

AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DE FOSFATOS EM SOLO DE CERRADO ⁽¹⁾

W. J. GOEDERT ⁽²⁾ & E. LOBATO ⁽²⁾

RESUMO

A eficiência agronômica de onze fontes de fósforo foi avaliada durante oito anos em experimento de campo, localizado em Latossolo Vermelho-Escuro (Haplustox). A seqüência de cultivos utilizada foi: trigo, soja (dois anos), arroz, sorgo e capim-andropogon (três anos). Com base na quantidade de fósforo extraída pelos cultivos, foram calculados índices relativos de eficiência agronômica de todas as fontes, tendo como referência o superfosfato triplo. podem ser relacionadas em ordem decrescente de eficiência: termofosfato magnesiano (yoorin), fosfato-natural (FN) de Gafsa-Marrocos (hiperfosfato), FN da Flórida (EUA), FN de Tennessee (EUA), fosfato de Pirocaua (MA) (com tratamento térmico), termofosfato IPT-SP, FN de-patos-de-minas (MG), FN de Araxá (MG), FN de Abaeté (MG) e FN de Catalão (GO). Após o quinto cultivo, os índices foram similares para todas as fontes, porém os fosfatos naturais brasileiros mostraram uma solubilidade inicial lenta. Todas as fontes ainda apresentavam efeito residual, após oito anos de cultivo.

SUMMARY: AGRONOMIC EVALUATION OF PHOSPHATES IN A CERRADO SOIL

The agronomic efficiency of eleven sources of phosphate was evaluated through an eight years field experiment, established in a Dark Red Latosol (Haplustox). The crop sequence was: wheat, soybean (two years), rice, sorghum and andropogon grass (three years). The reference source was triple superphosphate. Considering the total P uptake by crops, the phosphorus sources can be cited in the following order of decreasing efficiency: magnesian thermalphosphate, rock phosphates of Gafsa/Marroc, Florida (USA) and Tennessee (USA), Pirocaua phosphate (with thermal treatment), Thermalphosphate IPT-SP and the Brazilian rock phosphates of Patos de Minas (MG), Araxá (MG), Abaeté (MG) and Catalão (GO). After the fifth crop, the efficiency indices were similar for all sources, but the Brazilian rock phosphates exhibited a slow initial solubility. All sources show residual effect after eight years of cropping.

INTRODUÇÃO

A constatação de que os solos da região dos cerrados apresentam resposta positiva à adubação fosfatada foi documentada há cerca de trinta anos (Fagundes et alii, 1953 e McClung et alii, 1958). Grande volume de trabalho, porém, foi realizado na última década, e a maioria deles foi discutida em revisões recentes (Miranda et alii, 1980; San-

chez & Salinas, 1981; Lobato, 1982, e Goedert, 1983). Curvas de resposta obtidas para culturas anuais e pastagens mostram que os rendimentos sem adição de P são muito pequenos, caracterizando a inviabilidade da agricultura na região, sem adubação fosfatada. Adicionalmente, os solos argilosos exibem alta capacidade de adsorção de fósforo, fazendo que doses relativamente elevadas desse nutriente sejam necessárias para obter produções comerciais, nos primeiros anos de cultivo.

(1) Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba (PR), 17-24 de julho de 1983. Recebido para publicação em novembro de 1983 e aprovado em março de 1984.

(2) Pesquisador do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados-CPAC/EMBRAPA. Caixa Postal 70.0023, CEP 73.300 - Planaltina (DF).

Além de pobres em fósforo disponível, a maioria dos solos dessa região são ácidos e apresentam baixo teor de cálcio trocável, ou seja, condições favoráveis à solubilização de fosfatos naturais apatíticos.

