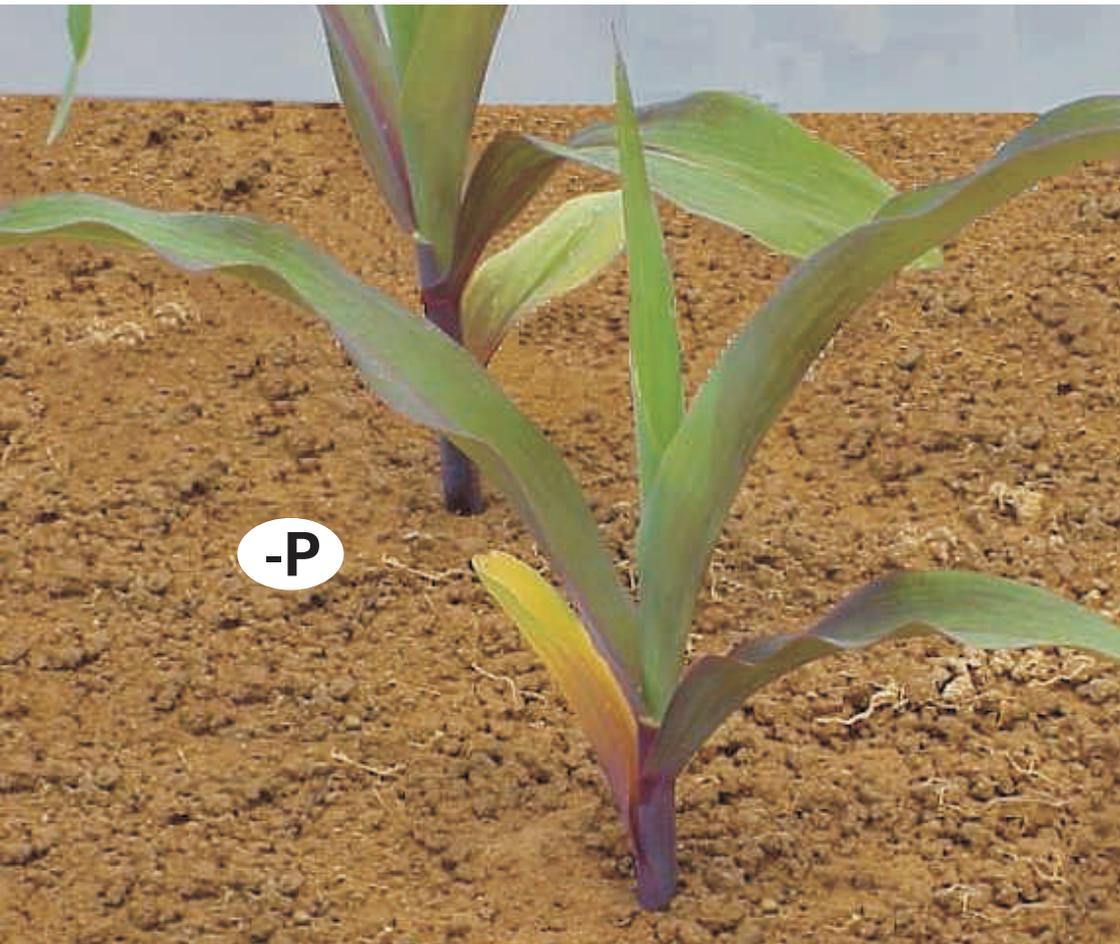


Aspectos Relacionados ao Manejo da Adubação Fosfatada em Solos do Cerrado



ISSN 1517-5111

Dezembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 195

Aspectos Relacionados ao Manejo da Adubação Fosfatada em Solos do Cerrado

*Álvaro Vilela de Resende
Antonio Eduardo Furtini Neto*

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretário-Executivo: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Fernanda Vidigal Cabral de Miranda*

Revisão de texto: *Francisca Elijani do Nascimento*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Foto(s) da capa: *Álvaro Vilela de Resende*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Sousa*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2007): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

R433a Resende, Álvaro Vilela de.

Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do Cerrado / Álvaro Vilela de Resende, Antonio Eduardo Furtini Neto.

– Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007.

32 p. — (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111 ; 195)

1. Fertilidade do solo. 2. Fertilizante fosfatado. 3. Fósforo. I. Título.
II. Série.

631.422 - CDD 21

© Embrapa 2007

Autores

Álvaro Vilela de Resende

Eng. Agrôn., D.Sc,
Pesquisador, Embrapa Cerrados
alvaro@cpac.embrapa.br

Antonio Eduardo Furtini Neto

Eng. Agrôn., D.Sc,
Professor Associado, Departamento de Ciência do
Solo, Universidade Federal de Lavras
afurtini@ufla.br

Apresentação

A adubação fosfatada em solos do Cerrado é uma prática dispendiosa. A expansão das áreas de cultivo e o esgotamento das reservas mundiais de fósforo (P) são fatores que tendem a manter elevação constante de preço dos fertilizantes fosfatados. Nesse cenário, a busca de maior eficiência nas adubações é o caminho óbvio, justificando as pesquisas para tal. Face à gama de fatores que interagem condicionando a disponibilidade de P às culturas, a integração das informações existentes pode levar a novas alternativas de uso e manejo de fertilizantes fosfatados, em especial para os sistemas envolvendo plantio direto e integração lavoura-pecuária. Esta publicação discorre sobre alguns aspectos preponderantes ao conhecimento da dinâmica do P oriundo de fertilizantes e do seu aproveitamento pelas plantas, nas condições de solos da região do Cerrado.

Roberto Teixeira Alves

Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

| | |
|---|----|
| Introdução | 9 |
| O fósforo nos solos das regiões tropicais | 11 |
| Formas e dinâmica do fósforo | 11 |
| Disponibilidade às plantas | 13 |
| Adubação fosfatada | 14 |
| Fontes de fósforo | 14 |
| Manejo e eficiência da adubação | 16 |
| Efeito residual | 20 |
| Aspectos econômicos | 22 |
| Perspectivas da adubação fosfatada no Cerrado | 23 |
| Referências | 27 |
| Abstract | 32 |

Aspectos Relacionados ao Manejo da Adubação Fosfatada em Solos do Cerrado

Álvaro Vilela de Resende

Antonio Eduardo Furtini Neto

Introdução

Embora se trate de um tópico dos mais explorados e debatidos na Ciência do Solo, a adubação fosfatada ainda motiva temas relevantes para a pesquisa agropecuária. A eficiência agrônômica e econômica no uso de fosfatos constitui um desafio para o manejo da fertilidade dos solos no Brasil.

