

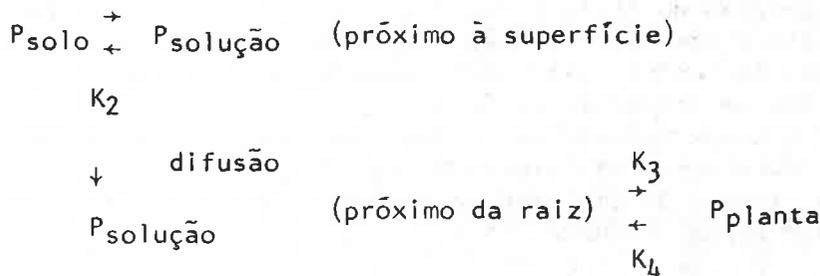
AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DE FOSFATOS NATURAIS COM ÊNFASE PARA SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO - I¹

Júlio Cesar A.J. de Magalhães²
Francisco de A.F. de Mello³
Maria Domitila Thomazi⁴

GENERALIDADES

A relação funcional, entre o fósforo no solo e sua absorção pela planta, pode ser representada da seguinte forma, de acordo com GUNNARY & SUTTON (1967).

(I) K_1



Segundo RAIJ (1978), em condições de crescimento vegetativo normal, K_3 e K_4 não são importantes e o sistema reduz-se a quatro fatores primários: quantidade ($P_{\text{so } 10}$); taxa (K_1/K_2); intensidade (P na solução) e difusão. O fósforo da fase sólida costuma ser dividido em fósforo

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor.

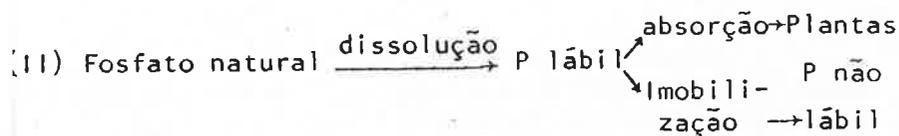
² EMBRAPA

³ Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba.

⁴ Aluna do Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Esc. Sup. de Agric. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba.

lável e não lábil, sendo a primeira fração a mais disponível às plantas. Além destes fatores, é importante também o fator capacidade, que reflete a habilidade de um solo manter o fósforo na solução, à medida que o mesmo vai sendo absorvido pelas plantas. Este fator é também denominado poder tampão potencial (BECKETT & WHITE, 1964, citados por RAIJ, 1978).

CABALA & WILD (1982) consideram o seguinte esquema para explicar a reação de um fosfato natural adicionado ao solo:



Para estes autores, o termo imobilização refere-se à conversão do fósforo lábil ou isotopicamente trocável, em fósforo não lábil ou não isotopicamente trocável, ou ainda, do fósforo extraível, para o não extraível, por uma resina trocadora de íons.

O comportamento dos solos sob vegetação de cerrado, considerando-se os fatores do equilíbrio dinâmico do fósforo, foram, de uma maneira genérica, descritos da seguinte forma (EMBRAPA, 1976):

- possuem pequena quantidade de P, ou seja, é baixo o fator quantidade;
- retêm o fósforo com grande energia, dificultando sua liberação para as plantas (taxa K_1 , K_2 no esquema 1);
- muito baixa quantidade de fósforo na solução do solo (fator intensidade). O fósforo adicionado à solução é imediatamente retido ou "fixado" pela fração sólida, com uma liberação posterior muito lenta para as plantas.

Recentemente, LE MARE (1982) determinou curvas de adsorção do fósforo isotopicamente trocável e do fósforo não isotopicamente trocável, em dez solos brasileiros e quatro colombianos. Entre os primeiros, dois solos sob vegetação de cerrado (Latosolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro), coletados na área experimental

do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), no Distrito Federal, foram os que mostraram maiores capacidades de adsorção de fósforo. Estes solos apresentaram, como característica diferente em relação aos outros solos estudados, uma maior adsorção de P isotopicamente não trocável, do que trocável, até concentrações na solução do solo de 0,6 ppm de P. Para este pesquisador, quando uma grande quantidade de fósforo adsorvido não é trocável, os incrementos na produção das culturas são pequenos, com pequenas aplicações de fósforo, pois este será fortemente retido pelo solo. Com adições maiores de fertilizantes, quantidades mais elevadas de P tornar-se-ão disponíveis às plantas, com acréscimos nas produções, até que estas decresçam, após satisfeitas as exigências do nutriente, pelas culturas.

O autor verificou, ainda, que, para os dois citados Latossolos, as concentrações críticas de P no solo (ou seja, a concentração de P no solo, em relação à qual são iguais as afinidades do solo pelo P trocável e P não trocável) foram de 0,099 e 0,077 ppm de P, respectivamente, para o Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo. Nesta concentração, 70% do fósforo total adsorvido estava na forma não trocável. A afinidade do solo, pelas frações trocável e não trocável do P total no solo, foi definida pelas respectivas declividades das curvas de adsorção (LE MARE, 1982).

ALGUNS FATORES DO SOLO E DA PLANTA QUE INFLUENCIAM A DISPONIBILIDADE DOS FOSFATOS NATURAIS

Para KHASAWHNEH & DOLL (1978), os principais parâmetros do solo que atuam como força determinante da dissolução dos fosfatos naturais são:

- a) gradiente de pH, em que a solubilidade dos fosfatos naturais aumenta com o decréscimo do pH;
- b) gradientes de pCa, em que a solubilidade aumenta com o decréscimo da atividade do cálcio na solução do solo;
- c) gradientes na atividade do íon $H_2PO_4^-$ na solução do solo, em função dos quais se verifica um acréscimo na solubilidade dos fosfatos naturais,

quando existe um sumidouro para reduzir a concentração do íon H_2PO_4^- e uma diminuição daquela, com um acréscimo na concentração de H_2PO_4^- na solução do solo;

- d) a solubilidade dos fosfatos naturais aumenta com o acréscimo da substituição do íon PO_4^{3-} por CO_3^{2-} , em valores de pH abaixo de certos níveis.

Segundo os mencionados autores, os três primeiros fatores são fatores do solo, e o quarto é um fator intrínseco dos fosfatos naturais, que determina a reatividade destes materiais. A substituição isomórfica do PO_4^{3-} por CO_3^{2-} altera profundamente a estrutura do cristal e a estabilidade física e química das apatitas (McCLELLAN & LEHR, 1969, citados por KHASAWNEH & DOLL, 1978). A dissolução adequada das apatitas está vinculada à dissociação dos íons Ca^{2+} , PO_4^{3-} e F^- da superfície das mesmas, e, em uma menor extensão, a íons substituídos isomorficamente, tais como o Mg^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} e OH^- . Os íons PO_4^{3-} são rapidamente protonados a H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} e a força determinante da dissolução dos fosfatos naturais deve, portanto, estar relacionada a gradientes nos potenciais químicos destes íons (KHASAWNEH & DOLL, 1978).

Em relação aos fatores da planta, verifica-se que existe uma grande variabilidade entre espécies e cultivares de uma mesma espécie, quanto à habilidade de utilizar o fósforo existente no solo, aspecto este relacionado com a extensão da superfície de absorção, com a eficiência de absorção por unidade de comprimento da raiz e com mudanças químicas na interface solo-raiz (RAIJ et alii, 1982). Entretanto, a maior parte das pesquisas no Brasil têm sido conduzidas com fontes solúveis de fósforo, exceto alguns trabalhos recentes, realizados no Rio Grande do Sul (KOCHANN et alii, 1982), em que foram avaliadas respostas de 14 espécies de plantas de inverno à dubação com o fosfato Patos de Minas, tendo-se verificado a resposta da colza (*Brassica campestris* L.) à adição deste fertilizante. Das espécies de verão, o trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) foi a única a responder significativamente aos fosfatos naturais.

