH (ed.). The role of phosphorus in Agriculture. Madison, Amer. Soc. Agron. Inc. Cap. 12, p.311-332.
- FENSTER, W.E. e L.A. LEON, 1978. Utilization of phosphate rock in tropical soils of Latin America. In: International Fertilizer Development Center (ed.). Seminar on Phosphate Rock for Direct Application. Haifa, Israel, p.174-210.
- FEITOSA, C.T.; B. VAN RAIJ; A.R. DECHEN e J.C. ALCARDE, 1978. Determinação preliminar da eficiência relativa de fosfatos, para trigo, em casa de vegetação. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2: 193-195.
- FEITOSA, C.T. e V.C. BITTENCOURT, 1981. Disponibilidade do fósforo ao solo na forma de diferentes fosfatos. Energ. Nucl. Agric., Piracicaba, 3: 110-136.
- FEITOSA, C.T. e B. VAN RAIJ, 1976. Influência da natureza de fosfatos aplicados a dois solos no fosfato solúvel em extratores químicos e disponível para trigo e milho. Congresso Bras. Ciência do Solo (Anais do XV), 1975. Soc. Bras. Ciência do Solo, Campinas, p.215-220.
- FERREIRA, T.N. e J. KAMINSKI, 1979. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais de Patos-Minas e Gafsa, puros e modificados por acidulação e calcinação. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 3: 158-162.

- FINE, L.O. e R.P. BARTHOLOMEW, 1947. The fate of rock and superphosphate applied to a Red Podzolic Soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 11: 195-197.
- FRANCO, M., 1977. Fosfatos Naturais parcialmente acidificados com H_3PO_4 , HCl e H_2SO_4 na cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), em um solo de cerrado de Ituiutaba - MG. 75f. Tese (Mestr. Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. |Não publicado|
- GARBOUCHEV, I.P., 1981. The manufacture and agronomic efficiency of a partially acidulated phosphate rock fertilizer. Soil Sci. Soc. Amer. Journ., Madison 45: 970-974.
- GOEDERT, W.J. e E. LOBATO, 1979. Projeto de avaliação dos fosfatos naturais brasileiros. Relatório - CPAC/EMBRAPA. Brasília. 132p. |Não publicado|
- GREMILLION, L.R. e J.R. LEHR, 1976. Characterization of phosphate rock sample from Araxã Brazil. Division of chemical Development, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama. 10p. |Datilografado|
- GROSS BRAUN, W., 1980. Relações fosfato-solo-planta e termofosfatos. Fertilizantes, IPT, São Paulo, 2: 3-8.
- HAMMOND, L.L.; S.H. CHIEN e J.R. POLO, 1980. Phosphorus availability from partial acidulation of two phosphate rocks. Fert. Res., Hague 1: 37-49.
- HAORE, J., 1980. Phosphate raw materials and fertilizers. Part II - A case history of marginal raw materials. In: KHASAWNEH, F.E.; E.C. SAMPLE e E.J. KAMPRATH (ed.). The role of Phosphorus in Agriculture, Madison, Amer. Soc. Agron. Inc. Cap. 4, p.128.

- HOWELER, H.R. e C.M. WOODRUFF, 1968. Dissolution and availability to plants of rock phosphate of igneous and sedimentary origins. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 32: 79-82.
- JUO, A.S.K. e B.T. KANG, 1978. Availability and transformation of rock phosphates in three forest soils from Southern Nigeria. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 9: 493-505.
- KAMINSKI, J., 1974. Fatores de acidez e necessidade de cálcio de solos do Rio Grande do Sul. 105f. Tese (Mestr. Agr. Solos). Fac. Agronomia, UFRGS, Porto Alegre. [Não publicado].
- KAMINSKI, J. e T.N. FERREIRA, 1978. Substituição de P_2O_5 solúvel em água por P_2O_5 de fosfato natural em mistura de fertilizantes. Rev. Centro Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria, 8: 313-325.
- KHASAWNEH, F.E. e E.C. DOLL, 1978. The use of phosphate rocks for direct applications to soils. Advan. Agron, Academic Press Inc., New York, 30: 159-206.
- KORNDORFER, G.H., 1978. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo. 67 p. Tese (Mestr. Agron. - Solos). Teses e Monografias. Sec. Coord. Plan. - Governo do Estado do Rio Grande do Sul. FDRH. CEBRAE/PNTE, Porto Alegre.
- LEHR, J.R. e G.H. McCLELLAN, 1972. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application. Muscle Shoals, Alabama, National Fertilizer Development Center. 36p. (Bulletin, Y-43).