A fertilidade dos solos das regiões tropicais é fortemente limitada pela baixa disponibilidade natural de fósforo (P), e a região do Cerrado não constitui exceção. Além disso, boa parte do fósforo fornecido na adubação é indisponibilizada, em virtude do fenômeno da fixação do P em reações com componentes do solo. Isso faz com que a aplicação de quantidades relativamente elevadas de fosfatos seja necessária para viabilizar a exploração agrícola do Cerrado, sobretudo nos solos mais argilosos ([SOUSA et al., 2004](#)).

A eficiência na promoção do crescimento e produtividade das culturas, assim como o custo da adubação, varia conforme a fonte de fósforo utilizada. Geralmente, os fosfatos mais solúveis proporcionam maior resposta biológica em curto prazo, mas têm custo mais elevado, enquanto os fosfatos naturais têm menor eficiência inicial e custo mais baixo ([RAJAN](#)

[et al., 1996](#); [KAMINSKI; PERUZZO, 1997](#); [PROCHNOW et al., 2004](#)).

Contudo, o fósforo liberado das fontes mais reativas pode ser rapidamente convertido para formas menos disponíveis às plantas, ao passo que os fosfatos de menor solubilidade, ao liberarem o nutriente de forma mais lenta, podem minimizar o processo de fixação ([NOVAIS; SMYTH, 1999](#)).

Além da fonte de P, diversos outros fatores podem influenciar a efetividade da adubação fosfatada. Variações na natureza dos solos são normalmente esperadas em áreas de grande extensão geográfica, como é o caso do Cerrado, e têm relação direta com a quantidade de fósforo que deve ser fornecida na adubação. A forma de aplicação afeta, de maneira distinta, o desempenho dos diferentes tipos de fosfato. Diferenças genotípicas são causa freqüente de respostas variáveis para uma mesma espécie vegetal. As condições climáticas afetam intensamente o potencial produtivo das culturas e condicionam as respostas aos tratamentos com P. Interferências ocorrem também em função do tempo decorrido da aplicação dos fosfatos, do método de preparo do solo, da seqüência de culturas e do histórico da área ([SANCHEZ; UEHARA, 1980](#); [GOEDERT et al., 1986](#); [NOVAIS; SMYTH, 1999](#); [ANGHINONI, 2004](#); [PROCHNOW et al., 2004](#); [SOUSA et al., 2004](#)).

Chama-se atenção para o fato de que, em áreas que já foram adubadas anteriormente, os efeitos do fornecimento de fósforo podem não seguir os padrões típicos das respostas normalmente verificadas nos estudos de adubação fosfatada conduzidos em solos virgens (KAMINSKI; PERUZZO, 1997; ANGHINONI, 2004). Após nova aplicação de fosfatos, a dinâmica que se estabelece entre as formas de P, bem como a biodisponibilidade do nutriente, costumam ser diferenciadas, de forma que solos com certa reserva do nutriente tendem a favorecer a equiparação das respostas a distintas estratégias de manejo da adubação fosfatada.

Vários trabalhos conduzidos em campo e inúmeros em condições controladas relatam diversos aspectos ligados à dinâmica do fósforo no solo e nas plantas e sua relação com a produtividade das culturas. Contudo, relativamente poucos têm sido os estudos de longa duração

conduzidos no País, a despeito da enorme influência do efeito residual dos fosfatos, quando se avaliam a eficiência técnica e o retorno econômico da adubação. A necessidade de acompanhamento de longo prazo torna-se ainda mais patente em razão da probabilidade de variação do custo dos insumos e das respostas em produtividade de um ano para outro, quando uma avaliação isolada pode levar a conclusões parciais ou prematuras para uma perspectiva de utilização continuada do solo.

Nesta publicação, apresenta-se uma revisão sobre os principais aspectos relacionados à dinâmica do fósforo no solo, sua biodisponibilidade, e o manejo visando à maior eficiência da adubação fosfatada no Cerrado, considerando a possibilidade de utilização de fosfatos solúveis e de fosfatos naturais.

O fósforo nos solos das regiões tropicais

Como é típico em grande parte dos solos das regiões tropicais e na quase totalidade dos solos de Cerrado, uma vez liberado na solução, o P oriundo dos fertilizantes tende a precipitar-se com alumínio (Al), ferro (Fe), ou cálcio (Ca) ou, ainda, ser adsorvido à superfície de partículas de argila e dos óxidos de Fe e Al. Essas reações correspondem ao processo de fixação do fósforo pelo solo. Como consequência da fixação, o fósforo passa a fazer parte de compostos de baixa solubilidade, ficando menos disponível para a absorção vegetal. Normalmente, essa indisponibilização é tão mais intensa quanto mais intemperizado, ácido, argiloso e oxidado for o solo. A implicação prática disso é que, embora a exigência de fósforo pelas plantas não seja elevada, grandes quantidades do nutriente devem ser fornecidas nas adubações para promover alguma saturação do solo e originar um excedente que atenda aos requerimentos nutricionais das culturas.

Formas e dinâmica do fósforo

O P liberado dos fertilizantes passa para a solução do solo e em seguida para a fase sólida, convertendo-se inicialmente em fósforo lábil e, com o tempo, passando a formas não-lábeis, as quais não seriam passíveis de

aproveitamento imediato pelas plantas (P não-disponível). No caso de solos ácidos, o fósforo pode ser removido da solução do solo via adsorção por ligações covalentes de alta energia com a superfície de argilas e óxidos hidratados de ferro e de alumínio. Reações de precipitação com íons de Al, Fe e Ca presentes na solução, formando compostos de solubilidade variável, seriam outros processos de indisponibilização do P fornecido na adubação. O nutriente pode, ainda, passar a fazer parte de compostos orgânicos. O P orgânico ocorre em teores variáveis, associados ao conteúdo de matéria orgânica do solo. A adsorção e a precipitação constituem os mecanismos relacionados ao fenômeno genericamente referido como “fixação do fósforo pelo solo”. Em geral, quanto maior a acidez, o teor de argila e, principalmente, quanto maior a presença de óxidos de Fe e Al na fração argila, mais intenso é o processo de fixação nos solos dos trópicos ([SAMPLE et al., 1980](#); [SANCHEZ; UEHARA, 1980](#); [MALAVOLTA, 1981](#); [LOPES, 1983](#); [RAIJ, 1991](#); [TISDALE et al., 1993](#); [NOVAIS; SMYTH, 1999](#)). Portanto, como será visto adiante, a capacidade de fixação de P representa um fator que condiciona fortemente o manejo da adubação fosfatada nos solos de Cerrado.

