

EFEITO RESIDUAL DE FOSFATOS NATURAIS EM SOLOS DE CERRADO¹

WENCESLAU J. GOEDERT²

RESUMO - Durante seis anos (1975-1981), a eficiência agrônômica de fosfatos foi avaliada através de dois experimentos de campo, com cultivos anuais. Após esse período, amostras de parcelas que haviam recebido, inicialmente, 44 ppm de P (200 kg de P_2O_5 /ha), na forma de superfosfatos e de fosfatos naturais de Patos de Minas, Araxá e Catalão, foram coletadas para análise em laboratório, visando avaliar o efeito residual comparativo. As seguintes técnicas foram utilizadas: análise total de cálcio e fósforo, fracionamento de formas de fósforo, extração sucessiva de fósforo com resinas e isotermas de adsorção desse elemento. Através das duas primeiras técnicas, foi possível estimar que cerca de 20% do fósforo aplicado, via fosfatos naturais, ainda se encontra na forma de apatita, seis anos após sua incorporação ao solo. Considerando-se o total de fósforo absorvido pelos cultivos e mais aquele retirado por dez extrações sucessivas com resinas, foi possível recuperar de 43 a 63% do fósforo adicionado. Em relação aos fosfatos solúveis (supertríplo e supersimples), os fosfatos naturais exibiram os seguintes índices de eficiência: 84 a 89% para Patos, 82% para Araxá e 69% para Catalão. Os resultados obtidos indicam que o efeito residual, após o quinto cultivo, deverá ser similar para as diversas fontes de fósforo.

Termos para indexação: fósforo, fosfatos, resinas, isotermas de adsorção.

RESIDUAL EFFECT EVALUATION OF ROCK PHOSPHATES IN CERRADO SOILS

ABSTRACT - The agronomic effectiveness of phosphate sources were evaluated under field conditions during six years (1975-1981). After this period, soil samples from plots which initially received 44 mg P/kg of soil in the form of soluble phosphates and rock phosphates from Patos de Minas, Araxá and Catalão, were collected in order to evaluate comparative residual effects. To meet this objective, the following procedures were applied: total soil analysis (calcium and phosphorus), P fractionation, resin successive extractions and P isotherms. From the first two procedures, it was possible to estimate that about 20% of the phosphorus broadcasted via rock phosphates, remained as apatite six years after incorporation. Considering the sum of phosphorus absorbed by the plants and extracted by ten consecutive treatments with resins, 43 to 63% of the phosphorus applied was recovered. In relation to the soluble phosphate, the rock phosphates exhibited the following indexes of effectiveness: 84 to 89% for Patos, 82% for Araxá and 69% for Catalão. The results, therefore, indicated that the residual effect, after the fifth crop, should be similar considering all sources of phosphorus.

Index terms: phosphorus, resin, isotherms.

INTRODUÇÃO

Os solos que ocorrem na região dos Cerrados são ácidos e pobres em fósforo disponível, exibindo, adicionalmente, uma alta capacidade de adsorção desse nutriente (Lopes & Cox 1979). Desse modo, esses solos apresentam, potencialmente, características adequadas para solubilização de fosfatos naturais apatíticos.

A prática de aplicação de fosfatos naturais diretamente no solo já é tradicional na região dos Cer-

rados, porém o interesse foi renovado após a descoberta de novas jazidas, tais como: Catalão, GO e Patos de Minas, MG. Como consequência, trabalhos experimentais foram iniciados por várias instituições a partir de 1975, visando avaliar a eficiência agrônômica desses fosfatos.

No Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC, experimentos foram instalados em dois tipos de solos: Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV). Os resultados obtidos nos primeiros quatro anos de cultivo foram apresentados e discutidos no Relatório Técnico Anual do CPAC-EMBRAPA (1978 e 1981), e por Goedert & Lobato (1980). Apesar de o efeito residual ainda não ter cessado, as fontes de fósforo foram classificadas em categorias relacionadas com a sua eficiência agrônômica. Comparados com o superfosfato triplo, os fosfatos naturais

¹ Aceito para publicação em 10 de maio de 1983.