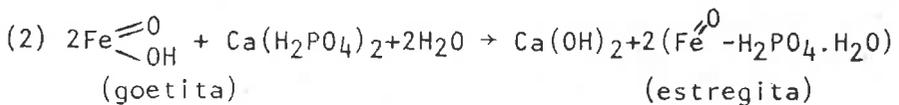
Abordar-se-ão, a seguir, os efeitos dos principais fatores do solo e de algumas características das plan-

tas, que tornam o fósforo, dos fosfatos naturais, mais disponível às plantas.

pH do solo

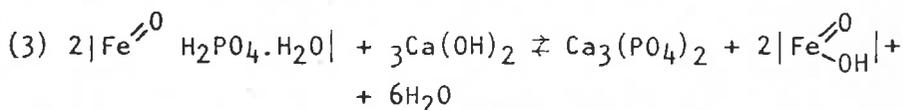
Inúmeros trabalhos têm relatado o efeito favorável da acidez do solo sobre a eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. Segundo KHASAWNEH & DOLL (1978), este efeito tem sido interpretado como um efeito simples do pH, em que a acidez é o agente responsável pelo acréscimo da disponibilidade dos fosfatos naturais. Estes autores acrescentam que, apatitas tipo francolitas ou carbonato-apatitas (resultantes de substituições isomórficas em vários graus, na estrutura básica da fluorapatita), são muito instáveis a baixos níveis de pH e liberam fósforo, para reagir com Al e Fe da matriz do solo e produzir compostos de ferro e alumínio.

ELLIS *et alii* (1955) admitiram o seguinte mecanismo para a formação, em solos ácidos, de compostos fosfatados de ferro, pouco disponíveis às plantas. Representando, por simplicidade, como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a fórmula da apatita presente no fosfato natural, os autores consideraram as seguintes reações:



A reação (1) ilustra como o ácido carbônico atua, em solos ácidos, sobre o fosfato natural apatítico, para transformá-lo em fosfato monocálcico e bicarbonato de cálcio, ambos moderadamente solúveis (como admitem os autores em questão, embora, como adubo, o fosfato monocálcico seja extremamente solúvel). Num solo neutro ou alcalino, esta reação praticamente não ocorre, pois a solução do solo já se encontra saturada com $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Em solos ácidos, no entanto, à medida que o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ moderadamente solúvel é introduzido na solução do solo, o

fosfato tenderá a regir com a substância presente no solo, que proporcionará a formação do composto de menor solubilidade possível sob estas condições, o qual, segundo os referidos autores, é usualmente a goetita, e a provável reação conduzirá à formação da estrengita (reação 2). A adição de calcário até pH = 6,5 favorecerá o dobramento desta última reação, obtendo-se $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ finalmente dividido, facilmente disponível às plantas. Esta reação seria a seguinte, conforme ELLIS et alii (1955):



KHASAWNEH & DOLL (1978) afirmaram que, de um ponto de vista prático, o baixo pH do solo está, geralmente, associado com outros fatores, como o baixo teor de Ca^{2+} trocável e altos teores de alumínio trocável no solo. O efeito negativo da acidez do solo, no crescimento de certas culturas, pode sobrepujar seu efeito positivo na dissolução dos fosfatos naturais, conforme ressaltaram os mencionados pesquisadores, opinião compartilhada por LOBATO (1982), que acentuou a necessidade de adaptação de espécies cultivadas às condições de acidez dos solos, para obtenção de melhor proveito da ação desta característica na solubilidade dos fosfatos naturais.

O efeito do pH, bem como de outros fatores do solo, que interferem na solubilização das apatitas, pode ser mais facilmente deduzido a partir da reação seguinte (KÜRNDORFER, 1978):



Pela reação acima, observa-se claramente o efeito do pH, pois, à medida que se aumenta a concentração dos íons H^+ , o equilíbrio tende a deslocar-se para a direita, ou seja, mais apatita é dissolvida.

O efeito direto do pH, influenciando a solubilidade dos fosfatos naturais, e, portanto, sua eficiência agrônoma, tem sido objeto de estudo por diversos pesquisadores, com várias culturas. FRIED e MACKENZIE (1949), por exemplo, utilizaram fosfato natural, irradiado com nêutrons, para investigar o efeito do pH, doses de apli-

cação de P e espécies de plantas, na utilização do fosfato natural e do superfosfato. Foram utilizadas como plantas-testes a alfafa (*Medicago sativa* L.) e a ervilhaca (*Vicia sativa* L.). Eles verificaram que, após três cultivos, a ervilhaca havia utilizado somente 6,5, 4,6 e 3,2% do fósforo adicionado como fosfato natural, em valores de pH de 4,9, 5,5 e 5,8 respectivamente. Para a alfafa, observaram que esta planta utilizou 4,8, 4,1 e 2,2% do P proveniente do fosfato natural, em valores de pH, respectivamente, de 4,9, 5,5 e 5,8. As mesmas tendências foram observadas com azevém perene (*Lolium perenne* L.).

JONES (1948) estudou a influência de sais de nitrogênio e potássio, calagem e matéria orgânica, na disponibilidade do fósforo de fosfatos naturais adicionados a um solo barro siltoso de pH = 5,0, cultivado com centeio (*Secale cereale* L.). Seus dados mostraram que o pH ou o nível de calagem, influenciaram a disponibilidade de fósforo dos fosfatos naturais, mais do que qualquer outro fator simples. Sem calagem, o centeio absorveu 235% mais fósforo das parcelas tratadas com fosfato natural, do que o fósforo absorvido por esta planta, nas parcelas com calagem. Verificou-se, também, um efeito positivo da mistura do fosfato natural com sulfato de amônio e cloreto de potássio adicionados ao solo, que proporcionou um acréscimo na absorção de fósforo de 28,5% quando este tratamento foi comparado com aquele em que se adicionou isoladamente o fosfato natural.

Em ensaios em casa-de-vegetação, com vasos contendo areia, ELLIS et alii (1955) estudaram a influência do pH na disponibilidade do fósforo proveniente da adição do fosfato natural da Flórida para a cultura da aveia (*Avena sativa* L.). Os valores de pH foram ajustados para 4,9, 5,5, 6,2, 6,7 e 7,4 pela adição de argila bentonita saturada com H⁺. As produções mais elevadas de aveia foram obtidas em pH = 5,5, observando-se que o acréscimo do pH do meio de cultura, resultou em redução na produção, resultados que confirmam aqueles obtidos anteriormente por diversos autores, de que a calagem até pH próximo à neutralidade, decresce a disponibilidade de fósforo dos fosfatos naturais para as culturas. Entretanto, eles verificaram uma drástica redução na produção, em pH = 4,9, o que conflita com o esperado, baseado na so-

lubilidade do fosfato natural. Foi estabelecida a hipótese de que, neste pH, poderia existir algum elemento, liberado do fosfato natural, que inibisse a absorção de P pela planta de aveia, ou que o elemento liberado produzisse efeitos tóxicos na cultura. Acrescentaram que o elemento em questão poderia ser o flúor, que é muito ativo e presente em maior quantidade no fosfato natural, do que no superfosfato (a redução da produção nos tratamentos com este fertilizante foi menor). No entanto, CESCAS & TYNER (1976), reportando-se aos dados obtidos por ELLIS et alii (1955), sugeriram que os efeitos tóxicos produzidos em pH = 4,9, poderiam ser devidos ao alumínio.

