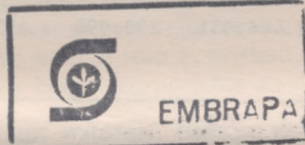




UTILIZAÇÃO DE FOSFATOS NATURAIS EM SOLOS DE CERRADO

Morel Pereira Barbosa Filho ⁽¹⁾

1. INTRODUÇÃO

O fósforo é o nutriente que, com mais frequência e maior intensidade tem influenciado o rendimento das culturas em solos de cerrado. Em razão disso, a adubação fosfatada é uma prática indispensável para a obtenção de altos rendimentos.

A correção da deficiência de fósforo se faz normalmente, pela aplicação de fosfatos altamente solúveis, que ao se dissolverem em água, transformam-se em ácido fosfórico e fosfatos ácidos de cálcio. Essa solução ácida que se forma no local de aplicação do fertilizante exerce um efeito marcante na disponibilidade de fósforo para as plantas. Em solos ácidos, muito intemperizados, o uso de fosfato monocalcico (s. simples, super triplo) concorre para a dissolução dos óxidos de Fe, Al e Mn, acelerando o processo de fixação de fósforo.

Uma das medidas para reduzir a fixação de fósforo, baseia-se na diminuição da velocidade de dissolução dos fertilizantes fosfatados, de modo a prolongar a liberação de fósforo para as plantas. Desse modo, pode-se esperar bom efeito dos fosfatos naturais aplicados em solos ácidos, pela sua solubilização lenta na solução do solo. Entretanto, os dados experimentais revelam que o baixo valor fertilizante desses fosfatos aplicados como única fonte de fósforo, pode prejudicar severamente a primeira cultura após a adubação.

Dentro desse enfoque, inúmeros estudos tem sido realizados com o objetivo de: identificar combinações adequadas de fonte-solo-cultura, nas quais os fosfatos naturais brasileiros possam, convenientemente, ser utilizados como fertilizantes, em substituição, pelo menos em parte, dos fertilizantes fosfatados solúveis convencionais; verificar se modificações dos fosfatos naturais por processos térmicos, moagem fina e por tratamento parcial com ácidos, favorecem a liberação imediata de fósforo para as plantas. -

O potencial de eficiência agrônômica das fontes de fosfatos naturais é determinado pela natureza química da apatita. No Brasil, as análises destes fosfatos em laboratório incluem solubilidade em citrato neutro de amônio, ácido cítrico a 2% e ácido fórmico a 2%. Desta forma, aceita-se que a velocidade de solubilização dos fosfatos naturais em meio ácido está correlaciona-

da com a resposta das culturas ao fósforo das diferentes fontes. Estes testes de laboratório constituem um instrumento valioso no processo de escolha da fonte mais eficiente do ponto de vista agrônômico, principalmente, no Brasil onde existem pelo menos doze fontes disponíveis para uso.

Em geral, os fosfatos naturais tem sido importantes para o desenvolvimento da agricultura na região dos cerrados. As vantagens são o baixo custo e a pronta disponibilidade para uso nas regiões próximas às fontes produtoras. As desvantagens são a baixa solubilidade e o fato desta solubilidade diminuir ainda mais em solos que receberam calcário. A seguir são dadas algumas informações sobre os principais problemas relacionados com o uso destes fosfatos.

2. RESERVAS DE FOSFATOS NATURAIS NO BRASIL

As reservas geológicas de fosfatos de rocha no Brasil são estimadas em aproximadamente 2,5 bilhões de toneladas, com teor médio de 12 a 13% de P_2O_5 , correspondendo a 240 milhões de toneladas de P_2O_5 total contido (CARVALHO, 1977).

Observe que mais de 80% das reservas estão localizadas nos Estados de Minas Gerais, Goiás e São Paulo. Somente Minas Gerais detém mais da metade de todas as reservas brasileiras. (Tabela 1)

Se por um lado, as maiores reservas estão localizadas nas regiões de maior consumo (cerrado), por outro, estão mais ou menos distantes das fábricas de fertilizantes fosfatado. Este fato levará certamente, num prazo muito distante, a uma interiorização da produção de fertilizantes fosfatados.