Entre as várias maneiras de aumentar a eficiência agroeconômica da adubação fosfatada, destaca-se a possibilidade de uso de fontes alternativas de fósforo, principalmente daquelas cujas jazidas ocorrem dentro da região dos cerrados. A recomendação de uma fonte se baseia essencialmente na sua capacidade em suprir adequadamente fósforo para as plantas (eficiência agrônômica) e no seu custo a nível de produtor.

Com o objetivo de avaliar a eficiência de várias fontes de fósforo de interesse para a região, foi iniciado um experimento em 1975, no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados/EMBRAPA, e os resultados obtidos nos primeiros quatro anos de cultivo foram apresentados por Goedert & Lobato (1980), mostrando a baixa eficiência dos fosfatos naturais brasileiros. Esse experimento está sendo conduzido até o presente, sendo o objetivo deste trabalho a análise e discussão dos resultados obtidos durante oito anos de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está localizado em Latossolo Vermelho-Escuro (LE), nos campos experimentais do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC). As características do solo e dos fosfatos e a metodologia utilizada na instalação do experimento foram detalhadas por Goedert & Lobato (1980). Os fosfatos foram aplicados somente antes do primeiro cultivo — sendo as fontes e as doses mostradas no quadro 1 — porém outros nutrientes foram adicionados, quando necessários.

A sequência de cultivos foi: trigo, soja (dois anos), arroz, sorgo e capim-andropogon (três anos). No ano agrícola de implantação desse capim (1980/81), foi realizada apenas a colheita de sementes e de palha. No segundo ano, foram feitos, adicionalmente, dois cortes de massa verde. No terceiro (1982/83), foram feitos três cortes de massa verde, sem colheita de sementes. A massa verde foi seca a 70°C para cálculo da quantidade de matéria seca.

Todo o material colhido do experimento (sementes ou tecido vegetal) foi analisado para conhecer a concentração de fósforo, utilizando digestão com ácido sulfúrico concentrado e água oxigenada a 30%. Com base no rendimento e no conteúdo de fósforo, foi calculada a quantidade de fósforo extraída e retirada de cada tratamento experimental.

Anualmente amostras de solo foram retiradas da camada arável (0-20cm) e submetidas a análise de rotina, ou seja: pH em água (1:1), Ca + Mg extraídos com KCl 1N e fósforo extraível com Bray I (NH_4F 0,03N e HCl 0,025N). Cálcio e magnésio foram determinados por complexometria, com EDTA e, fósforo, pelo método de Murphy & Riley (1962).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade acumulada de fósforo extraído das parcelas experimentais que receberam diferentes doses de fósforo, na forma de superfos-

fato triplo, é mostrada na figura 1. A pequena quantidade de P retirado do tratamento sem fósforo confirma a baixa disponibilidade natural desse nutriente, nesse solo. A resposta à adição de fósforo foi pronunciada até a dose de 350kg/ha de P (800kg/ha de P_2O_5), porém mais proeminente para as primeiras doses.