Trabalho parcialmente executado no Laboratório do Depto de Solos da Universidade de Reading, Inglaterra, e apresentado no VI Simpósio sobre o Cerrado, Brasília, 4 a 8 de outubro de 1982.

² Eng^o - Agr^o, Ph.D., do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), EMBRAPA, Caixa Postal 70-0023 - 73300 - Planaltina, DF.

de Patos, Araxá e Catalão exibiram baixa eficiência relativa, variando entre 45 e 27%, para o nível de 200 kg de P_2O_5 /ha, aplicado, a lanço, no início do experimento.

A lenta solubilização constatada nesses fosfatos naturais requer a continuação dos experimentos por longo prazo, para que se possa obter uma visão global do seu efeito residual, sem a qual não será possível executar uma análise econômica completa e definir uma estratégia adequada de utilização desses fosfatos.

Este trabalho tem por objetivos obter informações sobre as reações que ocorrem quando são incorporados ao solo os fosfatos naturais de maior interesse para a região dos Cerrados e, principalmente, estimar o seu efeito residual.

MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de avaliar fontes de fósforo, dois experimentos foram iniciados no CPAC: CPAC 206 e CPAC 240. O primeiro foi instalado em 1975, em solo LE, incluindo o teste de onze fontes de fósforo. O segundo foi iniciado em 1976, em solo LV, testando apenas duas fontes de fósforo: superfosfato simples e fosfato natural Patos de Minas. Os detalhes experimentais foram descritos no Relatório Técnico Anual do CPAC-EMBRAPA (1978), em Goedert & Lobato (1980) e em Smyth (1981).

Amostras de solos foram coletadas em julho de 1981, ou seja, aproximadamente, cinco anos após a incorporação dos fosfatos ao solo. No experimento CPAC 206, foram utilizadas apenas as amostras das parcelas dos seguintes fosfatos: superfosfato triplo (S. triplo) e dos fosfatos naturais de Patos de Minas (Patos), Araxá e Catalão.

Basicamente, foram utilizados quatro procedimentos: 1. análise total; 2. fracionamento de formas de fósforo; 3. extrações de fósforo com resinas; e 4. isoterms de adsorção de fósforo.

Para determinação do teor total de fósforo e cálcio, as amostras foram previamente lavadas com 1 M KCl, a fim de extrair os cátions trocáveis. Foram, então, secadas, moídas e digeridas com $HClO_4$, a 200°C, durante 4,5 horas. O fósforo foi determinado via colorimétrica e o cálcio por absorção atômica.

A quantidade de fósforo ligado ao cálcio (P - Ca) foi determinada pelo esquema de fracionamento descrito por Chang & Jackson (1957).

A extração de fósforo com resinas foi executada nas amostras coletadas em 1981. Quatro gramas de solo foram misturados inicialmente com 100 ml de água, a que foram adicionados dois cilindros (rede de poliéster), um contendo aproximadamente dois gramas de resina aniônica (Zerolit FF) e outro com a mesma quantidade de resina

catiônica (Amberlite IRC - 50), saturadas previamente com solução 0,5 M $NaHCO_3$. Dez extrações sucessivas foram executadas na mesma amostra em suspensão, com diferentes períodos de agitação: três horas para a primeira extração, seis horas para a segunda, doze horas para a terceira e 24 horas para as subsequentes. Após cada agitação, os cilindros contendo as resinas eram retirados dos frascos, lavados com água, e o fósforo removido com 0,5 N HCl. As resinas eram, então, saturadas novamente com $NaHCO_3$ e os cilindros devolvidos aos mesmos frascos para dar continuidade à extração sucessiva de nutrientes.