- LE MARE, P.H., 1975. A method for reparting the hydrolisis products of monocalcium phosphate to test their effects on soils and crops. J. Sci. Fd. Agric., Oxford, 26: 675-679.
- LINDSAY, W.L. e H.F. STEPHENSON, 1959. Nature of the reactions of monocalcium phosphate in soils. IV. Repeated reactions with metastable triple-point solution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 23: 440-445.
- LUTZ Jr., J.A., 1971. Comparision of parcially acidulated rock phosphate and concentrated superphosphate as sources of phosphorus for corn. Agron. Jour., Madison 63: 919-922.
- McCLELLAN, G.H., 1978. Meneralogy and Reactivity of Phosphate Rock. In: International Fertilizer Development Center (ed.) Seminar on Phosphate Rock for direct Application. Haifa, Israel, p.57-81.
- McCLELLAN, G.H. e L.R. GREMILLION, 1980. Evaluation of phosphatic row materials. In: KHASANNEH, F.E.; E.C. SAMPLE e E.J. KAMPRATH (ed.). The Role of Phosphorus in Agriculture. Madison, Amer. Soc. Agron. Inc. Cap. 3, p.43-80.
- McLEAN, E.O. e T.S. LOGAN, 1970. Sources of phosphorus for plants grow in soils with differing phosphorus fixation tendencies. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 34: 907-911.
- McLEAN, E.O. e R.W. WHEELER, 1964. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants. I. Growth chamber studies. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 28: 545-550.
- McLEAN, E.O.; R.W. WHEELER e L.D. WATSON, 1965. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants. II. Growth chamber and field corn studies. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 29: 625-628.

- MIELNICZUK, J.; A. LUDWICK e H. BOHNEN, 1969. Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Fac. Agron., UFRGS. 38p. (Boletim Técnico, 2).
- MILAN, P.A., 1981. Efeitos imediatos e residuais do superfosfato triplo em solos do Rio Grande do Sul. 88f. (Mestr. Agron. - Solos). Fac. Agron., UFRGS, Porto Alegre. [Não publicada].
- MINHAS, R.S. e H. KICK, 1974. Comparative availability of superphosphate and rock phosphate and their distribution into different inorganic phosphate fractions after addition of heavy doses. Fert. News, New York 19: 12-16.
- MOKWUNYE, A.U. e S.H. CHIEN, 1980. Reaction of partially acidulated phosphate rock with soils from tropics. Soil Sci. Soc. Amer. Jour., Madison, 44: 477-482.
- MOSCHLER, W.W.; R.D. KREBS e S.S. OBENSHAIN, 1957. Availability of residual phosphorus from long time rock phosphate and superphosphate applications to groseclose silt loam. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 11: 195-197.
- NELLER, J.R. e F.D. BARTLETT, 1957. Effect of particle size on availability and mobility of fused tricalcium phosphate and rock phosphate with other phosphates in contrasting soil types. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 21: 189-192.
- NOVAIS, R.F.; J.M. BRAGA, C.A.S. MARTINS Fº, 1980. Efeito do tempo de incubação do fosfato-de-Araxá em solos sobre o fósforo disponível. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 4: 153-155.