Uma maior disponibilidade do fosfato natural em valores de pH de 4,6 e 5,6 do que em pH = 6,6, foi também, observada por JOOS & BLACK (1950), ao cultivarem ca pim Sudão (*Sorghum sudanense*) em vasos com areia, onde previamente havia sido incubada uma mistura de bentonita com fósforo natural, em diferentes valores de pH, por um período de cinco meses. Eles obtiveram maiores produções e absorção de fósforo por esta gramínea, em pH = 5,6 do que em pH = 4,6. Sugeriram que, além do pH, outros fatores estariam envolvidos na disponibilidade do fosfato natural e propuseram que um deles seria a reação que o fosfato dissolvido sofre com o solo em diferentes valores de pH. Afirmaram, ainda, que a maior disponibilidade do fósforo para as plantas, após a reação do fosfato natural com o solo, não somente depende da proporção do volume do solo enriquecido com as partículas do fertilizante, mas, também, dos novos compostos de fósforo produzidos no solo.

Em experimentos conduzidos em casa-de-vegetação, com sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) PEASLEE et alii (1962) mostraram que a relação entre os coeficientes de disponibilidade do fósforo (RCD), dada pela fórmula:

$$RCD = (P_{FN} - P_T / P_{ST} - P_T) \times q_{ST} / q_{FN}, \text{ em que:}$$

P_{FN} e P_{ST} = respectivamente, quantidades de P absorvido pela planta do fosfato natural e do superfosfato.

P_T = fósforo absorvido da testemunha (sem fósforo).

qFN qST = respectivamente, quantidades adicionadas ao solo, como fosfato natural e superfosfato

decreceu, com o acréscimo do pH, tendo sido praticamente igual a zero, em solos com pH acima de 6,5. O acréscimo na relação entre os coeficientes de disponibilidade do fósforo, com o decréscimo do pH do solo, deveu-se principalmente, ao acréscimo na absorção do nutriente por plantas adubadas com fosfato natural ($P_{FN} - P_T$, na expressão acima). Os autores ressaltaram que a pronunciada relação entre o pH do solo e a eficiência do fosfato natural sugere que as diferenças em eficiência entre os solos estudados resultaram de diferenças na solubilidade deste fertilizante e que as mesmas foram controladas, em primeiro lugar, pelo pH.

Resultados discordantes dos anteriores, sobre o efeito benéfico da acidez na solubilização de fontes menos solúveis de fósforo, foram obtidos mais recentemente, por RYAN & SMILLIE (1975). Eles verificaram que o Phospal (material obtido da calcinação de um fosfato aluminocálcico do Senegal) proporcionou acréscimos na produção de matéria seca e no conteúdo de fósforo do azevém perene italiano (*Lolium multiflorum* Lam), com o acréscimo do pH do solo. Entretanto, efeitos favoráveis da acidez do solo foram novamente relatados por JUO e KANG (1979), em trabalho conduzido em dois solos ácidos da Nigéria, utilizando os fosfatos naturais de Marrocos e do Togo. Os autores constataram que a calagem até pH próximo a 5,5, deprimiu a absorção de fósforo dos fosfatos naturais, pela planta, porém aumentou a absorção de P proveniente do superfosfato triplo. Resultados semelhantes foram encontrados por PICHOT et alii (1982), ao estudarem o comportamento de sete fosfatos naturais em solos da África Ocidental, utilizando *Agrostis* sp. como planta-teste. Eles observaram que em pH = 4,6, todos os fosfatos naturais foram solubilizados e sua eficiência agronômica (medida em termos de exportação de fósforo pela parte aérea das plantas), variou de acordo com suas características mineralógicas. Em pH = 5,5, somente os fosfatos naturais mais solúveis mostraram uma eficiência marcante, enquanto que em pH = 6,5, apenas a fonte solúvel, utilizada como controle, apresentou uma eficiência real nas condições experimentais adotadas.

No Brasil, diversos trabalhos têm corroborado os benefícios da acidez dos solos na solubilização dos fosfatos naturais (MACHADO, 1975; MACEDO, 1975 e GOEPFERT, 1976, citados por KOCHANN et alii, 1982). BLANCO et alii (1965) conduziram ensaios em casa-de-vegetação com trigo (*Triticum aestivum* L.) em sucessão com soja (*Glycine max* L. Merrill), cultivados em Latossolo Vermelho Escuro Orto. Verificaram que as melhores reações ao superfosfato simples e ao triplo ocorreram em valores de pH, respectivamente, de 5,4 e 5,3. Dos fosfatos naturais, a fosforita de Olinda apresentou melhor reação na faixa entre 5,1 e 5,3, enquanto que os fosfatos de Araxá e Alvorada mostraram reação mais favorável nas faixas de pH respectivamente de 4,7 a 5,0 e 4,8 a 5,3. Níveis de pH acima destes valores prejudicaram o aproveitamento dos adubos fosfatados, diminuindo a produção. Dosagens elevadas de corretivo, elevando o pH acima de 5,5, foram desfavoráveis na utilização dos adubos fosfatados pelo trigo. DYNIA (1977) mostrou também, em ensaios com o trigo como planta-teste, que a elevação do pH dos solos diminuiu a eficiência relativa do superfosfato triplo e do fosfato de Gafsa, porém praticamente não afetou a do fosfato de Pirocaua.

Em solos sob vegetação de cerrado, vários trabalhos abordaram o problema em pauta. TANAKA (1978) estudou o efeito da calagem sobre a eficiência agrônômica do fosfato Patos de Minas, comparado ao superfosfato triplo, utilizando o milho (*Zea mays* L.) como planta-teste, cultivado em Latossolo Roxo Distrófico, em casa-de-vegetação. Ele verificou um efeito benéfico da calagem sobre a fonte solúvel e um efeito negativo, a curto prazo, sobre o fosfato Patos de Minas. Já MOREIRA et alii (1979) constataram uma ação variável do corretivo, em função do tipo de solo, no comportamento das gramíneas forrageiras, braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf Prain), gordura (*Melinis minutiflora* P. de Beauv.) e jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf), em presença dos fosfatos naturais Pato de Minas, Araxá e Tapira. Seus resultados (1º corte) mostraram que, em certos solos, o efeito da calagem foi benéfico na solubilidade dos fosfatos naturais, refletindo-se favoravelmente no crescimento destas gramíneas, como ocorreu no Latossolo Vermelho Escuro Distrófico. Porém, no Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVd1),

a calagem prejudicou acentuadamente a produção de matéria seca destas forrageiras com todas as fontes de P empregadas, o mesmo ocorrendo, no segundo corte, nos tratamentos com fosfato Patos de Minas e Tapira, nos Latossolos Vermelho Amarelos.

Referindo-se aos dados obtidos por MOREIRA *et alii* (1979), LOPES *et alii* (1982) acentuaram os seguintes aspectos importantes, a respeito dos fosfatos naturais.

- a) o comportamento da interação fosfato natural \times calagem é altamente dependente da duração do estudo;
- b) há sensíveis diferenças de resposta entre os diversos fosfatos naturais;
- c) a capacidade de aproveitamento dos fosfatos naturais é altamente dependente da espécie vegetal.

Estas observações sugerem que uma opção razoável para os fosfatos naturais brasileiros, de baixa reatividade, consiste na formação de pastagens, com doses mínimas de calagem, tratando-se de espécies tolerantes à acidez (LOPES *et alii*, 1982).

GODERT & LOBATO (1980) apresentaram resultados de ensaios conduzidos em Latossolo Vermelho Escuro Distrófico argiloso sob vegetação de cerrado, da região de Brasília, com a cultura da soja. Foram adicionadas 1,0 e 5,0 t de calcário/ha e os dados obtidos mostraram um decréscimo no rendimento relativo desta cultura, com o acréscimo da quantidade do corretivo, quando se adicionou o fosfato Patos de Minas (400 kg de P_2O_5 /ha). Para a fonte solúvel (superfosfato triplo, mesma dose), o efeito do calcário foi favorável na produção desta leguminosa. Os mencionados autores sugeriram que o efeito benéfico da acidez na solubilização dos fosfatos naturais deve ser aproveitado, na prática, com a utilização de plantas mais tolerantes à acidez, como o arroz de sequeiro e braquiária, caso em que seria feita apenas a fosfatagem. A calagem seria empregada somente quando outra cultura mais exigente (por exemplo, a soja) fosse utilizada. Resaltaram, contudo, que esta alternativa só será viável se os níveis de cálcio e magnésio no solo forem satisfatórios. Acrescentaram, por outro lado, que, mesmo em

condições de elevada acidez no solo, é baixa a eficiência agronômica dos fosfatos naturais brasileiros.