Isoterms de adsorção de fósforo foram obtidas equilibrando-se, por 48 horas a 27°C, 1,5 g de amostra de solo com 30 ml de 0,01 M $CaCl_2$, preparados com níveis de zero a 35 ppm de fósforo, a intervalos de 3 ppm. Após agitação, as suspensões eram centrifugadas e filtradas. O fósforo em solução foi determinado pelo método de molibdato-vanadato, em espectrofotômetro Cecil 272, com célula de 4 cm. Os valores de fósforo em solução, em escala logarítmica, foram plotados versus a quantidade de fósforo adsorvido pela fração sólida do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos, nos quais foram instalados os experimentos, são ácidos (pH 4,6), com baixa capacidade efetiva de troca de cátions (2,8 mEq/100 g para o solo LE e 1 mEq/100 g para o LV) e com médio a alto teor de argila (46% para LE e 65% para LV). Os dois solos apresentam alto potencial de adsorção de fósforo, em seu estado natural (Fig. 1). Para obter 0,1 ppm de fósforo em solução é necessário adicionar cerca de 300 mg de P/kg no solo LE e 450 mg de P/kg no LV. A mais alta capacidade de adsorção do solo LV pode ser explicada, principalmente, pelo maior teor de argila e maior concentração de gípsita nessa fração.

Em resumo, ambos os solos apresentam, basicamente, todas as características requeridas para promover a dissolução de fosfatos naturais; uma reação mais rápida pode ser esperada no solo LV, considerando-se mais alta a capacidade de adsorção de fósforo desse solo.

Parte dos resultados de campo, obtidos até 1981 nos dois experimentos estudados, está sumariada na Tabela 1. Pode-se observar que a eficiência dos fosfatos naturais foi, inicialmente, muito baixa, quando comparada com a dos fosfatos solúveis. Todavia, melhorou lenta e gradativamente, à medida que o solo foi trabalhado e novos cultivos estabelecidos. O fosfato de Catalão mos-

TABELA 1. Fósforo absorvido pelas plantas em dois experimentos localizados no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC¹.

Tratamentos			P absorvido pelas culturas ²							
Solo	Fonte P	Dose P	Trigo 1976	Soja 1976/77	Soja 1977/78	Arroz 1978/79	Sorgo 1979/80	Andropógon 1980/81	Total	Eficiência relativa
						(ppm) ³				(%)
LE	-	0	0,1	0,3	0,2	0,4	0,0	0,1	1,1	12
	S. triplo	44	1,3	1,9	2,2	2,4	0,6	0,5	8,9	100
	Patos	44	0,2	0,9	0,5	1,1	0,6	0,5	3,8	43
	Araxá	44	0,3	0,9	0,5	0,9	0,3	0,3	3,2	36
	Catalão	44	0,1	0,5	0,3	0,6	0,1	0,2	1,8	20
			Soja							
LV	S. simples	44	-	1,8	1,0	1,5	1,1	0,7	6,1	100
	Patos	44	-	0,4	0,5	1,3	0,8	0,5	3,5	57

¹ Fontes: Relatório Técnico Anual do CPAC-EMBRAPA (1978 e 1981), Goedert & Lobato 1980).

² Calculado com base no teor de fósforo dos grãos e/ou das partes das plantas retiradas das parcelas.

³ O P absorvido em ppm pelas culturas foi obtido dividindo-se a quantidade em kg/ha por dois.

trou a menor eficiência agrônômica. Esse resultado está de acordo com o índice de solubilidade obtido com ácido cítrico a 2% (Alcarde & Ponchio 1980).

Com base nos dados da Tabela 1, fez-se uma análise parcial sobre a viabilidade econômica do uso desses fosfatos naturais na região dos Cerrados. Sobre esses dados alicerçam-se as atuais recomendações (Relatório Técnico Anual do CPAC-EMBRAPA 1981). Contudo, restam ainda várias questões importantes a serem equacionadas, antes que se possa estabelecer plenamente a melhor estratégia de utilização dos fosfatos naturais. Assim, por exemplo, é necessário conhecer a proporção de fosfato natural ou apatita ainda não dissolvida, após esse período de cinco a seis anos, e quais as chances de sua dissolução e/ou aproveitamento pelas plantas no futuro. A magnitude desse índice parece ser extremamente importante, em termos de decisão sobre o uso de fosfatos *in natura* ou sua transformação industrial em fosfatos solúveis, já que se trata de um recurso natural não-renovável, escasso e de grande demanda pela agricultura brasileira.