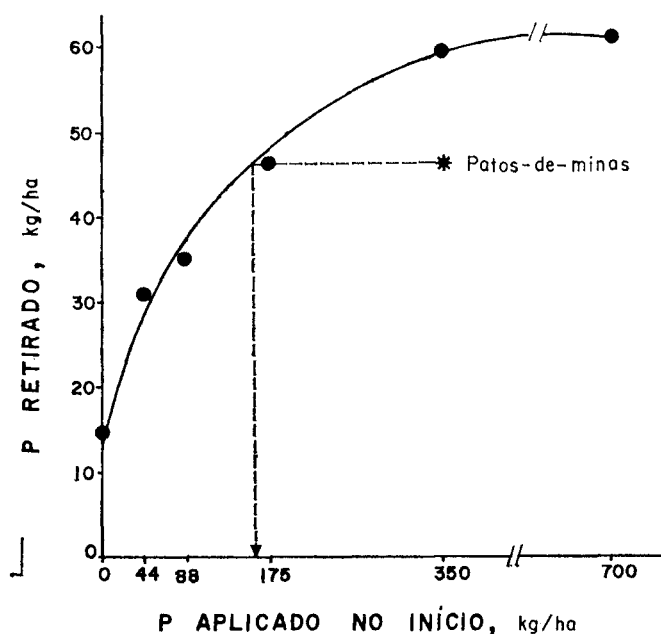


Figura 1. Quantidade acumulada de fósforo retirado durante oito anos de cultivo, em resposta à aplicação de superfosfato triplo, distribuído a lanço e incorporado no início do experimento. A inclusão de um ponto com o fosfato-patos-de-minas serve apenas para ilustrar o cálculo do EqST.

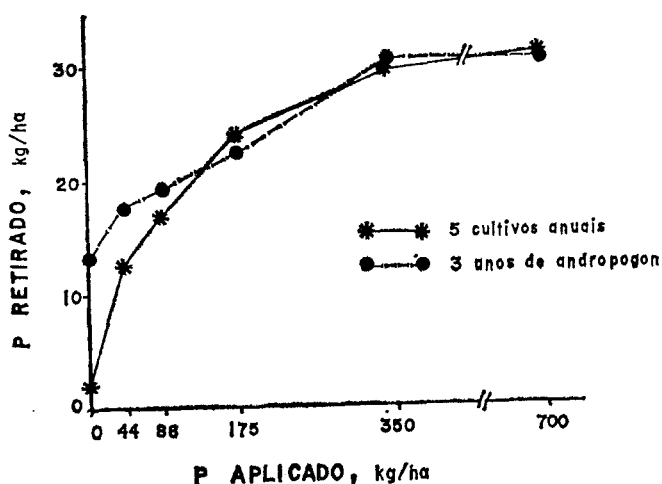


Figura 2. Quantidade total de fósforo retirado por cinco cultivos anuais, seguidos de três anos com capim-andropogon, em função de doses de P aplicadas no início do experimento, na forma de superfosfato triplo.

Curvas de resposta similares foram obtidas quando computados somente os rendimentos de trigo, soja e arroz cultivados nos primeiros quatro anos, porém as produções máximas obtidas não foram altas (Goedert & Lobato, 1980). O total de P retirado pelas cinco culturas anuais (Figura 2) mostra que pouco fósforo foi extraído por essas culturas, o que explica os baixos índices totais de recuperação do fósforo após oito anos, ou seja, cerca de 46% (variando de 29 a 61%) para a dose de 88kg/ha de P (Quadro 1). Contudo, essa tendência foi diferente para o capim-andropogon, que mostrou maior capacidade de extrair fósforo. Esse fenômeno é mais evidente quando doses mais baixas de P foram aplicadas e mesmo para a parcela sem aplicação de fósforo (Figura 2). Esses dados caracterizam não somente a alta capacidade dessa planta em retirar fósforo de solos pobres, mas também sua excelente resposta à adição de fertilizante fosfatado. Trincheiras abertas ao lado de algumas parcelas experimentais serviram para confirmar que essa espécie apresenta um sistema radicular muito desenvolvido, em volume e em profundidade.

A comparação entre as onze fontes de fósforo testadas revela uma variação muito grande entre elas (Quadro 1). Três índices são mostrados: percentagem relativa, índice de eficiência agrônômica (IEA) e equivalente supertriplo (EqST).

A percentagem relativa de P total retirado reflete bem a eficiência comparativa entre fontes somente quando o rendimento mais alto obtido no experimento se aproximar do potencial máximo de produção (condições ambientes favoráveis) e quando a produção relativa obtida na parcela testemunha (sem adição de P) for baixa.

Baseando na fórmula utilizada (Quadro 1), o IEA pressupõe que a função de resposta à adubação fosfatada pode ser representada por uma reta e que a quantidade de P nativo absorvido é a mesma para qualquer dose de adubação. Por isso, quando se dispõe de uma curva de resposta com a fonte de referência selecionada (superfosfato triplo, neste trabalho), é preferível obter o EqST, conforme ilustrado para o fosfato natural de Patos (Figura 1). Esse índice parece ser o mais adequado para exprimir a eficiência agrônômica.