Resultados obtidos por YOST *et alii* (1982) em experimentos de campo conduzidos em Latossolo Vermelho Escuro com braquiária, onde se estudou o efeito de doses e fontes de fósforo, combinadas a três níveis de calagem, mostraram que a ação da acidez do solo pode ser insuficiente, a curto prazo, para a solubilização de fosfatos naturais de baixa solubilidade em ácido cítrico, como o fosfato de Araxá. Entretanto, os autores verificaram um acréscimo acentuado na disponibilidade do fósforo nas parcelas sem calagem, após um tempo de contato deste fertilizante com o solo, de 10 a 13 meses, proporcionando produções semelhantes às obtidas com o emprego do superfosfato. Já nas parcelas que receberam 4,5 t de calcário/ha, as produções máximas com o fosfato de Araxá foram apenas 6,6% daquelas obtidas com o superfosfato. Em cortes subsequentes, realizados 25 meses após o plantio, verificou-se, porém, que praticamente foi anulado o efeito depressivo da calagem na produção máxima de braquiária, nas parcelas tratadas com o fosfato de Araxá.

Efeito da capacidade de adsorção de fósforo

A concentração de fósforo na solução do solo é fortemente determinada pela capacidade de retenção de fósforo (SYERS *et alii*, 1981) e pode ser expressa pela atividade do íon $H_2PO_4^-$ ou pelo potencial fosfato ($pH_2PO_4 + 1/2 pCa$). Sua importância para a dissolução dos fosfatos naturais foi, recentemente, ressaltada por KHASAWNEH e DOLL (1978), que também acentuaram o papel relevante do nível de íon Ca^{2+} na solução do solo, para a eficiência dos fosfatos naturais. Conforme estes autores, a matriz do solo fornece um gradiente positivo no potencial eletroquímico dos íons Ca^{2+} e $H_2PO_4^-$, assegurando uma dissolução adequada dos fosfatos naturais. Se um solo está supersaturado em relação à apatita presente no fosfato natural, este não será dissolvido significativamente, nem fornecerá suficiente fósforo para as plantas.

A preocupação em se estudar o comportamento dos fosfatos naturais e fontes solúveis de P, em função dos diferentes tipos de solo, entre os pesquisadores brasilei-

ros, já se manifestava por volta da década de 50. Trabalhos daquela época foram conduzidos na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), em Piracicaba, SP, por diversos autores. Neste sentido, KIEHL & GOMES (1953) verificaram que, em solo Terra Roxa Estruturada, a fosforita do Morro do Serrote foi inferior ao superfosfato, farinha de ossos e hiperfosfato (os quais não diferiram entre si), na produção de milho, em experimentos de campo. MALAVOLTA et alii (1953), trabalhando com a mesma cultura, observaram, no primeiro ano de cultivo, em terra arenosa pobre, que a fonte solúvel (superfosfato) foi superior aos demais adubos (fertifos, serranofosfato e hiperfosfato) que, por sua vez, foram superiores ao fospal e Latif. Estes autores, confrontando seus dados com os de KIEHL & GOMES (1953), sugeriram as seguintes explicações para o comportamento distinto das fontes de fósforo empregadas nos dois tipos de solo (terra argilosa e terra arenosa).

- a) na Terra Roxa Estruturada, a pequena quantidade de P_2O_5 do superfosfato, rapidamente solúvel, foi fixada ou precipitada no solo, antes que as plantinhas, muito novas, tivessem emitido raízes suficientes para absorver o fósforo;
- b) já o fósforo do hiperfosfato foi se solubilizando lentamente, sendo ao mesmo tempo absorvido pelas plantas;
- c) em terceiro lugar, é provável uma ação benéfica do hiperfosfato no caso de KIEHL & GOMES (1953), melhorando o pH do solo.

Ainda para MALAVOLTA (1967), o melhor comportamento do superfosfato na terra arenosa seria devido ao pouco ferro e alumínio existente no solo, como também às condições não são muito boas para solubilizar os fosfatos naturais. MALAVOLTA et alii (1953) sugeriram que, na prática, fossem adotadas suas conclusões para as terras arenosas, enquanto que as de KIEHL & GOMES (1953), prevaleceriam para as terras argilosas.

Em trabalho mais recente, McLEAN & LOGAN (1970) compararam o efeito de fosfatos com diferentes solubilidades em água, em fornecer fósforo para plantinhas de milho cultivadas em câmara de crescimento. Considerando os

resultados obtidos, eles afirmaram que, em geral, quanto maior a capacidade de fixação de fósforo dos solos, menor será a solubilidade em água do fósforo disponível, para obtenção de produções máximas. Estes pesquisadores, resumindo respostas relativas de produção de diversas culturas (cultivadas em campo e/ou câmara de crescimento), verificaram que, em 18,2% dos casos em que se obtiveram acréscimos significativos na produção, com aplicação de fósforo, o fosfato natural, acidulado a 20%, proporcionou produções máximas. Estas foram iguais para ambos os materiais (fosfatos naturais com 20% e 100% de acidulação) em 62,5% dos casos, enquanto que em apenas 17 casos (19,3%), o material acidulado a 100% mostrou-se mais eficiente. Concluíram que, via de regra, as tendências de fixação de fósforo dos solos são mais importantes do que diferenças entre espécies de plantas cultivadas, na determinação das respostas relativas de produção proporcionadas por estes materiais.

Os resultados de experimentos conduzidos com o objetivo de avaliar o efeito da capacidade de retenção de fósforo dos solos, na eficiência agrônômica dos fosfatos naturais, nem sempre são concordantes. A ação benéfica desta propriedade dos solos sobre a solubilidade destes materiais foi relatada em inúmeros trabalhos. DYNIA (1977), por exemplo, associou a maior eficiência relativa dos fosfatos de Gafsa e Pirocaua para o trigo cultivado no solo Passo Fundo, em relação àquela determinada nos solos Mendanha e Bom Retiro, à maior capacidade de retenção de fósforo do primeiro. Sugeriu as seguintes hipóteses para explicar o comportamento desses fosfatos neste solo:

- a) aumento de sua eficiência relativa, devido à diminuição da eficiência do superfosfato, por problemas de retenção de fósforo;
- b) alta capacidade de retenção de fósforo destes solos, que promove uma rápida retirada da solução do P liberado pelos fosfatos.

Ele verificou, também uma maior eficiência relativa dos referidos fosfatos, com o acréscimo da capacidade de retenção de P, em valores de pH = 6,0 do que em pH = 5,5, comprovada pela maior declividade da reta de regres

são entre eficiência relativa e capacidade de retenção de fósforo. A conclusão foi a de que, face aos resultados obtidos, pode-se esperar uma maior eficiência do fosfato de GAFSA, quando aplicado em solos com alta capacidade de retenção de fósforo.

CHIEN *et alii* (1980) constataram que as quantidades de fósforo extraído em água, nos solos tratados com superfosfato concentrado ou fosfato natural, decresceram à medida que aumentou a capacidade de adsorção de fósforo. Entretanto, as quantidades relativas de fósforo solúvel em água do fosfato natural, em relação ao superfosfato concentrado, aumentaram de 22% para 70%, quando a capacidade de adsorção de P aumentou de 60 para 225 mg P/100 g de solo. Segundo os autores, isto sugere que a eficiência agrônômica do fosfato natural, comparada ao superfosfato concentrado, seria mais elevada em solos com forte capacidade de adsorção de P.