Os fosfatos naturais, atualmente produzidos no Brasil, são na sua grande parte utilizados como matéria prima para a produção de superfosfatos. Apenas parte dos fosfatos de Araxá, Patos-de-Minas, e Catalão/Ouro Preto são usados para aplicação direta e produção de fosfatos naturais parcialmente acidulados. Quanto ao comportamento agrícola, os de origem sedimentar tem um comportamento médio a bom, enquanto, as ígneas cristalinas são de baixa eficiência.

(1) Engº Agrº, MSc. Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz, Feijão — EMBRAPA — Goiânia, GO.

Tabela 1. Recursos e localização dos minerais fosfáticos brasileiros (em 1.000t) **



Localização das Jazidas

Origem	Reserva geológica	P ₂ O ₅ contido	Reserva definida	P ₂ O ₅ contido	Mineral
Rochas cristalinas	1.343.921	110.895	916.960	72.068	Apatita
Rochas sedimentares e metassedimentares	1.200.130	124.013	499.647	57.728	Fosforita
Rochas diversas	20.900	5.090	19.180	4.699	Wavellita e guanós*
TOTAL	2.564.951	239.998	1.435.787	129.945	

(*) Fosfato de ferro e alumínio

(**) Adaptada de MALAVOLTA (1981)

3. CARACTERIZAÇÃO DOS FOSFATOS NATURAIS

3.1. Características físicas

Dentre as características físicas, a mais importante refere-se a granulometria, ou seja o tamanho e forma das partículas. A última legislação brasileira (1983), estabelece para os fosfatos naturais que o material deve passar no mínimo 85% na peneira ABNT n.º 200 (abertura de 0,075 mm).

O tamanho das partículas tem importância fundamental na eficiência relativa dos fosfatos naturais. No entanto, no Brasil não tem havido muita preocupação quanto a granulometria dos fosfatos. Experiências realizadas fora do Brasil indicam que os melhores resultados são obtidos na forma de pó ou em grânulos muito pequenos (<35 mesh) e incorporados ao solo na zona de crescimento das raízes. Ao contrário, uma fonte de fósforo com alta solubilidade em água (>50%), é recomendável um produto mais grosseiro e aplicação no sulco de plantio.

3.2. Características químicas

A característica mais importante é a solubilidade, tendo em vista que a fração de P que se solubiliza em água está mais prontamente disponível para as plantas comparada com formas de P que não solubilizam em presença de água.

A terminologia usada para distinguir os tipos de P nos fertilizantes são: (a) disponível; (b) solúvel em água; (c) solúvel em citrato; (d) insolúvel em citrato; e (e) total.

A fração de P que se dissolve prontamente em solução 1N de citrato neutro de amônio ou em ácido cítrico a 2% (1:100) é designada como disponível ou

fração solúvel em citrato. A porção de P que é solúvel em água, representa o P disponível em água dos fosfatos solúveis, mas não indica o P disponível dos fosfatos naturais. O fósforo total inclui tanto o fósforo disponi-

vel (solúvel em citrato) como a fração insolúvel em citrato). Do ponto de vista agrícola, o P total tem pouco significado, indicando apenas o potencial de disponibilidade.

A análise e solubilidade dos principais fertilizantes fosfatados usados no Brasil, são apresentadas na tabela 2, de acordo com MALAVOLTA (1979).

Tabela 2. Características dos principais adubos fosfatados usados no Brasil.