Quadro 1. Fósforo retirado durante oito anos de cultivo, índice de eficiência agrônômica (IEA) e equivalente supertriplo (EqST) das fontes de fósforo testadas

Fontes	Doses de P total	P retirado total	IEA ⁽¹⁾			EqST ⁽²⁾ (Total)
			Culturas anuais	Andropogon	Total	
	kg/ha			%		
Testemunha	0	14,4	24	—	—	—
Superfosfato triplo	44	31,7	52	—	—	—
	88	34,6	57	—	—	—
	175	46,6	76	—	—	—
	350	59,8	98	—	—	—
	700	61,2	100	—	—	—
Termo magnesiano	88	37,3	61	92	113	> 100
	350	66,0	108	110	114	> 100
Gafsa	88	35,4	58	93	110	90
	350	62,6	102	106	106	> 100
Flórida (EUA)	175	48,5	79	96	129	100
Tennessee (EUA)	175	47,2	77	85	141	92
Pirocaua (MA)	88	32,0	52	76	97	70
	350	51,8	85	81	84	62
Termo-IPT	88	26,5	43	45	84	45
	350	56,1	92	88	98	76
Patos (MG)	88	26,3	43	45	81	45
	350	46,2	76	56	91	44
Araxá (MG)	88	22,7	37	27	69	33
	350	40,6	66	47	74	32
Abaeté (MG)	88	23,1	38	21	86	35
	350	39,9	65	47	71	31
Catalão (GO)	88	17,9	29	8	36	15
	350	29,2	48	26	43	15

(1) IEA = $\frac{\text{P retirado fonte x} - \text{P testemunha}}{\text{P retirado ST} - \text{P testemunha}} \times 100$.

(2) EqST = relação percentual entre dose de ST e dose de outra fonte que correspondem à mesma produção (absorção de P).

mica das várias fontes, embora os valores obtidos tenham sido similares aos calculados para o IEA (Quadro 1).

Por outro lado, nota-se que os índices IEA e EqST, obtidos para as duas doses testadas (88 e 350kg P/hectare), são semelhantes (Quadro 1).

O termofosfato magnesiano (yoorin) e o fosfato-de-gafsa (hiperfosfato) revelaram uma eficiência similar ao superfosfato triplo desde o primeiro cultivo. Já outras fontes (IPT, Pirocaua, Tennessee e Flórida) mostraram uma solubilidade inicial lenta, porém, após oito anos de cultivo, sua eficiência foi também similar à do superfosfato triplo. Finalmente, os fosfatos naturais brasileiros (patos, araxá, abaeté e catalão) apresentaram uma velocidade de solubilização muito lenta no início, melhorando com o tempo, mas exibindo índices de eficiência inferiores aos demais fosfatos. Mesmo computando o P retirado durante oito anos, o equivalente ST desses fosfatos naturais é inferior a 50% (Quadro 1). Esses dados estão de acordo com índices de solubilidade obtidos em laboratório (Alcarde & Ponchio, 1980) e com observações de casa de vegetação (Korndörfer, 1978; Raij & Diest, 1980, e Caballa-Rosand & Wild, 1982).

A comparação do IEA obtido para os cultivos anuais e para o andropogon (Quadro 1) mostra um índice mais elevado para o capim, especialmente no que se refere aos fosfatos naturais brasileiros. Embora tenham sido obtidos em diferentes períodos após a aplicação das fontes de P, esses índices confirmam que o capim-andropogon tem maior capacidade de extrair fósforo e sugerem a melhor adequação de uso de fontes de baixa solubilidade para ele do que para os cultivos anuais.