Estudando o efeito dos vários fosfatos naturais em dois solos ácidos ajustados para pH = 5,0 e que diferiram cerca de 10 vezes em suas capacidades de adsorção de P, ANDERSON *et alii* (1980) verificaram que a produção e a absorção de fósforo por plantas de azevém perene, foram geralmente maiores nos solos com elevada capacidade de retenção de P. Sugeriram que o pH e capacidades tampões elevadas de fósforo favorecem a dissolução do fosfato natural.

A relação entre concentração de P na solução do solo e a taxa de crescimento das plantas, foi estudada por KHASAWNEH *et alii* (1978), em experimentos em casa-de-vegetação com milho e cow-pea (*Vigna sinensis* L.), adubados com quatro fosfatos naturais (Carolina do Norte, Flórida Central, Jordânia e Tennessee), que apresentavam uma grande variação de reatividade. Eles observaram que o milho e o cow-pea responderam à adição de vários fosfatos naturais e a magnitude da resposta aumentou com o acréscimo das reatividades destes fertilizantes. As concentrações de fósforo na solução do solo foram, geralmente, aumentadas por adições de fosfato natural, sendo este efeito mais pronunciado com o material mais reativo. Acrescentaram que concentrações de fósforo na solução do solo suficientemente altas para promover o crescimento máximo das plantas, foram obtidas somente com altas doses de fosfato natural. Ainda, conforme os referidos pes

quisadores, os resultados fornecem adequadas explicações para numerosos estudos de campo, em que as produções máximas variaram entre os fosfatos naturais, sendo sempre menores que as obtidas com fontes solúveis de P.

Opinião conflitante com as anteriores citadas, foi emitida por PAAUW (1965) em estudos conduzidos em casa-de-vegetação com as culturas da batatinha (*Solanum tuberosum* L.) e centeio. Utilizando os fosfatos naturais de Gafsa e Flórida, em solos arenosos húmicos, com diferentes valores de pH e capacidades de fixação de fósforo, ele afirmou que a capacidade de fixação de fósforo do solo reduziu, em grau mais acentuado, a eficiência dos fosfatos naturais, do que a dos fosfatos monocálcicos, razão porque, segundo o aludido autor, não há razão para utilizar fosfatos insolúveis em água, em lugar de superfosfatos, em solos fortemente fixadores de fósforo. Resaltou, no entanto, que isto se aplica especialmente para culturas com pequena atividade dissolvente do fósforo presente nos fosfatos naturais, podendo ocorrer o contrário com culturas mais eficientes na solubilização destes fertilizantes. Outros trabalhos também não mostraram efeitos benéficos da capacidade de retenção de fósforo dos solos, na dissolução dos fosfatos naturais (NOVOA e NUNES, 1974; DEIST *et alii*, 1971a).

Entretanto, em trabalho conduzido em laboratório, utilizando solos sob vegetação de cerrado de Brasília, com diferentes capacidades de retenção de fósforo, SMYTH & SANCHEZ (1982a) concluíram que a habilidade que os solos ácidos sob vegetação de cerrado possuem, em manter o fósforo dissolvido dos fosfatos naturais numa forma insolúvel, serve aparentemente, como força determinante da dissolução adicional dos fosfatos naturais. Eles comprovaram, ainda, que os solos com elevados teores de argila e Fe_2O_3 livre e, portanto, com elevadas capacidades de retenção de P, foram aqueles que mantiveram níveis baixos de fósforo disponível no solo, sob condições de doses baixas do nutriente, adicionadas aos solos. Esta constatação concorda com a assertiva de KHASAWNEH e DOLL (1978), que acentuaram serem os fosfatos naturais eficientes como fertilizantes, em solos forte a moderadamente deficientes de fósforo (baixo nível de $H_2PO_4^-$ na solução do solo). SYERS *et alii* (1981) verificaram, também, uma acentuada relação entre a dissolução dos fosfa-

tos naturais e a capacidade de retenção de P dos solos, assinalando, por outro lado, que o efeito desta propriedade tende a superar o efeito do pH na dissolução dos fosfatos naturais. Afirmção análoga foi emitida por CABALA & WILD (1982), trabalhando com o fosfato Patos de Minas, entre outros fosfatos. Verificaram que o efeito deste fertilizante, de baixa solubilidade foi mais benéfico em solos com elevada capacidade de adsorção de fósforo. Sugeriram a adição de doses elevadas de fosfato, preferentemente em solos ácidos e que sua aplicação nestes solos deve ser feita com bastante antecedência ao plantio das culturas, devendo o mesmo ser mais efetivo, para a produção de culturas não intensivas.

Efeito do cálcio da solução do solo

KHASAWNEH & DOLL (1978) afirmaram que a afinidade do solo pelo cálcio promove a dissolução do fosfato natural, porque fornece um sumidouro para o cálcio, que é liberado pela dissolução adequada da apatita. Para fluorapatitas, são dissolvidos 10 moles de cálcio para cada 6 moles de P, que permanecem na solução. Uma baixa afinidade do solo pelo cálcio aumenta o nível de Ca na solução do solo, à superfície da apatita. Consequentemente, o nível de $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ diminui de acordo com o princípio do produto de solubilidade. O gradiente de $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ entre a superfície da apatita e o volume da solução do solo diminui também, e o processo de dissolução dos fosfatos naturais é reduzido proporcionalmente. A afinidade de um solo pelo cálcio é alta, quando a percentagem de saturação de cálcio (fração da capacidade de troca do solo saturada com cálcio) é baixa, condição que usualmente ocorre, quando a percentagem de saturação de bases e o pH são baixos.

O efeito de gradientes de cálcio na dissolução dos fosfatos naturais foi estudado por GRAHAM (1955), que verificou, através do estudo de mudanças de energia (associadas com o pH, hidrogênio total, cálcio ativo e cálcio total) e calculadas em energias de retenção e troca, que a intemperização do fósforo na apatita foi relacionada aos íons ativos de cálcio, como também ao hidrogênio ativo do sistema coloidal. Para este autor, siste-

mas coloidais que exibem altas energias de retenção para o cálcio, possuem capacidade elevada para solubilizar o fosfato natural.

HOWE & GRAHAM (1957) procuraram relacionar a disponibilidade do fósforo contido no fosfato natural, aos teores de sais solúveis, em cultivos com argila e areia, utilizando alfafa como planta indicadora. Verificaram que o cálcio reduziu a absorção do fósforo, com pequenas reduções, na produção das plantas. Os efeitos com sais de magnésio foram variáveis na produção e na absorção de fósforo pelas plantas; com o potássio, os efeitos foram favoráveis na produção de alfafa, para o sulfato e carbonato de potássio, e depressivos, quando se utilizou o cloreto de potássio.

Mais recentemente, KHASAWNEH (1977), citado por KHASAWNEH & DOLL (1978), verificou, em experimentos conduzidos em casa de vegetação, utilizando o milho como planta-teste, que o tratamento do solo com diferentes materiais, CaCO_3 e SrCO_3 , aumentou a percentagem de saturação de bases e, portanto, o pH. Foram observadas maiores reduções na produção de matéria seca nos tratamentos com fosfato natural da Carolina do Norte, nas parcelas em que se adicionou carbonato de cálcio, do que naquelas em que se utilizou carbonato de estrôncio. Conforme o autor, isto foi devido ao acréscimo no Ca trocável, com redução, portanto, da afinidade do solo pelo cálcio, ou seja, da habilidade do solo em proporcionar um sumidouro efetivo para o cálcio. Já nas parcelas tratadas com SrCO_3 , a afinidade pelo cálcio permaneceu alta, pois não houve acréscimo no Ca trocável do solo e o decréscimo na eficiência agrônômica do fosfato natural foi atribuído ao acréscimo do pH do solo.