As diferentes formas de P no solo são agrupadas em três frações relacionadas à sua biodisponibilidade: o fósforo em solução, o fósforo lábil e o fósforo não-lábil. O teor de P na solução é geralmente baixo (menor que $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$, predominantemente na forma de H_2PO_4^- nos solos da região do Cerrado) e representa muito pouco para as necessidades dos vegetais, estando em equilíbrio rápido com as formas lábeis da fase sólida. Esse equilíbrio dá-se por meio da dessorção e dissolução do fosfato lábil, repondo constantemente o fósforo absorvido da solução pelas raízes das plantas. O P não-lábil, maior proporção do P inorgânico do solo, apenas lentamente pode voltar a formas lábeis. Portanto, o que se procura determinar na análise de solo para fins de adubação é o somatório do P-solução e P-lábil (P disponível). A fração de P precipitado com Fe, Al e Ca, mais aquela adsorvida em óxidos de Fe e Al, representam o P lábil, enquanto o P não-lábil corresponderia aos compostos fosfatados mais complexos e estáveis ([GOEDERT et al., 1986](#); [RAIJ, 1991](#)).

Disponibilidade às plantas

Embora os teores totais de fósforo nos solos de Cerrado variem de 50 a 350 mg dm⁻³ ([GOEDERT et al., 1986](#)), a fração disponível para absorção pelas plantas é muito pequena, de forma que a baixa disponibilidade natural de P constitui-se numa das maiores limitações à agricultura na região ([LOPES, 1983](#)). Essa condição, associada à elevada capacidade de fixação de P, reflete no uso intensivo de fertilizantes fosfatados para viabilizar a exploração desses solos, sobretudo em sistemas de produção tecnificados, pois, antes de atender à exigência da planta, é preciso saturar os componentes consumidores de P do solo.

Em virtude da baixa concentração em que ocorre na solução, o fósforo precisa ser continuamente ressuprido pela fase sólida para nutrir satisfatoriamente as culturas. A resistência que o solo oferece à alteração na concentração de P na solução, ou a capacidade do solo repor o P absorvido da solução pelas raízes, denomina-se capacidade tampão de fosfato ou fator capacidade de P (FCP), o qual depende da relação entre os fatores quantidade (P-lábil) e intensidade (P-solução) e correlaciona-se positivamente com a capacidade de fixação de P do solo. A disponibilidade do nutriente às plantas é muito afetada pelo FCP. Numa comparação simplificada, pode-se considerar que os solos mais argilosos possuem maior FCP que os arenosos e, portanto, competem mais com a planta pelo fósforo adicionado via fertilizante. Desse modo, na conversão de áreas sob Cerrado nativo em lavouras, os solos argilosos requerem quantidades mais elevadas de fosfatos na adubação. No entanto, apesar de necessitarem de menos fertilizantes fosfatados, os solos arenosos são exauridos mais facilmente com o cultivo contínuo, ou seja, possuem menor capacidade de reserva de P ([LOPES, 1983](#); [NOVAIS; SMYTH, 1999](#)).

Diante do exposto, verifica-se que a análise do solo é imprescindível para definir quantidades adequadas de fertilizantes fosfatados a serem fornecidas conforme o “status” de fertilidade do solo em relação ao fósforo. Dentre os métodos de análise de solo para avaliação da disponibilidade de P, os mais empregados na região do Cerrado envolvem o uso do extrator Mehlich 1 ou da resina trocadora de íons ([SOUSA et al., 2004](#)).

Todavia, por causa das limitações do próprio extrator na quantificação do P disponível, a análise de solo pode não expressar a real disponibilidade do nutriente para a planta. O Mehlich 1 é um extrator ácido (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N) que tem ação baseada na substituição aniônica de fosfatos adsorvidos e solubilização dos compostos de P ligado a Al, Fe e, principalmente, Ca. A adequabilidade desse extrator para solos ácidos ricos em óxidos de Fe e Al e caulinita tem sido questionada ([RAIJ et al., 1986](#); [RAIJ, 1991](#); [NOVAIS; SMYTH, 1999](#); [RAIJ, 2004](#)). Em se tratando de certos solos argilosos que vêm sendo adubados, o uso de extratores ácidos forneceria valores excessivamente baixos de P. Nesses solos, as culturas produzem bem e não apresentam maiores respostas à adubação fosfatada. Uma outra limitação do Mehlich 1 seria para solos que receberam aplicações recentes de fosfatos naturais de baixa solubilidade, quando, normalmente, o extrator fornece valores de disponibilidade superestimados em razão da dissolução do P ligado a Ca, que não estaria prontamente disponível. Teoricamente, nessas circunstâncias, o uso da resina de troca iônica seria mais apropriado, uma vez que, devido à natureza e modo de ação da resina, não haveria desgaste do extrator pelo tamponamento dos solos argilosos ou dissolução de formas de P não-disponíveis, como ocorre para o Mehlich 1 (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Adubação fosfatada

Fontes de fósforo

No Brasil, os principais fertilizantes utilizados como fontes de P são os fosfatos totalmente acidulados (superfosfato simples e superfosfato triplo), os fosfatos de amônio (monoamônio fosfato – MAP e diamônio fosfato – DAP), os termofosfatos (termofosfato magnesiano) e os fosfatos naturais importados (fosfatos de Arad, Gafsa, Carolina do Norte, etc.) e nacionais (fosfatos de Araxá, Patos de Minas, etc.).

Os adubos fosfatados com alta concentração de P solúvel, como os superfosfatos, têm no seu processo de fabricação a utilização de métodos específicos de purificação e concentração da matéria-prima (rocha fosfática) e o emprego de ácidos (principalmente H_2SO_4 e H_3PO_4) para solubilização desse material ([PROCHNOW et al., 2004](#)), o que eleva

bastante o custo final desses fertilizantes. Esses fosfatos são tidos como de alta eficiência, pois, uma vez aplicados ao solo, liberam prontamente grande parte do seu conteúdo em P, favorecendo a absorção pelas plantas ([GOEDERT; SOUSA, 1984](#)). Outros fertilizantes são produzidos mediante tratamento térmico da rocha fosfatada e fusão com rochas ricas em magnésio e silício, dando origem aos termofosfatos magnesianos. Já, na produção dos fosfatos naturais, as rochas fosfáticas são apenas moídas, envolvendo, portanto, menores custos ([MALAVOLTA, 1981](#); [GOEDERT et al., 1986](#)). Os fosfatos naturais seriam, então, uma fonte alternativa aos fosfatos acidulados, mais baratos e agronomicamente efetivos sob certas condições de solo, cultura e manejo ([SANCHEZ; UEHARA, 1980](#); [BARBOSA FILHO, 1984](#); [RAJAN et al., 1996](#); [RESENDE et al., 2006](#)).