Foram utilizadas duas técnicas para estimar a quantidade de apatita que permanece não dissolvida. A primeira consiste na avaliação do teor de

cálcio total das amostras de solo, das quais foi retirado previamente o cálcio trocável. A pressuposição, nessa técnica, é de que, descontado o conteúdo de cálcio da parcela testemunha (sem fósforo), o resto do cálcio é originário da apatita. Tendo em vista que a relação elementar Ca: P nos fosfatos naturais estudados é de 2,2, pode-se calcular a proporção de fósforo e, conseqüentemente, de apatita que não sofreu dissolução no solo.

O segundo procedimento consiste em determinar a proporção de fósforo que se encontra no solo ligada ao cálcio, ou seja, o comumente denominado teor de P - Ca nos esquemas de fracionamento de fósforo.

O cálculo do índice de dissolução baseado no teor de P - Ca sofre restrições inerentes ao fato de que outras formas de fósforo podem estar incluídas nessa fração. O procedimento baseado no teor de cálcio é mais preciso, porém apresenta restrições quando aplicado em amostras de parcelas que receberam adição de calcário, devido à dificuldade para fazer uma amostragem representativa. Em ambas as técnicas, realiza-se a prévia extração dos cátions trocáveis, sendo necessário verificar se esse tratamento não promove a dissolução da apatita.

Os resultados de ambos os procedimentos estão sumariados na Tabela 2. Tendo em vista que o experimento situado no solo LV não contém parcela testemunha (sem fósforo), o tratamento com superfosfato simples foi considerado como referência. Supõe-se, no caso, que esse material tenha se dissolvido totalmente após cinco anos.

Com exceção do tratamento com fosfato natural Catalão, houve excelente concordância entre os índices de dissolução calculados por ambas as técnicas. Dese modo, os dados da Tabela 2 indicam, claramente, que a maior parte dos fosfatos naturais foi dissolvida após cinco a seis anos de incorporação. Em outras palavras, apenas cerca de 20% do fósforo permanece na forma de apatita.

Desse modo, o fósforo, em algum instante, esteve na solução do solo e, posteriormente, foi adsorvido pela fração sólida do solo. Até certo ponto, portanto, parece haver alguma contradição entre os resultados das Tabelas 1 e 2, já que, uma vez liberado, o fósforo poderia ter sido absorvido pelas plantas. Contudo, a velocidade de dissolução dos fosfatos naturais e, portanto, sua capacidade em manter níveis adequados de fósforo em solução parecem não ter sido compatíveis com a exigência das espécies anuais cultivadas. Essa observação sugere que a eficiência relativa desses fosfatos

naturais esteja estreitamente relacionada com sua capacidade de manter, em solução, níveis adequados de fósforo disponível. Assim, torna-se necessário conhecer melhor a cinética de decomposição desses materiais.

No que diz respeito à comparação entre fontes, conforme o esperado pelos resultados obtidos com os cultivos, o fosfato natural Patos apresentou maior índice de dissolução. Ademais, sua reação com o solo LV foi superior à do solo LV (Tabela 2). Outra observação interessante na Tabela 2 diz respeito ao baixo teor de cálcio total desses solos, tendo em vista que todas as parcelas receberam calcário no início do experimento. Isso caracteriza uma rápida e completa reação do calcário em condições de campo.

Entretanto, a inferência de que a maior parte da apatita reagiu com o solo não representa, necessariamente, a disponibilidade de fósforo para as plantas. Além do aspecto velocidade, comentado anteriormente, há que se considerar a alta capacidade de adsorção de fósforo, exibida por esses solos (Fig. 1). Embora seja difícil diferenciar com precisão, sabe-se que uma alta proporção é adsorvida irreversivelmente. Assim, a maneira ideal de obter uma imagem completa do desempenho desses fosfatos é a continuação dos experimentos até com-

TABELA 2. Teores totais de fósforo e cálcio, quantidade de fósforo ligado a cálcio (P-Ca) e índice de dissolução de fosfatos naturais, obtidos em amostras coletadas 5,5 anos após incorporação.