- OLSEN, R.A., 1975. Rate dissolution of phosphate from minerals and soils. Soil Sci. Soc. Amer. J., Madison, 39: 634-639.
- PALMA, G. e H.W. FASSBENDER, 1970. Estudio del fósforo en suelo de America Central. V. Uso de resinas de intercambio para evaluar la disponibilidad de P. Turrialba, Turrialba, 20: 279-287.
- PANDA, N. e U.K. MISRA, 1970. Use of partially acidulated rock phosphate as a possible means of minimising phosphate fixation in acid soils. Plant Soil, Hague, 33: 225-234.
- REINHORN, T.; J. HARIN e S. AXELROD, 1978. Relation of phosphate rock availability to some soil properties and cultivation time. In: International Fertilizer Development Center (ed.). Seminar on Phosphate rock for direct Application. Haifa, Israel, p.234-245.
- REINHORN, T. e J. HAGIN, 1978. Reactions of a phosphate rock with soil. In: Internacional Fertilizer Development Center (ed.). Seminar on Phosphate Rock for direct Application. Haifa, Israel, p.211-22.
- SALOMON, M. e J.B. SMITH, 1956. Residual soil phosphorus from various fertilizer phosphates extracted by different solvents. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 20: 33-36.
- SAMPLE, E.C.; R.J. SOPER e G.J. RACZ, 1980. Reactions of phosphate fertilizer in soils. In: KHASAWNEH, F.C.; E.C. SAMPLE e E.J. KAMPRATH (ed.). The Role of Phosphorus in Agriculture, Madison, Amer. Soc. Agron. Inc., Cap. 11. p.263-310.

- SARANGAMATH, P.A.; B.N. SHINDE e S. PATNAIK, 1977. ^{32}P tracer studies on the methods of increasing the efficiency of citrate soluble and insoluble phosphate for rice on acid soil. Soil Sci., Baltimore 124: 40-44.
- SARRUGE, R. e H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 56p.
- SHELTON, J.E. e N.T. COLEMAN, 1968. Inorganic phosphorus fractions and their relationship to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 32: 91-94.
- SHINDE, B.N.; P.A. SARANGAMATH e S. PATNAIK, 1978a. Efficiency of HCl - and H₂SO₄ - acidulated rock phosphate for rice (*Oryza sativa* L.) on acid soils. Plant Soil, Hague, 50: 575-584.
- SHINDE, B.N.; P.A. SARANGAMATH e S. PATNAIK, 1978b. Phosphorus transformations from rock phosphates in acid soils and measures for increasing their efficiency for growing rice (*Oryza sativa* L.). Plant Soil, Hague 49: 449-459.
- SIQUEIRA, O.J.F.; H.R. BARTZ e SHOLLES, D., 1976. Determinação da eficiência relativa de fertilizantes fosfatados. I. Informe sobre efeito imediato, Trigo. VIII Reunião Anual Conjunta da Pesquisa de Trigo. Ponta Grossa, Paraná. Anais.. p.41-49.
- SMITH, F.W.; B.G. ELLIS e J. GRAVA, 1957. Use of acid-fluoride solutions for the extraction of available phosphorus in calcareous soils and in soil to which rock phosphate has been added. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 21: 400-404.

- SMYTH, T.J. e P.A. SANCHEZ, 1982. Phosphate rock dissolution and availability in cerrado soils as affected by phosphorus sorption capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 46: 339-345.
- SOUZA, J., 1977. Fosfatos naturais como fontes de fósforo, em diferentes períodos de incubação em dois solos. 55f. Tese (Metr. - Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- TERMAN, G.L.; E.C. MORENO e G. OSBORN, 1964. Acidulation of phosphate rock in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 28: 104-107.
- TERMAN, G.L. e S.E. ALLEN, 1967. Response of corn to phosphorus in underacidulated phosphate rock and rock - phosphate fertilizers. J. Agr. Food Chem. Oxford, 15: 354 - 358.
- THOMAS, G.W. e D.E. PEASLEE, 1973. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.M. e J.D. BEATON (ed.). Soil Testing and plant analysis. Madison, Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Cap. 9, p.115-132.
- VAN DER PAAUW, F., 1965. Factors controlling the efficiency of rock phosphates for potatoes and rye on humic sandy soils. Plant Soil, Hague, XXII: 81-98.
- VAN RAIJ, B., 1978. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2: 1-9.
- VAN RAIJ, B. e VAN DIEST, 1979. Utilization of phosphate from different source by six plant species. Plant Soil, Hague 51: 577-589.