Todavia, existe grande variabilidade dos fosfatos naturais em relação à solubilidade e aos teores de fósforo. Essa variabilidade é decorrente de características intrínsecas às rochas, como o grau de substituição isomórfica de fosfato por carbonato, e da granulometria do material aplicado ao solo. Tanto a composição química quanto a granulometria condicionam a dissolução dos fosfatos naturais. Maior substituição de fosfato por carbonato e menor granulometria favorecem a dissolução no solo ([ENGELSTAD; TERMAN, 1980](#); [RAJAN et al., 1996](#); [KAMINSKI; PERUZZO, 1997](#); [HOROWITZ; MEURER, 2004](#)).

Os principais depósitos de fosfatos existentes no Brasil são constituídos principalmente de apatitas, rochas de origem ígnea, em geral, associadas a processos de alteração intempélica, que apresentam complexidade acentuada, além de baixos teores de fósforo. Na região do Cerrado, são encontradas algumas das principais jazidas do País. Entretanto, por sua origem ígnea ou metamórfica, apresentam estrutura bem cristalizada e fornecem fosfatos naturais de baixa reatividade, o que implica lenta solubilização no solo ([MALAVOLTA, 1981](#); [HOROWITZ; MEURER, 2004](#)). Contudo, a expectativa é que, com o aumento da demanda mundial de fertilizantes e esgotamento das reservas de fosfatos de alta qualidade, fontes menos nobres associadas a estratégias alternativas de fornecimento de P às culturas poderão tornar-se viáveis no País.

A utilização de fosfatos naturais de baixa reatividade, como os brasileiros, para culturas anuais é considerada inadequada ([RAIJ, 1991](#)), pois não há liberação de P do fosfato natural a taxas suficientemente elevadas para satisfazer às necessidades da planta, resultando baixa eficiência agrônômica. Já os fosfatos naturais importados, como o Arad (Israel), o Gafsa (Tunísia) e o Carolina do Norte (EUA), são derivados de rochas de origem sedimentar e apresentam alta reatividade em razão do elevado grau de substituição de fosfatos por carbonatos e menor cristalização das rochas, que, por isso, decompõem-se mais facilmente ([LEHR, 1980](#); [KAMINSKI; PERUZZO, 1997](#)). Diversos autores têm relatado experiências positivas com o uso de fosfatos naturais reativos em diferentes sistemas de manejo da adubação no Brasil, inclusive no Cerrado ([GOEDERT; LOBATO, 1984](#); [OLIVEIRA et al., 1984](#); [KAMINSKY; PERUZZO, 1997](#); [KORNDÖRFER et al., 1999](#); [HOROWITZ; MEURER, 2004](#); [SOUSA; LOBATO, 2004](#); [RESENDE et al., 2006](#)).

Manejo e eficiência da adubação

Ainda existem muitas divergências sobre a melhor forma de utilização das diversas fontes fosfatadas disponíveis no País. Na avaliação da eficiência, é importante levar em consideração aspectos como a natureza química, o método de aplicação, a granulometria e a dose do fertilizante, o pH do solo, as condições climáticas, o sistema de preparo do solo, a interação com outros nutrientes e a espécie vegetal, entre outros ([ENGELSTAD; TERMAN, 1980](#); [GOEDERT; SOUSA, 1984](#); [GOEDERT et al., 1986](#); [ANGHINONI, 2004](#); [PROCHNOW et al., 2004](#); [SOUSA et al., 2004](#)). Existem vários métodos que objetivam avaliar a eficiência dos fertilizantes fosfatados. A eficiência agrônômica dos fosfatos alternativos pode ser obtida por meio da comparação com uma fonte de P usada como referência, normalmente fosfatos de alta solubilidade, como o superfosfato triplo e o MAP.

Em geral, os fosfatos mais solúveis, como os superfosfatos simples e triplo, são os produtos de melhor desempenho em suprir P às culturas anuais e têm sido utilizados em aplicações a lanço, em faixas e no sulco de semeadura. Logo após a aplicação dos fertilizantes solúveis, o P tende a ser rapidamente adsorvido pelo solo ou precipitado, formando compostos de

menor solubilidade ([LOPES; GUILHERME, 1992](#)). Em solos pobres e para doses moderadas de P, o uso desses fertilizantes na forma granulada e em aplicações localizadas reduz o contato com o solo e contribui para aumentar a eficiência da adubação ([SANCHEZ; UEHARA, 1980](#); [RAIJ, 1991](#); [ANGHINONI, 2004](#); [PROCHNOW et al., 2004](#)). No sistema de preparo convencional do solo, considerando a produção de vários cultivos, a forma de aplicação deixa de ser relevante e passa a importar mais a quantidade total de P fornecida, uma vez que o revolvimento periódico do solo favorece a homogeneização da camada arável ([GOEDERT et al., 1986](#)). Para sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, são mais escassas as informações sobre a melhor forma de manejo, mas há indicativos de que a dinâmica do fósforo, especialmente no tocante às formas orgânicas, seja diferenciada ([COELHO; ALVES, 2004](#); [SÁ, 2004](#)).

A aplicação localizada dos fosfatos aumenta a quantidade de P aplicado por volume de solo na região adubada, no entanto, reduz a proporção de raízes da planta que poderiam absorvê-lo. Já a aplicação a lanço, com posterior incorporação na camada arável, aumenta o contato do fosfato com o solo, facilitando sua fixação, mas favorece maior exploração do solo pelo sistema radicular. De acordo com [Lopes \(1983\)](#) e [Goedert e Sousa \(1984\)](#), a maior exploração do solo pelas raízes tende a ser benéfica para a produção vegetal quando da ocorrência de veranicos, circunstância em que a adubação a lanço pode resultar em maior produtividade das lavouras.