Adubo	Total	ΣP ₂ O ₅ (*) HCl C ₁₂ H ₁₀ N ₄	H ₂ O	N	% CaO	MgO	S
Solúveis							
Superfosfato 30	30	29	?	28	-	-	8
simples	21	18	18	15	0	26	0
triplo	45	39	45	36	0	15	0
Fosfato monoamônico	52	52	52	50	10	0	0
diamônico	45	43	44	41	18	0	0
Nitrofosfato	20	18	18	16	18	12	0
Fosfato bicálcico	40	40	40	0	30	0	0
Termofosfato	19	16	13	0	0	28	16
Escória de Thomas	19	15	12	0	0	25	-
Insolúveis							
Farinha de ossos	30	25	17	0	0	36	0
Olinda	26	5	1	0	0	43	0
Hiperfosfato	27	12	6	0	0	40	0
Abatê	24	4	1	0	0	-	0
Patos de Minas	24	4	1,5	0	0	-	0
Alvorada	33	6	2,5	0	0	-	0
Ipanema	39	3	2	0	0	-	0
Jacupiranga	33	2	-	0	0	-	0
Araxá	36	5	2	0	0	42	0
Catalão	37	2,5	0,5	0	0	-	0
Tapira	37	2,5	2	0	0	-	0
Maranhão	30	1	15	0	0	-	0
Fospal	32	0,5	6	0	0	0	0

(*) HCl = ácido cítrico a 2%, relação 1:100;
C₁₂H₁₀N₄ = citrato de amônio N pH 7,0, relação 1:100 + o solúvel em água (H₂O).

Observe que a solução neutra de citrato de amônio tem baixa capacidade de extração em relação ao ácido cítrico a 2%. Excessão é feita para os fosfatos do Maranhão e Fospal. A explicação é dada por ALCARDE & PONCHIO (1980), como sendo devida à ação complexante do ânion citrato para com o Fe e Al.

Estas soluções não são adotadas pela simples análise de laboratório, mas pela correlação que apresenta com o comportamento dos fosfatos em campo.

A atual legislação determina para os fósforatos naturais que sejam especificados os teores total e solúvel em ácido cítrico a 2% na relação fósforo: solução de 1:100.

4. FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA DOS FOSFATOS NATURAIS NO SOLO

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

4.1. Características do fosfato

A solubilidade e a granulometria são os dois fatores mais importantes a serem considerados. A eficiência dos fosfatos naturais aumenta à medida que cresce o grau de finura das partículas. Portanto, a eficiência agrônômica de um fosfato natural está relacionada com a área de contato da mesma com o solo e, por isso, devem ser aplicados a lanço e bem incorporados ao solo.

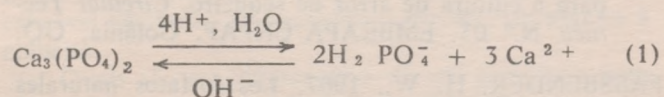
Em contraste com os fosfatos naturais, para as fontes solúveis espera-se melhor resultado em solos ácidos quando são granulados e aplicados em linha.

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

Não se encontram dados sobre este fator em relação a maioria dos fosfatos brasileiros. FASSBENDER (1967) cita para os fosfatos de Araxá e Alvorada os valores de 3,28% e 2,70%, respectivamente. Para efeito de comparação, são citados os seguintes teores de fluor encontrados em outros fosfatos: Sechura 2,11%; Flórida 3,5%; Gafsa 2,56% e Marrocos 4,05%. Estes valores segundo FASSBENDER (1967), não devem ultrapassar 5%. Altos teores de óxidos de Al e Fe também depreciam a qualidade dos fosfatos naturais.

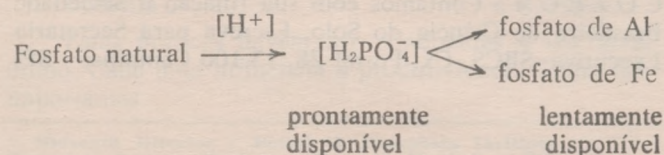
4.2. Características do solo

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



O calcário, além de deslocar o equilíbrio da reação para a esquerda, eleva o pH e adiciona íons Ca^{2+} à solução. Deste fato, decorre que os fosfatos naturais certamente serão mais eficientes se aplicados em solos ácidos, com pH até 5,5 e com certa antecedência em relação a calagem.