- VAN RAIJ, B. e A. VANDIEST, 1980. Phosphate supplying power of rock phosphate in an oxisol. Plant Soil, Hague, 55: 97-104.
- VOLKWEISS, S.J. e B. VAN RAIJ, 1977. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: Simpósio sobre o Cerrado, 4º, Brasília, 1976. Bases para utilização agropecuária, Belo Horizonte, Itatiaia, p.317-332.
- WAGGAMAN, W.H. e V. SANCHELLI, 1969. Superphosphate, its manufacture and properties. In: WAGGAMAN, W.H. (ed.). Phosphoric acid, phosphates and phosphatic fertilizer. American Chemical Society. Monograph Series. Second Edition. Hafner Publishing Co., New York, p.238-289.
- YOUNG, R.D. e C.H. DAVIS, 1980. Phosphate Fertilizers and Process Technology. In: KASAWNEH, F.E.; E.C. SAMPLE e E.J. KAMPRATH (ed.). The role of phosphorus in Agriculture. Madison, Amer. Soc. Agron. Inc. Cap. 7, p.195-226.
- ZAGO, A. e J. KAMINSKI, 1979. Eficiência de fertilizantes fosfatados no suprimento de fósforo numa sucessão de cultivos em solos de diferentes características. Rev. Centro Ciências Rurais, UFSM, Sta. Maria, 9: 299-313.

7. APENDICE

APENDICE 1. Médias de matéria seca produzida e fósforo absorvido pelo sorgo como função da interação fosfato_época de aplicação

FONTE	ÉPOCA DE APLICAÇÃO	M.S. (g.vaso ⁻¹)	P-absorvido (mg-vaso ⁻¹)
AC	A	1,12	1,14
	D	0,93	0,81
	J	1,63	1,46
PA	A	2,32	2,37
	D	3,31	2,52
	J	5,04	5,11
SS	A	4,31	3,99
	D	5,67	6,18
	J	7,87	9,61
TA	A	4,27	4,71
	D	4,74	5,44
	J	7,09	7,25
TY	A	3,99	3,87
	D	4,54	4,07
	J	6,09	6,45
A ou dms (Tukey 1%)		0,85	1,50

APENDICE 2. Médias de matéria seca produzida e fósforo absorvido pelo sorgo cultivado em vasos como função da interação solo-fosfato

SOLO	FONTE	M.S. (g.vaso ⁻¹)	P-absorvido (mg.vaso ⁻¹)
BOM JESUS	AC	0,79	0,57
	PA	2,25	2,76
	SS	4,78	4,87
	TA	3,87	4,35
	TY	2,86	3,17
	Testemunha		
LVE	AC	1,13	0,87
	PA	2,83	2,32
	SS	3,44	3,09
	TA	2,54	2,45
	TY	2,48	2,36
	Testemunha		
PAREDÃO	AC	1,77	1,98
	PA	5,69	4,90
	SS	9,62	11,82
	TA	9,67	10,59
	TY	9,29	8,86
	Testeminha		
A ou dms (Tuckey 1%)		0,85	1,50

APÊNDICE 3. Médias de matéria seca produzida e fósforo absorvido pelo sorgo cultivado em vasos como função da interação solo-época de aplicação do fosfato em relação ao calcário

SOLO	EPOCA	M.S. (g.vaso ⁻¹)	P-absorvido (mg.vaso ⁻¹)
BOM JESUS	A	1,03	1,07
	D	2,38	2,02
	J	5,32	6,33
LVE	A	1,43	1,29
	D	1,99	1,64
	J	4,05	3,73
PAREDÃO	A	7,15	7,27
	D	7,21	7,45
	J	7,27	7,87
A ou dms (Tuckey 1%)		0,66	1,16

APÊNDICE 4. Médias de matéria seca produzida e fósforo absorvido em função da época de aplicação do calcário em relação ao calcário