Uma visão melhor da eficiência comparativa de um fosfato natural (Patos) com o superfosfato triplo é mostrado na figura 3. A eficiência da fonte solúvel é alta nos primeiros cultivos, decrescendo com o tempo. Já o fosfato natural exibiu uma eficiência muito baixa no início, aumentando um pouco com o tempo. No quinto ano de cultivo, verifica-se uma resposta similar para ambas as fontes, situação essa que permanece até o oitavo ano de cultivo. Fazendo uso de resinas trocadoras, Goedert (1983) prevê que essa tendência deverá perdurar até a exaustão do P disponível. Esses resultados não estão de acordo com observações relatadas por Hammond et alii (1981), as quais sugerem que fosfatos naturais apresentam um efeito residual superior ao dos fosfatos solúveis.

A maior eficiência agrônômica da fonte solúvel nos primeiros cultivos (Figura 3) será um fator importante na análise econômica, principalmente porque esse diferencial inicial não é compensado com o passar do tempo. Em outras palavras, o efeito residual do fosfato natural, a longo prazo, não foi superior ao da fonte solúvel.

Em relação à figura 3, alguns aspectos devem ser esclarecidos. As altas produções relativas obtidas no segundo ano de cultivo se devem ao baixo teto máximo de produção de soja obtida no experimento, em função da ocorrência de um longo período de seca (veranico). Por outro lado, a tendência ascendente das curvas após o quinto ano é explicada pela maior capacidade do capim-andropogon na absorção de P, conforme já discutido.

As reações dos fosfatos com o solo, refletidas pelos dados de pH, Ca+Mg trocável e P extraível, confirmam os resultados conseguidos com as plantas (Quadro 2).

O pH do solo aumentou ligeiramente com a adição de fósforo, porém, a longo prazo, o efeito mais pronunciado foi verificado com o termofosfato magnesiano, provavelmente como resultado do seu alto teor em silicato de magnésio (Yost et alii, 1982).

O teor de Ca+Mg trocáveis também variou entre as fontes (Quadro 2). Apesar de se tratar de um sistema aberto, seria de esperar que esse teor aumentasse quando fossem adicionados fosfatos naturais apatíticos. Esse fenômeno foi pouco significativo com os fosfatos naturais brasileiros, deixando antever que parte desses fosfatos não se dissolveu.

O mais alto pH e maior teor de Ca+Mg sustentados pelo termofosfato magnesiano e pelo fosfato-de-gafsa podem ter sido responsáveis pela sua eficiência superior à do ST, especialmente na dose mais alta de P aplicado (Quadros 1 e 2).

A quantidade de P extraível pelo método Bray I (Quadro 2) reflete o fato de que os fosfatos mais solúveis foram capazes de manter maior nível de P em solução. Os fosfatos naturais brasileiros, mesmo em doses elevadas (350kg/ha de P) não conseguiram aumentar significativamente o teor de P "disponível" e, desse modo, sustentar bons níveis de eficiência agrônômica (Quadro 1). Também esses dados (P extraível durante o decorrer do experimento) permitem prever que parte dos fosfatos naturais brasileiros não se dissolveu. De acordo com Goedert (1983), cerca de um quarto desses fosfatos ainda se encontrava em forma de apatita, seis anos após sua incorporação ao solo.

Mesmo com os fosfatos solúveis, verifica-se um decréscimo de P extraível com o tempo, refletindo, além da retirada pelas plantas, a alta capacidade de adsorção de P desse solo, sendo esse um dos fatores responsáveis pelo decréscimo, relativamente rápido, do efeito residual com o decorrer do tempo. Deve-se frisar que o terreno foi preparado com enxada rotativa antes de cada cultivo anual, o que deve ter favorecido o processo de adsorção de P.