O mecanismo da dissolução dos fosfatos naturais em solos ácidos pode ser ilustrado pela reação:



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

Os íons H^+ são produzidos principalmente pela hidrólise da Al e a proporção de fosfatos de Fe e Al formados vai depender da quantidade relativa de cada um existente no solo. Outros fatores do solo que afetam a eficiência dos fosfatos naturais incluem os teores de argila e matéria orgânica. Solos com semelhantes mineralogia de argila reterão mais fósforo com um aumento no seu teor de argila.

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

4.3. Características da planta

É reconhecido o fato de que as espécies, e mesmo os cultivares dentro de uma mesma espécie, variam grandemente na sua habilidade de utilização de fósforo. Com níveis semelhantes de rendimento, o arroz de sequeiro geralmente requer menos fósforo que o milho. De modo geral, as recomendações no cerrado oscilam entre 80 - 100 kg de P_2O_5 /ha para o milho e 50 - 60 kg de P_2O_5 /ha para o arroz de sequeiro.

As plantas com maior capacidade de extrair o fósforo são aquelas que apresentam sistema radicular abundante, grande afinidade íon - carregador no processo ativo de absorção e que produzam exudatos capazes de modificar a rizosfera, aumentando a disponibilidade de fósforo na solução do solo.

5. MANEJO DOS FOSFATOS NATURAIS NO SOLO

Não convém esquecer que a capacidade do solo de adsorver P é o fator mais importante que afeta a disponibilidade do P, e que em função deste fator (adsorção) existem várias técnicas de aplicação do fosfato natural que podem aumentar a sua eficiência como fertilizante.

Da mesma forma, as implicações do conhecimento das características físicas, químicas e físico-químicas dos fosfatos naturais são muito importantes para a absorção de P pelas culturas. O tamanho do grânulo, a solubilidade, época, modo e frequência de aplicação ao solo, têm uma influência marcante na eficiência relativa do fertilizante fosfatado.

Como regra geral, melhores resultados são obtidos com fosfatos insolúveis em água ou de baixa solubilidade quando aplicados em forma de pó ou grânulos muito pequenos (<35 mesh), numa única operação, a lanço, com a posterior incorporação ao solo.

A adubação a lanço é a maneira ideal, quando se deseja um maior contato do fosfato com as partículas do solo e quando são necessárias grandes quantidades de fertilizantes para correção de deficiência severa do elemento ou, quando se deseja completar o nível do elemento no solo.

O fósforo, salvo a fração absorvida pela planta ou perdida pela erosão laminar, permanece adsorvido no

solo. Vale ressaltar que adsorção não é sinônimo de perda total do P, porque no plantio subsequente as plantas absorvem parte do P aplicado no ano anterior, principalmente em se tratando de fosfatos insolúveis.

Como consequência, os fosfatos naturais tem efeito residual prolongado, devendo, portanto, serem considerados como investimento a ser amortizado após o 2.º cultivo.

A adubação com fosfato natural não dispensa a adubação com fosfatos solúveis. Após a correção, deverá ser feita, anualmente, uma adubação no sulco de plantio, para manutenção da fertilidade. Em outras palavras, fosfato natural não deve ser usado isoladamente para nenhuma cultura de ciclo curto, tendo em vista o pequeno suprimento de P para as plantas. Tal fertilizante deve ser usado somente em grandes quantidades e onde se pretenda obter efeito prolongado.

A eficiência dos fosfatos insolúveis é grandemente afetada pela prática da calagem. Os fosfatos naturais aplicados somente se tornam disponíveis depois de liberarem $H_2PO_4^-$ para a solução do solo, o que é facilitado pela acidez, conforme mostra a equação 1. Por esta razão, os fosfatos naturais devem ser aplicados antes (1 - 3 meses) da calagem, ao contrário do que se recomenda para o caso de fosfatos solúveis.

FAGERIA & BARBOSA FILHO (1980) recomendam, para solos de cerrado, a adubação corretiva, baseada na análise do solo, como apresentada na tabela 3.