Tratamentos							Fosfato natural não dissolvido		
Solo	Fonte P	Dose P	P total	Ca total	ΔCa^1	P-Ca	A ²	B ³	
			ppm					%	
LE	-	0	260	9	-	4	-	-	
	S. triplo	44	285	16	-	6	-	-	
	Patos	44	299	27	18	15	19	25	
	Araxá	44	292	28	19	14	20	23	
	Catalão	44	294	29	20	23	21	43	
LV	S. simples	44	347	11	-	4	-	-	
	Patos	44	357	25	14	10	15	14	

¹ $\Delta Ca = Ca \text{ total tratamento} - Ca \text{ total testemunha}$.

² Obtido através do ΔCa , considerando-se que a relação Ca/P nos fosfatos naturais é 2,2, ou seja, $A (\%) = \Delta Ca / 2,2 \times 100/44$.

³ Obtido através do P-Ca, ou seja:
 $B (\%) = (P-Ca \text{ tratamento}) - (P-Ca \text{ testemunha}) \times 100/44$.

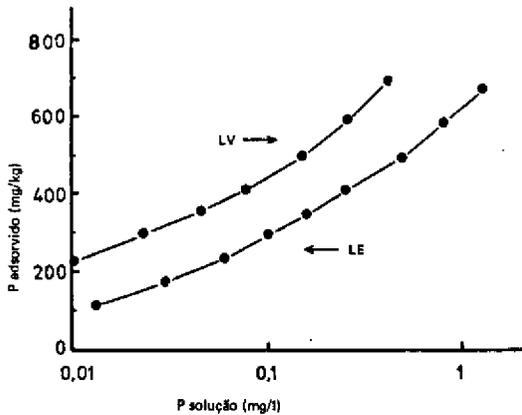


FIG. 1. Isotermas de adsorção de fósforo de amostras da camada arável de dois solos virgens: Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV).

pleta exaustão do fósforo disponível. Embora isso deva ser tentado, dez ou mais anos poderão ser necessários até que uma avaliação do efeito residual seja completa em condições de campo.

Um modo de estimar o efeito residual é a avaliação do fósforo disponível através de extratores, em laboratório. Entre os extratores comumente utilizados, optou-se pela resina, por ser um processo não destrutivo e permitir a extração seqüencial de fósforo, na mesma amostra. Por outro lado, estudos reportados na literatura indicam haver uma excelente correlação entre a absorção desse nutriente pelas plantas e sua extração por resinas, em solos tropicais (Cábalá Rosand 1979 e Raji & Diest 1980). Contudo, a quase totalidade desses trabalhos tem utilizado apenas um tipo de resina, geralmente aniônica. A extração seqüencial com essa resina, na mesma amostra de solo, provocaria um desequilíbrio, já que os elementos encontrados na solução em forma de ânions seriam retirados preferencialmente do sistema, diferentemente do que acontece no sistema solo-planta. Por essa razão, as extrações foram feitas com a utilização simultânea de duas resinas, catiônica e aniônica. Conforme mostram Vaidyanathan & Talibudeen (1970), a quantidade de fósforo retirada por uma extração com resina aniônica é similar à retirada pela soma das duas resinas.

Empregando-se esse conjunto de resinas, foram

executadas dez extrações sucessivas na mesma amostra, de modo a, praticamente, exaurir o fósforo disponível. Os resultados acumulados são mostrados na Tabela 3, na qual se constata que o sistema resina extraiu quantidades similares de fósforo de todos os tratamentos, sugerindo que, após quatro ou cinco cultivos, o efeito residual dos fosfatos naturais é semelhante ao das fontes solúveis.

O total de fósforo extraído pelas plantas e resinas nos tratamentos que receberam 200 kg de P_2O_5 /ha, na forma de fosfato solúvel, variou entre 63 e 61% de quantidade inicialmente aplicada. Esse índice de recuperação aproxima-se do valor reportado por Lobato (1980), após dez cultivos de milho, em solo LE. Desse modo, pode-se presumir ter havido extração da quase totalidade do fósforo disponível.

A extração total dos tratamentos com fosfatos naturais foi inferior à com fosfatos solúveis (Tabela 3). No conjunto, a eficiência relativa dos fosfatos naturais variou entre 69% (Catalão) e 84 a 89% (Patos), índice muito superior ao obtido quando se computam apenas as extrações pelos cultivos.