Em trabalhos de laboratório, objetivando determinar o efeito da atividade do íon cálcio na solubilidade de seis fosfatos naturais, WILSON & ELLIS (1979) utilizaram citrato de amônio neutro, variando o teor de cálcio de zero a 0,05 M de Ca^{2+} , como nitrato de cálcio. Os resultados confirmaram a relação inversa entre solubilidade dos fosfatos naturais e atividade do íon Ca^{2+} na solução. A solubilidade dos fosfatos naturais decresceu rapidamente, à medida que se aumentou a atividade do íon Ca^{2+} de 0,00 a 0,02 M de Ca^{2+} . Em atividades iônicas de cálcio mais elevadas, a taxa de decréscimo na solubilidade foi menor.

Diferenças entre culturas na absorção do fósforo dos fosfatos naturais

KHASAWNEH & DOLL (1978), em sua revisão sobre a utilização dos fosfatos naturais para aplicação direta aos solos, mencionaram ter sido provavelmente TRUOG (1916) o primeiro pesquisador a reconhecer que as culturas variam acentuadamente em sua habilidade de utilizar o fósforo dos fosfatos naturais, sob diferentes condições de solo. Este autor, citado por CESCAS & TYNER (1976), trabalhando com cultivos em areia que receberam fosfato natural, observou que plantas com alto teor de cálcio cresceram melhor que aquelas com baixas exigências deste nutriente, devido à sua remoção pelas primeiras, o que teria favorecido a solubilização posterior do fosfato natural. TRUOG (1916), ainda de acordo com esses autores, afirmou que a maior disponibilidade dos fosfatos naturais em solos ácidos, do que em solos não ácidos, especialmente para plantas com baixo poder de absorção de fósforo dos fosfatos naturais, foi devida à remoção do bicarbonato de cálcio pelo solo ácido, permitindo, com isto, a continuação do processo de solubilização do fosfato natural. Para este pesquisador, as diferentes demandas de cálcio pelas culturas, explicariam, portanto, a variabilidade entre elas na utilização do fósforo proveniente dos fosfatos naturais.

Os resultados supracitados foram confirmados por BAUER (1921), que, estudando o comportamento de 15 espécies de plantas, verificou que aquelas com alto teor de cálcio possuem uma maior habilidade em absorver fósforo dos fosfatos naturais. Ele sugeriu que culturas como o trevo doce (*Trifolium repens* L.), com grande capacidade de absorver fósforo de fontes menos solúveis de P, seriam adequadas, quando se adicionassem estes fosfatos a um sistema de rotação com outras culturas, de baixa capacidade de utilização de fósforo, o que contribuiria para o fornecimento deste nutriente e, também, de matéria orgânica, a estas culturas.

A teoria de TRUOG (1916), citado por COOK (1935), foi testada por este autor, que verificou uma utilização efetiva do fosfato natural, pela aveia, milho e milho (*Pennisetum typhoides* (Burm. f.) Stapf) somente em presença de material trocador (bentonita) saturado

com hidrogênio e, ainda, que o trigo mourisco podia utilizar o fosfato natural em presença de materiais saturados, quer com H^+ , quer com Ca^{2+} . COOK (1935) considerou a equação abaixo sugerida por TRUOG, 1916, para explicar a diferença de comportamento entre as culturas estudadas.



em que $Ca_3(PO_4)_2$ representa a fórmula da apatita presente no fosfato natural.

Sua argumentação foi a seguinte:

- a) a relação entre a absorção de P e de Ca^{2+} pela aveia, milho e milho é maior do que a relação existente entre P e Ca nos fosfatos naturais. Como resultado, o bicarbonato de cálcio acumula-se gradualmente, de forma que o equilíbrio da reação acima é atingido, o que elimina uma posterior formação de fosfato solúvel. A introdução de material trocador saturado com H^+ promove a remoção do Ca^{2+} da solução (troca de H^+ pelo Ca^{2+}), permitindo, portanto, o prosseguimento da reação entre o fosfato natural e o ácido carbônico (excretado continuamente pelas raízes das plantas), resultando numa maior disponibilidade de fósforo para as plantas. Segundo o autor, este fato explicaria a maior eficiência dos fosfatos naturais em solos ácidos;
- b) as plantas com teores relativamente elevados de cálcio utilizam eficientemente o fosfato natural, porque elas absorvem o Ca^{2+} tão rapidamente, que o mesmo não se acumula como bicarbonato e, desta forma, elas aceleram a reação entre o fosfato natural e o ácido carbônico. Para estas plantas, um material trocador saturado com H^+ seria menos benéfico. Os resultados obtidos com trigo mourisco mostraram que isto é verdadeiro. COOK (1953) verificou, também, que um acréscimo na saturação de bases dos solos reduz a disponibilidade imediata dos fosfatos naturais para culturas como o milho e aveia, porém tende

a manter o fósforo nativo e o adicionado, como sal solúvel, no solo, conservando-os na forma de fosfatos de cálcio, preferentemente a fosfatos de ferro básicos, menos disponíveis às plantas.

Entretanto, BARTHOLOMEW (1928) não encontrou uma relação definida entre a razão cálcio/fósforo nas plantas e sua habilidade em utilizar fosfatos naturais.

Experimentos posteriores, com materiais radioativos, confirmaram diferenças entre espécies de plantas em sua habilidade de obter fósforo e cálcio dos fosfatos naturais (MURDOCK & SEAY, 1955; FRIED & MACKENZIE, 1949). MURDOCK & SEAY (1955) mencionaram que o trevo absorveu 23-30% de seu conteúdo total de P, do fosfato natural, enquanto, no trigo, este percentual variou somente de 13-15%. Estes autores constataram, também, que estas culturas absorvem mais fósforo que cálcio, do fosfato natural, devido à maior relação de P^{32}/Ca^{45} encontrada nestas plantas (4,5 no trigo e cerca de 1,2 no trevo), quando comparada à mesma relação determinada no fosfato natural ($P^{32}/Ca^{45} = 0,44$).

FRIED (1953) verificou que o fósforo proveniente dos fosfatos naturais foi mais disponível para o trigo mourisco e para leguminosas, quando estas foram comparadas às gramíneas. Ele asseverou que seus resultados com fosfatos naturais sugerem que as diferenças encontradas entre várias espécies, em sua capacidade de absorção de P destas fontes menos solúveis, não somente refletiria diferenças em tamanho e extensão das raízes, mas, também, diferenças em interações específicas fonte-espécie de planta. O autor ressaltou que seus dados não permitem identificar a natureza desta interação, porém, ela poderia ser interpretada à luz de teorias, como excreções de raízes, balanço de nutrientes e interações microbiológicas.

Para DRAKE & STECKEL (1955), a diferença entre espécies de plantas na utilização dos fosfatos naturais está relacionada à capacidade de troca catiônica das raízes. Estes autores observaram que plantas com sistemas radiculares com elevada capacidade de troca catiônica, foram duas a três vezes mais eficientes em absorver fósforo do solo e dos fosfatos naturais, que plantas com siste-

mas radiculares de baixa capacidade de troca catiônica. Verificaram, também, que plantas de aveia, com capacidade de troca catiônica relativamente baixa, quando cultivadas em associação com trevo vermelho (*Trifolium repens* L.) (raízes com alta capacidade de troca catiônica) continham 60% mais fósforo, do que as cultivadas isoladamente. Para os mencionados pesquisadores, raízes de plantas com elevada capacidade de troca catiônica retêm o cálcio com maior energia, que raízes de plantas com baixa capacidade de troca catiônica. Eles consideraram que os seguintes mecanismos estariam envolvidos na liberação de fósforo:

- a) a retenção do cálcio pela rizosfera das plantas, possibilitando a dissolução dos cristais de fosfato natural;
- b) a quelação dos íons Fe e Al pelos ânions orgânicos, conduzindo à solubilização dos fosfatos de ferro e alumínio.