Utilizando doses de superfosfato triplo incorporado em diferentes proporções de um Argissolo Vermelho franco argiloso (6,25 %; 12,5 %; 25 %; 50 %; 75 % e 100 %), [Anghinoni \(1992\)](#) verificou que, para as doses de P mais baixas, maior eficiência foi obtida quando a mistura foi feita com as menores proporções de solo. As proporções intermediárias de mistura com solo foram mais eficientes com o aumento nas doses de P, mas a forma de aplicação deixou de ser importante para as maiores doses.

Durante muito tempo, houve certo consenso de que, nas recomendações de uso dos fosfatos naturais de baixa reatividade, deveria-se preconizar o emprego do produto finamente moído, aplicado a lanço e incorporado em áreas de solos ácidos, visando ao fornecimento de P para culturas perenes,

gramíneas e espécies tolerantes à acidez ([GOEDERT et al., 1986](#); [RAIJ, 1991](#); [LOPES, 1999](#)). No entanto, mais recentemente, tem-se sugerido que a aplicação deve ser localizada na linha de plantio, de forma a privilegiar a planta no aproveitamento do P oriundo do fosfato natural, minimizando o dreno do nutriente pelo solo ([NOVAIS, 1999](#); [NOVAIS; SMYTH, 1999](#)). No meio científico, esses aspectos ainda permanecem controversos.

Numerosos fatores isolados, assim como as suas interações, interferem na disponibilização e na manutenção da disponibilidade do P dos fosfatos aplicados ao solo, nas respostas das plantas e, conseqüentemente, na eficiência da adubação. Assim, não existem modelos conclusivos que expliquem e possibilitem prever com exatidão o comportamento de diferentes fontes de P em função do manejo da adubação. A seguir, comenta-se a respeito de alguns desses fatores.

Além da solubilidade, a granulometria também afeta a eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados. No caso dos fosfatos naturais, o tamanho reduzido de partículas favorece a eficiência em virtude da maior superfície de exposição e conseqüente aumento da solubilidade ([SANCHEZ; UEHARA, 1980](#); [RAIJ, 1991](#); [REIN et al., 1994](#); [HOROWITZ; MEURER, 2004](#)).

Um dos principais fatores que interferem na dissolução dos fosfatos naturais é a presença de prótons (H^+), os quais são cedidos pelo solo. Sob essa ótica, o fosfato fino deveria ser incorporado a um maior volume de solo, favorecendo o contato com os componentes edáficos, a fim de permitir a solubilização. Condições de maior acidez (presença de íons H^+) são necessárias para aumentar a dissolução ([TISDALE et al., 1993](#); [RAIJ, 1991](#); [RAJAN et al., 1996](#); [LOPES, 1999](#)). De acordo com Goedert et al. (1986), para os fosfatos naturais de origem apatítica, como é o caso dos fosfatos de rocha brasileiros, pode-se esperar uma maior solubilidade em solos ácidos com baixos teores de Ca disponível, condições típicas das áreas recém-abertas do Cerrado.

Havendo solubilização do fosfato natural, há um aumento da concentração dos produtos da dissolução, Ca e P, nas vizinhanças das partículas de fosfato, tendendo a um equilíbrio que acaba por restringir a própria

solubilização dessas partículas. Uma maior remoção de Ca e P faz com que aumente a taxa de dissolução do fosfato natural. Condições que favoreçam o aumento da CTC (maior teor de matéria orgânica) e a própria cultura podem exercer papel preponderante na eficiência dos fosfatos naturais, uma vez que atuariam como dreno de Ca ([RAJAN et al., 1996](#); [NOVAIS; SMYTH, 1999](#)).

O fator capacidade de P (FCP) do solo exerce grande influência sobre a eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados. Solos que possuem maior capacidade de fixação (elevado FCP), caso daqueles mais argilosos, apresentam menor disponibilidade do P proveniente do fertilizante, isto é, necessitam de maiores quantidades de fertilizantes fosfatados para se obter determinada concentração de P na solução do solo. Esses solos podem estimular a solubilização dos fosfatos naturais, o que não significa aumento de eficiência, uma vez que o próprio solo pode indisponibilizar o P liberado ([NOVAIS, 1999](#)).

O estado de umidade do solo afeta tanto a solubilização dos fosfatos quanto a difusão do P no solo ([TISDALE et al., 1993](#); RAJAN et al., 1996). O principal mecanismo de contato íon-raiz para o P é a difusão, a qual é dependente do grau de umidade do solo ([BARBER, 1980](#); [MALAVOLTA et al., 1997](#); [ANGHINONI, 2004](#)). Nesse sentido, as condições climáticas podem influenciar a taxa de liberação de P dos fertilizantes, bem como seu aproveitamento (absorção) pelas plantas, restringindo ou potencializando a eficiência da adubação fosfatada.

A presença de outros elementos constituintes pode ter influência sobre o desempenho agrônômico dos fosfatos. O silício (Si) é considerado um elemento benéfico ao crescimento das plantas. Além do aspecto nutricional, o Si na forma de silicato, parece afetar a disponibilidade de P ([SANCHEZ; UEHARA, 1980](#)). Segundo [Tisdale et al. \(1993\)](#), os óxidos de Fe e Al apresentam alta capacidade de adsorver ânions silicato, assim como ocorre para o fosfato. Uma maior quantidade de silicato no solo aumentaria a disponibilidade de P em virtude da competição com os fosfatos pelos sítios carregados positivamente nos óxidos de Fe e Al.

Comparativamente a outras fontes de P, o uso do termofosfato magnesiano implica na adição de quantidades expressivas de Si e magnésio (Mg), fato por vezes associado à boa eficiência agrônômica normalmente obtida com esse fertilizante.

É preciso considerar, ainda, que existem diferenças entre espécies e entre variedades de uma mesma espécie quanto à capacidade de aproveitar o P do solo e aquele presente nos fosfatos naturais ([SANCHEZ; UEHARA, 1980](#); [RAJAN et al., 1996](#); FAGERIA; BALIGAR, 1997; [CIARELLI et al., 1998](#); [MACHADO et al., 2001](#); FERNANDES; MURAOKA, 2002).