Tabela 3. Recomendações de adubação corretiva (a lanço) kg de P_2O_5 total/ha)

P do solo		Dose de P_2O_5
ppm	interpretação	
0 - 3,0	Baixo	250
3,1 - 6,0	Médio	150
6,1 - 9,0	Bom	120
> 9,0	Ótimo	0

Fonte: FAGERIA & BARBOSA FILHO (1980)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fosfatos naturais podem ser considerados fertilizantes insolúveis em H_2O , de baixa a média disponibilidade de P para as culturas. Reportando os principais meios de divulgação dos trabalhos realizados com fontes de P no Brasil nos últimos 20 anos, observou-se que são poucos os trabalhos que mostraram resultados superiores dos fosfatos naturais em relação aos solúveis.

Com raras exceções, os resultados mostraram que os fosfatos naturais são ineficientes em relação aos fosfatos solúveis, quanto ao fornecimento de P disponível para as principais culturas brasileiras. O conceito do uso de fosfatos naturais para adubação de manutenção por ocasião do plantio, fica, portanto, eliminado.

Para que os fosfatos naturais dêem resultados satisfatórios é necessário um certo tempo afim de que seja devidamente aproveitado pelas culturas. Dessa forma são consideradas boas fontes de P para adubação corretiva, a qual consiste na aplicação em dose elevada a lanço, visando elevar o nível de P do solo a um nível preestabelecido. Para tanto, os altos custos iniciais re-

querem financiamento adequado, estabilidade de posse da terra e o plantio de culturas de alto valor. Neste caso, o alto custo inicial deve ser encarado pelos produtores e agentes financeiros, como investimento a ser amortizado em vários anos.

Uma estratégia para o manejo dos fosfatos naturais em solos ácidos deve incluir a combinação de aplicações de fontes solúveis ou parcialmente aciduladas em linha e de fosfatos naturais a lanço, intimamente misturado ao solo.

Uma limitação muito grande na maioria dos experimentos conduzidos no passado, é a curta duração e, como consequência, não mediam o efeito residual dos fosfatos. Inclusive não se verifica com frequência estudos envolvendo aspectos econômicos, tais como os custos relativos de uma aplicação pesada a lanço e de aplicações em linha, e o custo relativo das diferentes fontes de fertilizantes fosfatados.

Finalmente, foi possível identificar diversas áreas ainda a serem estudadas para intensificar o uso dos fosfatos naturais, entre elas: 1) Avaliação de fontes de fosfatos parcialmente acidulados de maior eficiência agrônômica e econômica; 2) Quantificação do efeito residual, considerando o aspecto econômico; 3) Avaliação dos efeitos dos fosfatos naturais sobre as propriedades do solo e que permita estabelecer correlações com propriedades como matéria orgânica, pH e teor de argila; 4) Quantificar a eficiência das diversas fontes para culturas tolerantes ao baixo nível de P no solo; 5) Avaliação dos efeitos da época de aplicação em relação ao calcário, localização e tamanho de grânulos.

7. BIBLIOGRAFIA

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.

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

CARVALHO, Y. B. de., 1977. Recursos minerais brasileiros na área de fertilizantes. CPRM. I Seminário do Fertilizante, ESALQ, Piracicaba - SP, 64 p. (mimeografado).

FAGERIA, N. K. e BARBOSA FILHO, M. P., 1980. Recomendações para uso de fertilizante fosfatado para a cultura de arroz de sequeiro. *Circular Técnica* N.º 03, EMBRAPA/CNPAF. Goiânia, GO.

FASSBENDER, H. W., 1967. Los fosfatos naturales de Sechura Peru. *Turrialba*, 17: 159-164.

MALAVOLTA, E., 1979. O fósforo na agricultura brasileira. In: IBRAFOS. I. Encontro Nacional de Rocha Fosfática, Brasília, p. 199-217.

COLEGA: Contamos com sua filiação à Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Escreva para Secretaria Executiva, SBSCS, Cx. Postal 28, 13.100 Campinas - SP.