Quadro 2. Valores de pH, Ca + Mg trocável e de fósforo extraível pelo extrator Bray I, em diferentes períodos, em função de fontes e doses de fósforo incorporado em janeiro de 1976

Fontes	Doses de P total	pH (água)		Ca + Mg			P extraível		
		Ag.77	Ag.82	Ag.77	Ag.82		Ag.77	Ag.79	Ag.82
	kg/ha			meq/100g			ppm		
Testemunha	0	4,9	5,0	2,1	1,6	1,1	1	1	1
S. triplo	44	5,1	5,1	2,4	2,0	1,6	4	3	2
	88	5,1	5,2	2,6	1,9	1,8	5	2	2
	175	5,1	5,2	2,6	2,1	1,6	14	5	4
	350	5,1	5,2	2,6	2,3	1,8	27	11	10
	700	5,2	5,3	2,6	2,8	1,9	50	27	26
T. magnesiano	88	5,3	5,5	3,0	2,4	1,9	4	2	2
	350	5,6	5,7	4,4	3,8	3,2	16	8	7
Gafsa	88	5,2	5,2	2,4	2,1	1,7	4	3	2
	350	5,5	5,5	3,2	3,0	2,5	14	9	8
Flórida	175	5,2	5,3	2,3	2,3	1,8	5	4	3
Tennessee	175	5,2	5,3	2,1	2,3	1,7	3	4	3
Pirocaua (MA)	88	5,1	5,3	2,1	1,8	1,6	3	3	2
	350	5,1	5,1	2,4	1,9	1,9	17	8	8
Termo-IPT	88	5,2	5,2	2,3	2,1	1,4	2	2	2
	350	5,3	5,4	2,7	2,7	1,8	7	4	4
Patos (MG)	88	5,2	5,1	2,0	1,9	1,3	1	2	2
	350	5,1	5,2	2,2	2,3	1,8	3	3	4
Araxá (MG)	88	5,1	5,1	2,2	1,8	1,4	2	2	2
	350	5,1	5,3	2,5	2,1	1,9	3	3	3
Abaeté (MG)	88	5,1	5,2	2,2	2,2	1,6	1	2	2
	350	5,2	5,3	2,1	2,1	1,6	2	3	3
Catalão (GO)	88	5,1	5,1	2,1	2,0	1,5	1	2	2
	350	5,2	5,2	2,2	2,0	1,5	2	2	2

CONCLUSÕES

Utilizando-se o superfosfato triplo como fonte de referência, a eficiência agrônômica relativa das demais fontes testadas mostrou grande variação. Computando-se a quantidade total de P retirado pelas plantas durante oito anos de cultivo, as fontes podem ser assim relacionadas em ordem decrescente de eficiência: termofosfato magnesiano, Gafsa, Flórida, Tennessee, Pirocaua, termo-IPT, Patos, Araxá, Abaeté e Catalão. O equivalente ST dos fosfatos naturais brasileiros variou de 15 a 45%.

Os fosfatos naturais brasileiros (Patos, Araxá, Abaeté e Catalão) não promoveram aumentos significativos nos teores de P extraível e de (Ca+Mg) trocáveis do solo, sugerindo que parte do material não se dissolveu.

Após o quinto cultivo, o efeito residual foi equivalente para o ST e para o FN de Patos, não havendo, portanto, compensação da maior eficiência inicial da fonte solúvel.