A comparação entre as fontes de fósforo, contudo, pode ser melhor observada nas Fig. 2 e 3. Quando os valores de P extraído são relacionados com o fósforo extraído no tratamento que recebeu a adição máxima de fósforo (1.600 kg de P_2O_5 /ha), nota-se que o efeito residual do supertriplo diminui com o tempo, enquanto que o do fosfato natural Patos mostra pequenos aumentos (Fig. 2). Já no quinto cultivo, verificou-se uma equivalência de produção nos tratamentos com esses dois fosfatos, podendo-se então antever uma similaridade no efeito residual dessas fontes de fósforo, a partir do quinto cultivo. Confirmando observações anteriores, o fosfato natural de Catalão apresenta um efeito residual inferior aos demais (Tabela 3 e Fig. 3).

Entretanto, a avaliação comparativa da eficiência agrônômica e, principalmente, econômica entre as várias fontes deve considerar o total de produção ou de P extraído, desde a incorporação dos fosfatos. Por isso, a disposição de valores acumulados (Fig. 3) oferece um panorama mais amplo. Embora a soma de fósforo extraído nos tratamen-

TABELA 3. Fósforo absorvido pelas plantas e extraído pelo sistema resina (dez extrações), em amostras coletadas, em 1981, 5,5 anos após sua aplicação.

Tratamentos			P extraído			Eficiência relativa	P recuperado ¹
Solo	Fonte P	Dose P	Plantas	Resinas	Total		
			(ppm)			(%)	(%)
LE	S. triplo	44	8,9	18,7	27,6	100	63
	Patos	44	3,8	19,5	23,3	84	53
	Araxá	44	3,2	19,5	22,7	82	52
	Catalão	44	1,8	17,2	19,0	69	43
LV	S. simples	44	6,1	20,8	26,9	100	61
	Patos	44	3,5	20,4	23,9	89	54

¹ Considerando o fato de ser mínima a quantidade de P extraída da parcela testemunha (sem fósforo).

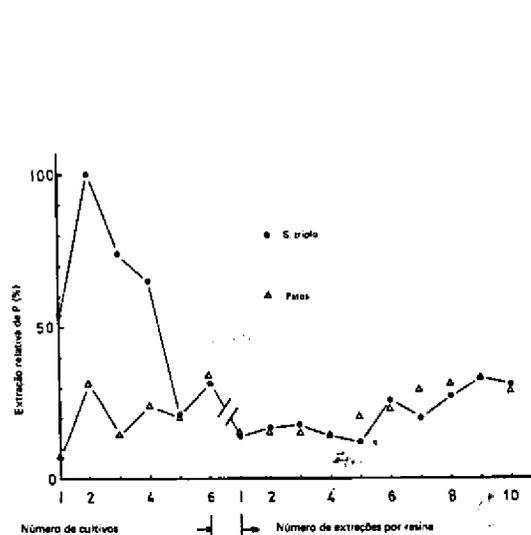


FIG. 2. Extração relativa de fósforo por seis cultivos e por dez extrações com resinas de amostras de tratamentos que receberam 44 ppm de P, antes do primeiro cultivo, em solo LE (100% correspondem ao tratamento máximo, ou seja, 350 ppm de P, na forma de superfosfato triplo).

tos com fosfatos naturais atinja níveis de 80%, relativos aos fosfatos solúveis, esse resultado seria obtido somente muito tempo após sua incorporação, ou seja, aproximadamente após 15 ou 16 cultivos. O diferencial de produção obtido inicialmente com os fosfatos solúveis representa um papel importante numa avaliação econômica.

O alto gradiente da curva acumulada, observa-

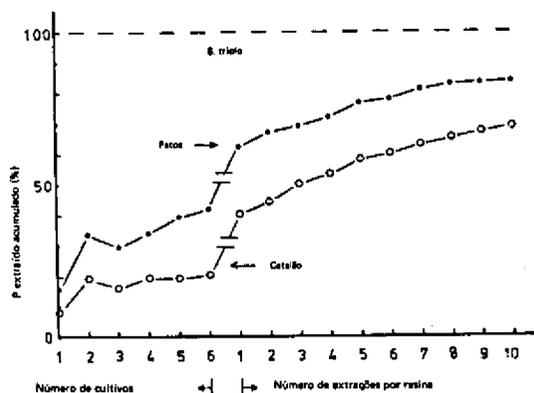


FIG. 3. Quantidade de fósforo acumulado, extraído por cultivos e por resinas de tratamentos que receberam 44 ppm de P, antes do primeiro cultivo, em solo LE.