EPOCA	M.S. (g.vaso ⁻¹)	P-absorvido (mg.vaso ⁻¹)
A	3,20	3,21
D	3,86	3,80
J	5,54	5,98
A ou dms (Tuckey 1%)		0,33
		0,56

APÊNDICE 5. Médias de matéria seca produzida e fósforo absorvida pelo sorgo cultivado em vasos como função das fontes de fósforo aplicadas aos três solos

FORTE	M.S. (g.vaso ⁻¹)	P-absorvido (mg.vaso ⁻¹)
AC	1,23	1,14
PA	3,59	3,33
SS	5,95	6,59
TA	5,37	5,80
TY	4,87	4,80
A ou dms (Tuckey 1%)	0,49	0,87

APÊNDICE 6. Médias de matéria seca produzida e fósforo absorvido pelo sorgo cultivado em vasos, como função dos tipos de solo

SOLOS	M.S. (g.vaso ⁻¹)	P-absorvido (mg.vaso ⁻¹)
BOM JESUS	2,91	3,14
LVE	2,49	2,22
PAREDÃO VERMELHO	7,21	7,63
A ou dms (Tuckey 1%)	0,33	0,56

APÊNDICE 7. Quantidades de fósforo solúvel em ácido cítrico , citrato de amônio e água adicionados aos solos e coeficientes de correlação entre estas e o fósforo absorvido pelo sorgo (médias dos três solos)

Solúvel em	P ₂ O ₅ adicionado g.vaso ⁻¹	Fósforo absorvido mg.vaso ⁻¹	Coefficiente r
Ácido cítrico	17	1,14	
	53	3,33	
	133	6,59	
	139	4,80	
	148	5,80	0,544**
Citrato de amônio	5	1,14	
	60	3,33	
	85	4,80	
	150	6,20	0,556**
Água	20	4,80	
	43	3,33	
	46	5,80	
	128	6,59	0,485**

APÊNDICE 8. Coeficientes de correlação, entre matéria seca (M.S.) produzida e fósforo absorvido pelo sorgo e a quantidade extraída pelos métodos de análise, no solo Bom Jesus tratado com cinco fosfatos pré-, co-, e pós-aplicado ao corretivo da acidez

Métodos	M.S.	P-absorvido
Carolina do Norte	0,136 ns	0,146 ns
EDTA	0,335 **	0,340 **
Bray I	0,786 **	0,700 **
Olsen	0,716 **	0,633 **
NaOH 0,1N	0,516 **	0,537 **
Resina de Troca Aniônica	0,644 **	0,569 **

APÊNDICE 9. Coeficientes de correlação, entre matéria seca (M.S.) produzida e a quantidade extraída pelo sorgo e a quantidade extraída pelos métodos de análise, no solo LVE tratado com cinco fosfatos pré- e pós-aplicado ao corretivo da acidez

Métodos	M.S.	P-absorvido
Carolina do Norte	0,273 *	0,309 *
EDTA	0,459 **	0,344 **
Bray I	0,589 **	0,548 **
Olsen	0,707 **	0,719 **
NaOH 0,1 N	0,539 **	0,489 **
Resina de Troca Aniônica	0,700 **	0,671 **

APÊNDICE 10. Coeficientes de correlação, entre matéria seca (M.S.) produzida e fósforo absorvido pelo sorgo e a quantidade extraída pelos métodos de análise, no solo Paredão Vermelho tratado com cinco fosfatos pré-, co- e pós-aplicados

Métodos	M.S.	P-absorvido
Carolina do Norte	0,401 **	0,374 **
EDTA	0,499 **	0,483 **
Bray I	0,835 **	0,893 **
Olsen	0,874 **	0,896 **
NaOH	0,846 **	0,917 **
Resina de Troca Aniônica	0,803 **	0,889 **

APÊNDICE 11. Coeficientes de correlação, entre matéria seca (M.S.) produzida e fósforo absorvido pelo sorgo e a quantidade extraída pelo método, nos três solos tratados com fosfatos pré-aplicados ao corretivo da acidez