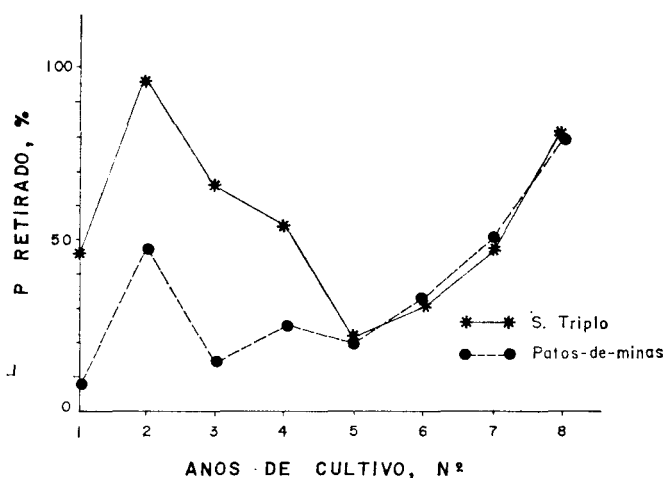


Figura 3. Extração relativa de fósforo, em oito anos de cultivo, de parcelas que receberam 88kg P total/hectare, em duas fontes, antes do primeiro cultivo (100% corresponde à parcela com 700kg P/hectare, na forma de superfosfato triplo).

A aplicação desses fosfatos naturais brasileiros como única fonte de fósforo é inviável quando se trata de culturas anuais, já que a necessidade de fósforo para produção de uma unidade de grão é muito elevada, quando comparado com os fosfatos solúveis. Na hipótese de haver vantagens econômicas no uso de fosfatos naturais, sua aplicação deve ser suplementada com fontes solúveis, como adubação de manutenção, a partir do primeiro cultivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Pesquisador Tarcísio G. da Silva Campos e ao Técnico Agrícola Joviano M. Pires Filho a participação na condução do experimento nos anos agrícolas 1981/82 e 1982/83.

LITERATURA CITADA

- ALCARDE, J. C. & PONCHIO, C. D. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termo fosfatos em diferentes extratores químicos. R. bras. Ci. Solo, Campinas. 4:196-200, 1980.
- CABALLA-ROSAND, P. & WILD, A. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. I. Effect of reaction time in soil. Pl. Soil, Hague, 65:351-362, 1982.
- FAGUNDES, A. B.; MENEZES, W. C.; KALCKMANN, R. E. Adubação e calagem de terras do cerrado. REUNIAO BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO, 2., Campinas, 1949. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1953. p.295-304.
- GOEDERT, W. Avaliação de efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. Pesq. agropec. bras., Brasília, 18:499-506, 1983.
- GOEDERT, W. & LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. Pesq. agropec. bras., Brasília, 15:311-318, 1980.
- HAMMOND, L. L.; LEON, L. A.; ASHBY, J. A. Annual report of IFDC/CIAT. Phosphorus Project. Cali, Colombia, CIAT, 1981. 29p.
- KORNDÖRFER, G. H. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo. Porto Alegre (RS), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1978. 61f. (Teses e Monografias, 7)
- LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos sob vegetação de cerrado. In: OLIVEIRA, J. A., LOURENÇO, S., GOEDERT, W. J., eds. Adubação fosfatada no Brasil. DID/EMBRAPA, Brasília (DF), 1982.
- McCLUNG, A. C., FREITAS, L. M. M., GALLO, J. R., QUINN, L. R.; MOTT, G. O. Alguns estudos preliminares sobre possíveis problemas de fertilidade em solos de diferentes campos cerrados de São Paulo e Goiás. Bragantia, Campinas, 17:29-44, 1958.
- MIRANDA, L. N., MIELNICZUK, J. LOBATO, E. Calagem e adubação corretiva. In: MARCHETTI, D. & MACHADO, A. D., eds. Simpósio sobre o cerrado: uso e manejo, 5., p.521-578. Brasília (DF), 1980.
- MURPHY, J. & RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. chem. acta., Amsterdam, 27:31-36, 1962.
- RAIJ, B. Van & DIEST, A. Van. Phosphate supplying power of rock phosphates in an oxisol. Pl. Soil, Hague, 55:97-107, 1980.
- SANCHEZ, P. A. & SALINAS, J. G. Low-input technology for managing oxisols in tropical America. Adv. Agron., New York, 34:280-398, 1981.
- YOST, R. S., NADERMAN, G. C., KAMPRATH, E. J., LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. Agron. J., Madison, 74:462-468, 1982.