Segundo COOKE (1956), citados por KHASAWNEH & DOLL (1978), culturas com raízes fibrosas, bem desenvolvidas, são mais eficientes em utilizar fósforo dos fosfatos naturais. Em uma série de experimentos em casa-de-vegetação, aquele autor verificou que o fosfato natural de Marrocos foi equivalente ao superfosfato para o rabanete (*Raphanus sativus* L.), 50% menos eficiente que esta fonte para a colza e trigo mourisco e de pouco valor para mostarda (*Brassica juncea* L.) Czern & Cross), trevo, azevém perene (*Lolium perenne* L.), trigo, cevada (*Hordeum vulgare* L.), centeio e alface (*Lactuca sativa* L.).

Um enfoque diferente ao estudo da habilidade que as diferentes espécies de plantas possuem, em utilizar o fósforo dos fosfatos naturais, foi dado nos trabalhos de MARAIS *et alii* (1970) e DEIST *et alii* (1971b). Os primeiros, trabalhando com dois solos de pomares, que haviam recebido fosfato natural, obtiveram valores L cerca de 40% mais elevados para o repolho (*Brassica oleracea*, var. capitata), em relação aos obtidos para o centeio. Eles ressaltaram que, embora certas espécies de plantas possuam maior habilidade em absorver formas de fósforo indisponíveis a outras, diferenças de importância prática do ponto de vista agrônomo somente ocorrem em so-

los adubados com fosfatos naturais. DEIST et alii (1971 b), trabalhando igualmente com isótopos radioativos (^{32}P) adicionaram fósforo natural a solos virgens, determinando valores L de algumas espécies de plantas. Verificaram que, em geral, as plantas dicotiledôneas produziram valores L mais elevados que plantas monocotiledôneas e que as primeiras absorveram uma quantidade de cálcio consideravelmente maior do que as segundas. Os dados obtidos sugerem que o fósforo natural é mais disponível às dicotiledôneas do que às monocotiledôneas e que a quantidade de cálcio absorvida pelas primeiras é um fator importante para determinar sua habilidade em utilizar o fósforo natural. Ainda de acordo com os referidos pesquisadores, tanto o conteúdo de fósforo como os valores L (calculados conforme RUSSELL et alii, 1957) são importantes na escolha de uma cultura que converta fosfatos naturais em formas mais disponíveis de P. Concluíram, afirmando, que as quantidades reais de fósforo absorvido dos fosfatos naturais dependem do tipo de solo, dos teores de fósforo e cálcio do solo, da quantidade extra de P e Ca adicionados ao solo, além do tipo de fósforo natural utilizado.

KHASAWNEH & DOLL (1978) consideram que, provavelmente, o parâmetro mais geral para avaliar a utilização dos fosfatos naturais pelas plantas é a taxa de crescimento relativo e seus efeitos diretos no estabelecimento de padrões de demanda, tanto para o fósforo como para o cálcio. Plantas de crescimento rápido necessitarão de uma alta taxa de acumulação de P dentro da planta, para manter este ritmo de crescimento. Se uma determinada planta tem um sistema de raízes extenso, sua demanda de fósforo por unidade de comprimento das raízes é menor do que aquela de plantas com sistemas radiculares de limitados comprimento e extensão. Assim, para um dado nível de absorção de fósforo por comprimento unitário de raízes, a concentração de P na solução necessita estar acima de um certo valor, o qual é determinado pela cinética de absorção do nutriente, para a espécie de planta considerada. Portanto, se o fósforo natural adicionado ao solo não é capaz de manter tal concentração de P na solução, a taxa de absorção de fósforo por unidade de comprimento de raízes declinará, o mesmo ocorrendo, proporcionalmente, com sua taxa de crescimento relativo.

KHASAWNEH (dados não publicados) citado por KHASAWNEH & DOLL, (1978), mediu a taxa de crescimento relativo do milho, cultivado num solo barro siltoso adubado com três doses de quatro fosfatos naturais e com fosfato dicálcico em pó. Os resultados mostraram que a taxa de crescimento relativo do milho foi relacionada à concentração de fósforo que estas fontes mantiveram no solo e que, num gráfico, os pontos obtidos (de todas as fontes e doses de fósforo) podiam ser descritos por uma única relação curvilínea.

Em trabalho recente, RAIJ & DIEST (1979) estudaram a habilidade do trigo, milho, capim gordura, soja, capim *Paspalum* (*Paspalum plicatulum* Michx) e trigo mourisco, em utilizar fósforo do superfosfato, fosfato Maranhão (um fosfato de alumínio calcinado) e de vários fosfatos naturais, entre os quais o hiperfosfato, o fosfato Patos de Minas e o fosfato Alvorada, além de um fosfato Africano (fosfato de Mali). Os resultados mostraram que apenas o trigo mourisco pode utilizar satisfatoriamente o fósforo de todos os fosfatos. Para as outras culturas, somente o fosfato Maranhão e o hiperfosfato apresentaram valores fertilizantes significativos. Suas eficiências relativas, em função do superfosfato (eficiência relativa = 1,0), foram, respectivamente: 0,45 e 0,11 para o trigo; 0,73 e 0,43 para o capim paspalum; 0,50 e 0,37 para o milho; 0,46 e 0,42 para o capim gordura; 0,28 e 0,38 para a soja e 0,72 e 1,0 para o trigo mourisco. Os autores sugerem que culturas como o trigo mourisco, com um padrão de absorção alcalina (maior absorção de cátions do que ânions) e que utilizam eficientemente o fósforo dos fosfatos naturais, deveriam ser procurados e pesquisados em razão da crescente utilização dos fosfatos naturais na agricultura dos países tropicais.

BEKELE *et alii* (1983) admitem a seguinte relação para plantas com padrão de absorção alcalina, que expressa o excesso de absorção de cátions sobre a de ânions.

$$\text{Efluxo de H}^+ = \text{cátions absorvidos} - \text{ânions absorvidos.}$$

A solubilização dos fosfatos naturais alcalinos seria aumentada pelo decréscimo do pH na rizosfera das plan

tas, resultante do efluxo supra-indicado. Os referidos autores acrescentam ainda que em plantas como o trigo mourisco, com elevada capacidade de absorção de cálcio, a mudança do equilíbrio (lei de ação das massas) na reação da dissolução do fosfato natural (reação 4, página 21), aliada ao padrão de absorção alcalina destas culturas, proporcionaria uma utilização efetiva dos fosfatos naturais, como fontes de fósforo para as plantas.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, D.L. **et alii**, 1980. Influence of soil P adsorption capacity on plant response to RP. **Agron. Abstr.** Madison, 164p.
- BARTHOLOMEW, R.P., 1928. The unavailability of phosphorus in rock phosphate to some southern crops. **J. Am. Soc. Agron.** 20(9): 913-920.
- BAUER, F.C., 1921. The relation of organic matter and the feeding power of plants to the utilization of rock phosphate. **Soil Sci.** 12(1): 21-24.
- BLANCO, H.C., W.R. VENTURINI & H. GARGANTINI, 1965. Comportamento de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de acidez do solo para o trigo, com estudos do efeito residual para a soja. **Bragantia** 24(22): 261-279.
- CABALA, R.P. & A. WILD, 1982. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. 1. Effect of reaction in time. **Plant Soil** 65: 351-362.
- CESCAS, M.O. & E.H. TYNER, 1976. Rate of rock phosphate disappearance for the Morrow plots. **Ann. Agron.** 27(2-5): 891-924.
- DRAKE, M. & J.E. STECKEL, 1955. Solubilization of soil and rock phosphate as related to root cation exchange capacity. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 19: 449-450.
- DYNIA, J.F., 1977. **Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência dos adubos fosfatados.** Porto Alegre, UFRGS, 61p. (Tese de Mestrado).
- ELLIS Jr., R., M.A. QUADER & R. TRUOG, 1955. Rock phosphate availability as influenced by soil pH. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 19: 484-487.