Mecanismos diversos têm sido associados às diferenças genótípicas em relação à eficiência de absorção e de utilização de P ([FURLANI; MACHADO, 2002](#)). Algumas plantas podem liberar ácidos ou bases alterando o pH da rizosfera, o que interfere na solubilização e biodisponibilidade dos fosfatos. A absorção de grandes quantidades de Ca e a produção de substâncias que formam complexos com Ca também afetam a taxa de dissolução (RAJAN et al., 1996). No caso do milho, por exemplo, a partir de 1990, iniciaram-se programas de melhoramento explorando a variabilidade genética em relação à eficiência nutricional. Como consequência, já se dispõe hoje de genótipos que associam alta produtividade e maior capacidade de aquisição e uso de P. Variações na arquitetura e crescimento radicular e na capacidade de formar associações com fungos micorrízicos parecem estar relacionadas à maior eficiência a fósforo de alguns híbridos de milho desenvolvidos pela Embrapa Milho e Sorgo ([COELHO; ALVES, 2004](#)).

Efeito residual

Um aspecto de grande importância na avaliação da eficiência dos fertilizantes fosfatados é seu efeito residual. Quando o solo sofre preparo periódico, o efeito residual de longo prazo deve ser semelhante, independentemente da forma de aplicação para as fontes solúveis ([GOEDERT; SOUSA, 1984](#)). Para os fosfatos naturais, mesmo os não-reativos, a eficiência aumenta com o tempo e com o revolvimento do solo ([LOPES, 1999](#)).

De acordo com [Souza et al. \(2004\)](#), em relação ao efeito obtido no ano da aplicação, o residual de fontes solúveis corresponde a 60 %, 45 %, 35 %, 15 % e 5 %, respectivamente, no decorrer dos cinco anos seguintes. No caso das fontes de baixa solubilidade, como os fosfatos naturais brasileiros, o desempenho melhora até o terceiro ano e começa a decrescer. Os autores destacam ainda que, sob plantio direto, a dissolução dos fosfatos naturais é prejudicada, resultando em rendimento de grãos 50 % menor do que o observado com o preparo convencional do solo. O comportamento dos fosfatos reativos difere bastante em relação aos fosfatos naturais brasileiros. Sua eficiência agrônômica apresenta-se similar à obtida com o superfosfato triplo no primeiro ano e chega a ser maior quando são considerados os efeitos residuais ([KAMINSKI; PERUZZO, 1997](#); [HOROWITZ; MEURER, 2004](#); [SOUZA et al., 2004](#); [RESENDE et al., 2006](#)).

[Goedert e Lobato \(1984\)](#) conduziram um experimento de campo durante oito anos, numa sucessão de cultivos de trigo, soja, soja, arroz, sorgo e capim andropogon (três anos) num latossolo argiloso de Cerrado em sistema de preparo convencional. Foram testadas 11 fontes de P aplicadas a lanço no primeiro ano. Foi calculada a eficiência agrônômica das fontes usando-se o superfosfato triplo como referência. A classificação das fontes em ordem decrescente de eficiência foi: termofosfato magnesiano, fosfato de Gafsa, fosfato da Flórida, fosfato de Tennessee, fosfato de Pirocaua (tratamento térmico), fosfato de Patos de Minas, fosfato de Araxá, fosfato de Abaeté e fosfato de Catalão. Depois do quinto ano de cultivo, os índices foram semelhantes para todos os fosfatos naturais. A solubilidade inicial foi lenta em todas as fontes nacionais.

De acordo com [Smyth e Sanchez \(1982\)](#), o maior tempo de contato solo-fosfato, que causa maior dissolução, também provoca menor disponibilidade de P para as plantas. Com o aumento do tempo de contato, [Cantarutti et al. \(1981\)](#) verificaram decréscimo acentuado na eficiência do fosfato de Araxá como fonte de P para plantas de sorgo. As condições que favorecem maior solubilização geralmente não favorecem a biodisponibilidade do P proveniente dessas fontes. Nessas condições, o solo é favorecido como dreno de P e não a planta.

Conforme [Rajan et al. \(1996\)](#), um maior ou menor efeito residual de fontes solúveis resulta do grau de solubilidade dos produtos das reações do P dissolvido do fertilizante com os componentes do solo. No caso dos fosfatos naturais, o efeito residual é ditado pela taxa de dissolução e pela permanência do próprio fosfato natural como partícula no solo ao longo do tempo. Ao contrário de uma única aplicação, quando os fosfatos naturais são aplicados continuamente por vários anos, uma maior fração não dissolvida desses fosfatos pode ser acumulada no solo (mantendo o P protegido das reações de indisponibilização) e, com a dissolução gradual dessa fração, pode-se verificar elevado efeito residual nos anos subseqüentes. Essa prática de manejo certamente deve minimizar os problemas ligados ao tempo de contato do adubo com o solo e pode contribuir para melhorar o desempenho dos fosfatos naturais em relação às fontes de alta solubilidade. Dessa forma, esses autores sugerem que os fosfatos naturais de maior eficiência agronômica seriam as fontes ideais para o manejo de longo prazo, pois acabam sendo uma fonte de liberação controlada de fósforo.

Aspectos econômicos

Boas produtividades e menores custos são condições sempre almejadas pelos agricultores. Entretanto, face à gama de variáveis que interferem na efetividade das fontes de P e no potencial de resposta das culturas, a definição da melhor estratégia de manejo da adubação fosfatada não é tarefa simples, mesmo porque, alta eficiência técnica (produtividade elevada) não necessariamente corresponde à alta eficiência econômica (retorno financeiro elevado). Ou seja, as alternativas de adubação agronomicamente mais promissoras podem não corresponder àquelas mais convenientes quanto ao aspecto econômico. Resguardada a importância das avaliações agronômicas, é preciso sempre levar em conta o retorno econômico das diferentes combinações de fontes e métodos de aplicação de fósforo, principalmente quando as produtividades obtidas tendem à equidade, e considerando que os preços dos diferentes fertilizantes fosfatados são variáveis e sujeitos a instabilidades de mercado.

Os gastos com a adubação fosfatada representam parte considerável do custo das lavouras na região do Cerrado e variam dependendo da fonte de

P utilizada e do prazo considerado para o retorno do investimento ([SOUSA et al., 2004](#)). Em condições de sequeiro, a adubação fosfatada corresponde a cerca de 19,5 % do custo de conversão de um hectare de Cerrado nativo em área de produção comercial de grãos ([LOBATO; SOUSA, 2004](#)).