Métodos	M.S.	P-absorvido
Carolina do Norte	0,708 **	0,713 **
EDTA	0,751 **	0,756 **
Bray I	0,977 **	0,942 **
Olsen	0,968 **	0,947 **
NaOH 0,1N	0,849 **	0,865 **
Resina de troca Aniônica	0,612 **	0,621 **

** probabilidade de $r < 0,01$

APÊNDICE 12. Coeficientes de correlação entre matéria seca (M.S.) produzida e fósforo absorvido pelo sorgo e a quantidade extraída pelo método, nos três solos tratados com fosfatos pós-aplicados ao corretivo da acidez

Métodos	M.S.	P-absorvido
Carolina do Norte	0,648 **	0,641 **
EDTA	0,742 **	0,749 **
Bray I	0,840 **	0,944 **
Olsen	0,811 **	0,913 **
NaOH 0,1 N	0,837 **	0,947 **
Resina de Troca Aniônica	0,826 **	0,886 **

** probabilidade $r < 0,0001$

APÊNDICE 13. Coeficientes de correlação entre matéria seca produzida e fósforo absorvido pelo sorgo e a quantidade extraída pelo método, nos três solos tratados com fosfatos co-aplicados ao corretivo da acidez

Métodos	M.S.	P-absorvido
Carolina do Norte	0,453 **	0,430 **
EDTA	0,415 **	0,377 **
Bray I	0,827 **	0,774 **
Olsen	0,839 **	0,763 **
NaOH 0,1N	0,819 **	0,799 **
Resina de Troca Aniônica	0,836 **	0,777 **

APÊNDICE 14. Coeficientes de correlação entre matéria seca produzida e fósforo absorvido pelo sorgo cultivado em vasos com fosfatos 80% solúveis em ácido cítrico

Métodos	M.S.	P-absorvido
Carolina do Norte	0,85	0,82
EDTA	0,85	0,80
Bray I	0,87	0,81
Olsen	0,83	0,76
NaOH 0,1N	0,78	0,78
Resina de Troca Aniônica	0,63	0,64

Probabilidades $r < 0,01$

APÊNDICE 15. Análise da variância para rendimento de matéria seca do sorgo cultivado em vasos

Causas da variação	G.L.	Q.M.	F
Solo	2	307,163	1107,01 *
Fosfato	4	94,958	342,23 *
Época	2	65,690	236,75 *
Solo-fosfato	8	20,480	73,81 *
Época-fosfato	8	3,139	11,31 *
Resíduo	90	0,277	-

* Probabilidade de $F < 0,01$

C.V. 12,54%

APENDICE 16. Análise da variância para fósforo absorvido pelo sorgo cultivado em vasos

Causas da variação	G.L.	Q.M.	F
Solo	2	376,793	439,26 *
Fosfato	4	126,172	147,09 *
Época	2	95,246	111,04 *
Solo-fosfato	8	28,169	32,84 *
Época-fosfato	8	8,321	9,70 *
Resíduo	90	0,858	-

* probabilidade de $F < 0,01$

C.V. 21,38%

APENDICE 17. Valor F da análise da variância para rendimento de matéria seca do sorgo, nos três solos

Causas da variação	G.L.	F		
		B.J.	LVE	PV
Fosfato	4	80,14 **	48,34 **	248,73**
Época	2	274,42 **	213,30**	0,12ns
Época-fosfato	8	21,95**	4,86**	2,29*
C.V.		17,60%	14,72%	9,16%

probabilidade de F, ** < 0,01;

* < 0,05.

APÊNDICE 18. Valor F da análise da variância para fósforo absorvido pelo sorgo, nos três solos

Causas da variação	G.L.	F		
		B.J.	LVE	PV
Fosfato	4	46,28**	48,55**	79,46**
Época	2	215,03**	212,31**	10,77ns
Época-fosfato	8	12,62**	5,65**	4,74**
Resíduo	30	-	-	-
C.V.		23,54%	15,79%	18,08%

** - probabilidade de $F < 0,01$.