- EMBRAPA, 1976. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. Relatório Técnico Anual 1975-76, Brasília, 150p.
- FRIED, M., 1953. The feeding power of plants for phosphates. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 17(4): 357-359.
- FRIED, M. e A.J. MACKENZIE, 1949. Rock phosphate studies with neutron irradiated rock phosphate. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** Madison 14: 226-231.
- GOEDERT, W.J. e E. LOBATO, 1980. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesq. Agrop. bras.**, Brasília 15(3): 311-380.
- GRAHAM, E.R., 1955. Availability of natural phosphate according to energy changes. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison 19(1): 26-29.
- GUNARY, D. e C.D. SUTTON, 1967. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. **J. Soil Sci.**, Oxford 18: 167-173.
- HOWE, D.O. e E.R. GRAHAM, 1957. Salt concentration a factor in the availability of phosphorus from rock phosphate as revealed by the growth and composition of alfafa. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison 21(1): 25-28.
- JONES, U.S., 1948. Availability of phosphorus in rock phosphate as influenced by potassium and nitrogen salts, lime and organic matter. **J. Am. Soc. Agron.**, Washington, 40(9): 765-770.
- JOOS, L.L. & C.A. BLACK, 1950. Availability of phosphate rock as affected by particle size and contact with bentonite and soil of different pH values. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison 15(1): 69-75.
- JUO, A.S.R. & B.T. KANG, 1979. Effect of liming on the availability of three rock phosphate sources in two West African Ultissols. **Comm. Soil Sci. Plant Anal** 19(7): 993-1003.
- KHASAWNEH, F.E. & C.E. DOLL, 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Adv. Agron.**, New York, 20: 159-206.
- KHASANWEH, F.E. **et alii**, 1978. P concentration in soil solution as a factor affecting R.P. effectiveness. Seminar on phosphate rock for direct application, Haifa, Israel. Apud Phosphorus Agric., London 81: 49, 1981 (ref. 5197).

- KIEHL, E.J. & F.P. FOMES, 1953. Ensaio sobre adubos fosfatados. **Rev. Agric.** 26(5,6): 391-396.
- KOCHANN, R., I. ANCHINONI & J. MIELNICZUK, 1982. A adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A.J. de, S. LOURENÇO & W. J. GOEDERT, ed. Adubação fosfatada no Brasil. EMBRAPA-DID, p.29-60.
- KORNDORFER, G.H., 1978. **Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo**, Porto Alegre, UFRGS, 62p. (Tese de Mestrado).
- LE MARE, P.H., 1982. Sorption of isotopically exchangeable and non-exchangeable phosphate by some soils of Colombia and Brazil and comparisons with soils of southern Nigeria. **J. Soil Sci.** 33: 691-707.
- LOBATO, E., 1982. A adubação fosfatada em solos da região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.J., S. LOURENÇO & W.J. GOEDERT, Ed. Adubação fosfatada no Brasil, Brasília, EMBRAPA-DID, p.201-239.
- LOPES, A.S., C.A. VASCONCELOS & R.F. NOVAIS, 1982. Adubação fosfatada em algumas culturas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. In: OLIVEIRA, A.J., S. LOURENÇO & W.J. GOEDERT, Ed. Adubação fosfatada no Brasil, Brasília, EMBRAPA - DID, p.137-200.
- McLEAN, E.O. & T.J. LOGAN, 1970. Sources of phosphorus for plants grown in soils with differing fixation tendencies. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 34(6): 907-911.
- MALAVOLTA, E., 1967. **Manual de Química Agrícola - Adubos e Adubação**, 2.ed., São Paulo, Biblioteca Agrônoma Ceres, Cap. 4, p.64-70.
- MALAVOLTA, E., T. COURY, G. RANZANI, R.A. CATANI, M.O.C. BRASIL SOBR? & H.V. ARRUDA, 1953. Competição entre adubos fosfatados. **An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"** 10: 109-120.
- MARAIS, P.G. **et alii**, 1970. Ability of different plant species to absorb phosphate. **Agrochimophisica**, Johannesburg, 2: 7-12.
- MOREIRA, S.M. **et alii**, 1979. Efeito da interação gramínea-solo-calagem sobre a eficiência dos fosfatos naturais. **Rev. Ceres** 26(146): 360-373.

- MURDOCK, J.T. & W.A. SEAY, 1955. The availability to greenhouse crops of rock phosphate phosphorus and calcium in superphosphate rock phosphate mixtures. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 19(1): 199-203.
- NOVOA, F.V.H. & R. NUNEZ, 1974. Efficiency of five phosphate fertilizer sources in soils with different phosphate fixing capacities. **Trop. Agric.** 51 (2): 235-245.
- PAAUW, P. van der, 1965. Factors controlling the efficiency of rock phosphates for potatoes and rye on humic sandy soils. **Plant Soil** 22(1): 81-98.
- PEASLEE, D.E. *et alii*, 1962. Estimation of relative value of phosphate rock and superphosphate to plants on different soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 26 (6): 566-570.
- PICHOT, J., B. TRUOG & A. TRAORE, 1982. Influence du chaulage du sol sur la solubilization et l'efficacité des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest. Etude en Milieu contrôlé sur un sol ferralitique de Madagascar. **Agron. Trop.** 37(1): 56-67.
- RAIJ, B. van, 1978. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **R. Bras. Ci. Solo** 2(1): 1-9.
- RAIJ, B. van & A. van DIEST, 1979. Utilization of P from different sources by six plant species. **Plant Soil** 51(4): 577-589.
- RAIJ, B. van, P.R. CABALA & E. LOBATO, 1982. Adubação fosfatada no Brasil. Apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J., S. LOURENÇO & W.J. GOEDERT, ed. Adubação fosfatada no Brasil, Brasília, EMBRAPA-DID, p.9-28.
- RUSSELL, R.C., E.W. RUSSEL & P.G. MARAIS, 1957. Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soils. **J. Soil Sci.** 8(2): 248-267.
- RYAN, J. & G.W. SMILLIE, 1975. Liming in relation to soil acidity and P fertilizer efficiency. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.** 6(4): 404-419.
- SMYTH, T.J. & P.A. SANCHEZ, 1982. Phosphate rock dissolution and availability in Cerrado soil as affected by phosphorus sorption capacity. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 46(2): 339-345.

- SYERS, J.K., A.D. MACKAY & P.E.H. GREGG, 1981. Chemical reactivity of phosphate rock materials. In: Proc. Tech. Workshop on potential of phosphate as a direct application fertilizer in New Zealand. Palmerston, North Massey University, Department of Soil Science, p.74-83.
- TANAKA, R.T., 1978. Disponibilidade de fósforo do fosfato Patos de Minas para a cultura do milho (*Zea mays* L.), em Latossolo Roxo Distrófico sob condições de casa de vegetação, Lavras, ESAL, 66p. (Tese de Mestrado).
- WILSON, M.A. & B.G. ELLIS, 1979. Solubility of RP as influenced by Ca ion content in solution and surface area. *Agron. Abstr.* 186.
- YOST, R.S. et alii, 1982. Availability of rock phosphate measured by an acid tolerant pasture grass extractable phosphorus. *Agron. J.* 74(3): 462-468.