do nas primeiras extrações com resina dos tratamentos com fosfatos naturais (Fig. 3), caracteriza uma maior afinidade entre o sistema resina-solo do que o planta-solo. Como consequência, uma quantidade maior de fósforo foi extraída pelas resinas, porém, a quantidade absoluta foi semelhante para todas as fontes, indicando que esse procedimento deve ser válido, no que concerne à comparação entre as fontes de fósforo.

Em resumo, os dados obtidos com resinas antevêm um efeito residual similar entre as fontes de fósforo, após quatro a cinco anos de cultivo. Desse modo, a vantagem inicial obtida com fosfatos solúveis, praticamente, não é compensada pelo efeito residual. Entretanto, o total de fósforo ex-

traído dos tratamentos com fosfatos naturais é muito superior ao previsto pela simples projeção dos dados obtidos até 1981 (Tabela 1), ou seja, a longo prazo parece ser possível recuperar a maior parte do fósforo aplicado via fosfato natural. A posição relativa entre as fontes, contudo, não mudou, visto que a eficiência do fosfato de Catalão permaneceu diferencialmente inferior.

No que concerne à comparação entre solos, observa-se pelas Tabelas 1 e 3 que o fosfato de Patos mostrou uma reação inicial mais rápida no solo LV. Porém a quantidade de fósforo extraído pelas resinas do tratamento Patos foi similar em ambos os solos. No conjunto geral, o índice de recuperação de fósforo nesse tratamento foi superior no solo LV.

Outro aspecto a ser observado é a razoável concordância entre os dados obtidos com resinas (Tabela 3) e a taxa de dissolução dos fosfatos (Tabela 2).

Até aqui os resultados refletem o efeito residual de fosfatos aplicados apenas no início do experimento. Embora para a pesquisa seja indispensável avaliar, de forma completa e exaustiva, as reações que ocorrem com esses materiais, na prática, é provável que o produtor aplique quantidades adicionais de fertilizantes, visando compensar a retirada de nutrientes pelos cultivos. Desse modo, é relevante estudar o equilíbrio resultante de adições posteriores de fósforo. Esse estudo não somente serve para avaliar o efeito de adubações de manutenção, mas também para aquilatar o estado de equilíbrio do fósforo aplicado inicialmente. Por isso, isotermas de adsorção foram obtidas com amostras coletadas em 1981, pela adição de quantidades de fósforo necessárias para obter valores em solução entre 0,01 e 1 ppm.

Conforme pode ser observado na Fig. 4, as isotermas obtidas para amostras de parcelas com fosfatos naturais praticamente coincidem com a do superfosfato triplo. Esse resultado evidencia que se poderia esperar, a partir do quinto cultivo, respostas similares para aplicações adicionais de fósforo, em forma solúvel, independentemente da fonte utilizada no início. Dessa maneira, esses dados confirmam a previsão de que o efeito residual das fontes de fósforo, na dose de 44 ppm de fósforo, será similar após o quinto cultivo.

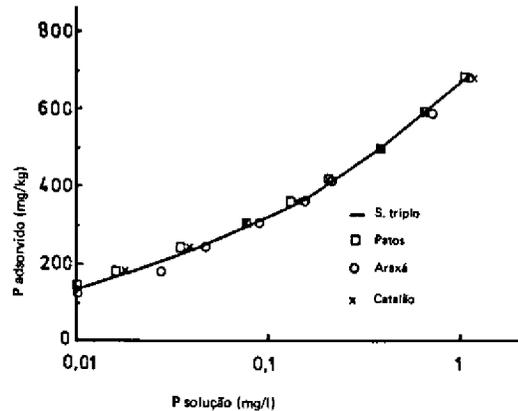


FIG. 4. Isotermas de adsorção de fósforo para amostras, coletadas em 1981, de parcelas que receberam 44 ppm de P, sob várias fontes, incorporadas em solo LE, em 1976.