O manejo da fertilidade do solo em relação ao fósforo deve ser estrategicamente planejado numa perspectiva de longo prazo, uma vez que o custo da adubação e as respostas em produtividade estão sujeitas a muitas incertezas e podem variar de um ano para outro (FIXEN; HALVORSON, 1991; [REETZ JUNIOR; FIXEN, 1992](#); [SOUSA; LOBATO, 2004](#)). Um aspecto importante é que a relação benefício/custo do uso de fosfatos pode diferir muito quando se considera a produção obtida no ano da aplicação ou a produção acumulada de vários cultivos. Tendo em vista que uma fração relativamente pequena do fósforo é aproveitada no primeiro ano e o restante permanece no solo, em formas de maior ou menor disponibilidade às plantas, o efeito residual passa a ser um componente muito importante na avaliação econômica de práticas de adubação fosfatada ([GOEDERT; LOBATO, 1984](#); [SOUSA; LOBATO, 2004](#)). Quando amortizado num período mais longo, o investimento financeiro na construção da fertilidade do solo é menos impactante no orçamento global das propriedades rurais.

Perspectivas da adubação fosfatada no Cerrado

As explicações para fenômenos estudados de forma isolada (ensaios em vasos) nem sempre se confirmam em sistemas abertos (lavouras). Essa premissa parece aplicar-se especialmente ao caso do fósforo na agricultura. Frequentemente, os resultados obtidos extrapolam os limites do planejamento e controle experimentais, dificultando o estabelecimento consistente de relações de causa e efeito. Apesar de mais laboriosos, estudos em condições de campo se aproximam mais da realidade dos sistemas de produção, o que leva a uma maior aplicabilidade das informações geradas. No caso específico do uso de fosfatos, experimentos de longa duração são fundamentais para respaldar inferências acerca da eficiência de manejo da adubação, uma vez

que permitem contornar problemas relativos às inconstâncias das respostas observadas em anos isolados e avaliar um forte condicionante da eficiência, que é o efeito residual dos tratamentos ([BARBOSA FILHO, 1984](#); [RAJAN et al., 1996](#); [SOUSA et al., 2004](#)).

Há ainda muita dificuldade em estabelecer recomendações de adubação otimizadas, baseadas em critérios para alta eficiência técnica e econômica. A diversidade de fertilizantes fosfatados disponíveis, assim como as variações quanto à solubilidade das fontes, leva à necessidade de definição ou confirmação das melhores doses e formas de aplicação desses fertilizantes em diferentes ambientes, a fim de subsidiar os técnicos e agricultores na tomada de decisão para aquisição de insumos e manejo da adubação fosfatada. Tal necessidade se dá, sobretudo, para áreas que já vêm sendo cultivadas há mais tempo e em sistemas de produção que envolvem menor mobilização do solo.

Para o milho, por exemplo, com base em levantamento considerando vários estudos de campo no País, [Coelho e Alves \(2004\)](#) constataram que doses variando de 80 a 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionaram produtividades máximas de 6 a 11 t ha⁻¹ no sistema de preparo convencional. De acordo com esses autores, existe alguma tendência de melhor aproveitamento do P em lavouras de milho conduzidas no sistema de plantio direto, o que resultaria em menor requerimento de fertilizantes fosfatados em comparação às áreas sob preparo convencional. Todavia, não se têm ainda argumentos seguramente comprovados para explicar tal tendência.

Em solos adubados anteriormente, os efeitos da aplicação de fosfatos não seguem os padrões de resposta típicos das áreas de Cerrado recém-abertas, nas quais, sem o fornecimento de fósforo, as produções alcançadas são muito pequenas ([SOUSA; LOBATO, 2004](#)). Solos com alguma reserva do nutriente tendem a favorecer a equiparação das respostas a distintas estratégias de manejo da adubação fosfatada ([KAMINSKI; PERUZZO, 1997](#); [ANGHINONI, 2004](#); [RESENDE et al., 2006](#)).

A partir de certo nível de fertilidade, as influências do tipo de fosfato e da forma de aplicação perdem relevância e isso se dá de forma cada vez mais

nítida no decorrer de cultivos sucessivos. A obtenção de eficiência similar para formas de adubação bastante diferentes é uma perspectiva concreta nas áreas de Cerrado submetidas ao cultivo e adubadas há mais tempo, situações em que o solo adquire caráter-fonte de fósforo mais pronunciado ou reduz o caráter-dreno. Dynia e Camargo (1997) verificaram que, após 17 cultivos (arroz, feijão, trigo e milho) durante seis anos e meio com adubações de manutenção, houve redução da capacidade de adsorção de P de um latossolo argiloso de Cerrado, significando a possibilidade de diminuição na adubação fosfatada. Segundo [Rajan et al. \(1996\)](#), nos solos com elevado FCP, teoricamente, após a dissolução do fosfato natural (favorecida pela baixa concentração de P na solução do solo – elevado FCP), o P é fixado imediatamente se a disponibilidade do nutriente estiver abaixo do nível crítico, mas permanece mais disponível se o solo já tiver certa reserva do nutriente. Isso explicaria o desempenho satisfatório observado para os fosfatos naturais em algumas áreas cultivadas há mais tempo.

O atendimento da demanda das culturas, com um mínimo de fixação de fósforo no solo, deve constituir o foco central para otimização da adubação fosfatada. Em se tratando de solo com fertilidade já construída, isto é, quando o teor de P na análise do solo está próximo ao nível crítico ou na faixa adequada de disponibilidade, a quantidade de fertilizante fosfatado a ser utilizada pode ser definida apenas visando à reposição do que é exportado nas colheitas ([SOUSA et al., 2004](#)). Assim, mantém-se a fertilidade do solo para os cultivos seguintes. Esse critério é bastante conveniente sob a ótica de racionalidade no uso de insumos, uma vez que, como tudo indica, a aplicação de P em excesso não é uma estratégia interessante técnica ou economicamente.

Sistemas de produção envolvendo novas práticas de manejo do solo e das culturas, como o plantio direto e a integração lavoura-pecuária, induzem alterações na liberação, dinâmica e disponibilidade do P aplicado, comparativamente aos sistemas tradicionais de cultivo, os quais, por sua vez, ainda representam a base do conhecimento em manejo da adubação fosfatada no Brasil. Um diferencial importante em sistemas com menor

revolvimento do solo parece ser a expressiva participação de formas orgânicas no estoque de fósforo potencialmente aproveitável pelas culturas ([TOKURA et al., 2002](#); [SÁ, 2004](#)). Nesse caso, a biodisponibilidade de P pode não ser claramente evidenciada nos resultados da análise de solo de rotina. Divergências entre respostas à adubação e os níveis de disponibilidade de fósforo no solo pelos extratores Mehlich 1 e resina têm sido relatadas para o milho sob plantio direto nos Campos Gerais do Paraná ([SÁ, 2004](#)) e após braquiária na região do Cerrado ([RESENDE et al., 2006](#)). Portanto, o desenvolvimento de métodos laboratoriais de rotina sensíveis para a avaliação do P disponível, oriundo de formas de inorgânicas e orgânicas, constitui uma nova demanda para a pesquisa em fertilidade do solo.