A similaridade entre o efeito residual e a magnitude relativa dos índices de recuperação de fósforo, para as diversas fontes, enfatiza a importância do fator tempo na avaliação da eficiência agrônômica e econômica. Por essa razão, não basta considerar somente a eficiência relativa global, já que períodos superiores a dez anos podem ser necessários para que se tenha uma completa recuperação da fração de fósforo potencialmente disponível. Por outro lado, fica muito clara a limitada validade de uma análise econômica a curto prazo, visto que a eficiência relativa dos fosfatos naturais seria subestimada.

Tendo em vista que a maior parte da apatita é dissolvida, a baixa eficiência inicial dos fosfatos naturais deve estar mais relacionada com a sua incapacidade em manter níveis adequados de fósforo na solução do solo, na velocidade requerida pelas culturas. Essa inferência está de acordo com a observação de que os fosfatos naturais brasileiros são mais eficientes com cultivos perenes e, principalmente, com pastagens tropicais.

CONCLUSÕES

- Os resultados obtidos com a análise de cálcio total indicam que cerca de 80% dos fosfatos naturais foram dissolvidos após cinco anos de incorporação e cultivo.

2. A absorção e retirada de fósforo pelos cultivos, durante o período experimental a campo, mostravam uma resposta inicial maior para os fosfatos solúveis. Porém, após o quarto ou quinto cultivo, já ocorria uma similaridade entre as fontes, na dose de 44 ppm de fósforo. A extração exaustiva com resinas, em amostras coletadas após o quinto ou sexto cultivo, sugere que o efeito residual das fontes de fósforo deverá continuar similar, nessa dose. Considerando a quantidade de fósforo retirada pelas plantas (seis cultivos para o solo LE e cinco para o solo LV) e por dez extrações com resinas, foi possível recuperar 43 a 63% do fósforo aplicado inicialmente. De forma global, a eficiência dos fosfatos naturais em relação às fontes solúveis atingiu os seguintes índices: 84 a 89% para Patos, 82% para Araxá e 69% para Catalão. Esses índices mostram que os fosfatos naturais são de lenta solubilização, o que justifica a recomendação atual de que devem ser preferencialmente utilizados para a adubação de recuperação ou melhoramento do solo.

3. Embora os fosfatos de Araxá e Patos sejam quase equivalentes, este último apresenta uma eficiência levemente superior, sendo, portanto, em iguais condições de preço, o mais recomendado para aplicação *in natura*.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa agradecimentos aos pesquisadores Edson Lobato, Jeanne C.C. Miranda e Djalma M.G. Souza (EMBRAPA/CPAC) e ao

Dr. Peter Le Mare (Dept. Soil Science, University of Reading, UK), pela participação na execução dos experimentos e análise dos dados.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.C. & PONCHIO, C.O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termosfosfatos em diferentes extratores químicos. *Rev. bras. Ci. Solo*, 4:196-200, 1980.
- CABALA ROSAND, P. Reaction of rock phosphates in some brazilian soils and their utilization by plants. Reading, University of Reading, 1979. 313p. Tese Doutorado.
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 84:133-44, 1957.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 15(3): 311-8, 1980.
- LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos sob vegetação de cerrado. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1980. Trabalho avulso.
- LOPES, A.S. & COX, F.R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrados. *Rev. bras. Ci. Solo*, 3:82-8, 1979.
- RAIJ, B. van & DIEST, A. van. Phosphate supplying power of rock phosphates in an oxisol. *Plant Soil*, 55:97-104, 1980.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CPAC-EMBRAPA. Planaltina, DF. v. 2, 1978.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CPAC-EMBRAPA. Planaltina, DF. v. 5, 1981.
- SMYTH, T.J. Agronomic comparison between phosphate rock and superphosphate in soils of the cerrado of Brazil. Raleigh, North Carolina State University, 1981. 143p. Tese Doutorado.
- VAIDYANATHAN, L.V. & TALIBUDEEN, O. Rate processes in the desorption of phosphate from soils by ion-exchange resins. *J. Soil Sci.*, 21:173-83, 1970.