A braquiária é uma gramínea tida como bastante eficiente na absorção de fósforo, inclusive no aproveitamento de fontes pouco solúveis ([GOEDERT et al., 1986](#); [SOUSA et al., 2004](#)). Sousa e Lobato (2004) relataram que, num latossolo muito argiloso adubado com superfosfato simples em doses de 100 a 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a recuperação média de P após 17 anos foi de 36 % e 61 %, respectivamente, quando a área foi plantada exclusivamente com culturas anuais e quando se intercalou a braquiária por nove anos durante o período. Em argissolos e latossolos sob vegetação de gramíneas forrageiras, [Guerra et al. \(1996\)](#) observaram que o teor de carbono total estava altamente correlacionado com a fração lábil do fósforo orgânico e esta, por sua vez, com o teor de P disponível, reforçando a idéia de que a biodisponibilidade do nutriente não está estritamente ligada às frações inorgânicas. Nesse contexto, sistemas de integração lavoura-pecuária utilizando braquiária ou outras gramíneas forrageiras, conduzidos com revolvimento mínimo de solo, podem proporcionar condições favoráveis para que o fósforo aplicado nas adubações seja convertido a formas orgânicas e permaneça biodisponível, representando uma importante reserva do nutriente às culturas.

Os aspectos tratados nesse item sugerem novas conjunturas a serem examinadas em detalhes nas futuras ações de pesquisa. Tendo em vista que os sistemas agrícolas e, conseqüentemente, os ambientes de produção são dinâmicos, a contínua geração de informações será sempre necessária na busca da condição ideal apontada por [Helyar \(1998\)](#), pela qual a

maximização da eficiência de uso do fósforo nos sistemas agrícolas é obtida, minimizando-se as quantidades de P requeridas para manter um nível economicamente ótimo de fertilidade do solo. De acordo com essa diretriz, a eficiência definitiva é alcançada em sistemas em que a quantidade de P demandada na adubação de manutenção seja igual à quantidade exportada com as colheitas.

Referências

- ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 537-562.
- ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 349-353, set./dez. 1992.
- BARBER, S. A. Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 591-615.
- BARBOSA FILHO, M. P. Utilização de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 28, p. 1-4, dez. 1984.
- CANTARUTTI, R. B.; BRAGA, J. M.; NOVAIS, R. F.; THIÈBAUT, J. T. L. Época de aplicação de fosfato natural em relação a calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 2, p. 129-133, maio/ago. 1981.
- CIARELLI, D. M.; FURLANI, A. M. C.; DECHEN, A. R.; LIMA, M. Genetic variation among maize genotypes for phosphorus-uptake and phosphorus-use efficiency in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 10, p. 2219-2229, 1998.
- COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C. Adubação fosfatada na cultura do milho. Eficiência agronômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 243-283.

m phosphorus management for small grain production. **Better Crops With Plant Food**, Atlanta, v. 75, n. 3, p. 26-29, 1991.

FURLANI, A. M. C.; MACHADO, C. T. T. Variabilidade e herança da eficiência na absorção e utilização de nutrientes em ambientes marginais, em germoplasma de soja, trigo, arroz e milho. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 337-391, 2002.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1986. p. 129-166.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 97-102, jan./abr. 1984.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais....** Brasília: Embrapa, 1984. p. 255-290.

GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 4, p. 291-299, abr. 1996.

HELYAR, K. R. Efficiency of nutrient utilization and sustaining soil fertility with particular reference to phosphorus. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, n. 1/2, p. 187-195, Mar. 1998.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 665-687.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31 p. (Boletim técnico, n. 3).

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 391-396, abr./jun. 1999.

LEHR, J. R. Phosphate raw materials and fertilizers: Part I – A look ahead. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 81-128.

LOBATO, E.; SOUSA, D.M.G. Fertilidade do solo e máxima eficiência produtiva. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 257-282.

LOPES, A. S. Fosfatos naturais. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 65-66.

LOPES, A. S. **Solos sob “Cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilizantes e corretivos agrícolas: sugestões de manejo para uso eficiente. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 39-69.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C.; MACHADO, A. T. Índices de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 225-238, 2001.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

NOVAIS, R. F. Utilização de fosfatos naturais de baixa reatividade. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 62-64.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, E. L.; MUZZILLI, O.; IGUE, K.; TORNERO, M. T. T. Avaliação da eficiência agrônômica de fosfatos naturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 63-67, jan./abr. 1984.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 605-663.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**, Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 563-587.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 17, n. 5, p. 547-566, 1986.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 57, p. 77-159, 1996.

REETZ JUNIOR, H. F.; FIXEN, P. E. Economics of long-term vs short-term soil fertility management. **Better Crops With Plant Food**, Atlanta, v. 76, n. 2, p. 8-11, 1992.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica do fosfato natural da Carolina do Norte em solo de cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: SBCS/Embrapa-CPATSA, 1994. p. 38-40.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KINPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 453-466, 2006.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 201-222.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 263-310.

SANCHEZ, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 471-514.

SMYTH, T. J.; SANCHEZ, P. A. Phosphate rock dissolution and availability in Cerrado soils as affected by phosphorus sorption capacity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 339-345, Mar./Apr. 1982.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 157-200.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5. ed. Nova York: Macmillan Publishing Company, 1993. 634 p.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e do tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, out. 2002.

Aspects Related to Phosphate Fertilization in Soils of the Cerrado Region

Abstract

The management of phosphate fertilization in the Cerrado soils has been studied for almost 40 years and represents an extremely important technology towards to a successfull agricultural exploration of the region. However, many aspects related to soil phosphorus dynamic, availability, and its use efficiency by crops remain not well understood, and are relevant research themes. The possible utilization of distinct solubility phosphates, the field cropping history, and the influence of crop systems involving no tillage or crop-livestock integration may affect the efficiency of different fertilization strategies. This publication is a review about some of these topics and their relationship to the evolution of soil management in the Cerrado Region.

Index terms: phosphorus fixation, rock phosphate, organic phosphorus, agronomic efficiency, soil fertility.