

FONTES DE FÓSFORO (FLUIDA OU SÓLIDA) NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA E INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR

Effects of phosphorus sources (liquid or solid) on agricultural and industrial sugarcane yield

Gaspar Henrique Korndörfer¹, Suzana Pereira de Melo²

RESUMO

O estudo foi realizado em condições de campo, conduzido durante aproximadamente três anos, junto a Usina São Luiz Açúcar e Álcool, situada em Pirassununga (SP), utilizando-se a cultivar de cana-de-açúcar SP71-1406. Objetivou-se avaliar o desempenho de adubos fosfatados aplicados ao solo no plantio da cana planta, nas formas fluida e sólida, e seus efeitos ao longo do tempo, sobre a produtividade e qualidade da cana-de-açúcar. As fontes de fósforo testadas foram o superfosfato triplo, superfosfato simples, ácido fosfórico e uma mistura de ácido fosfórico + fosfato natural, na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. As duas primeiras foram aplicadas na forma granulada e as duas últimas na forma fluida, em linha e no fundo do suco. Os resultados permitiram concluir que não houve diferença estatística entre a adubação fosfatada sólida e fluida na produtividade agrícola e industrial da cana planta, e após o terceiro corte, o Índice de Eficiência Agrônômica dos fosfatos apresentou-se na seguinte ordem: superfosfato simples (110%) > superfosfato triplo (100%) > ácido fosfórico (73%) > ácido fosfórico + fosfato natural (48%).

Termos para indexação: Adubos fluidos, fosfato, ácido fosfórico, cana-de-açúcar.

ABSTRACT

With the increased use of liquid fertilizers in sugarcane farming, having deeper knowledge about agronomic effects of some of the fertilizer products becomes a necessity. The study was carried out under field conditions using the cultivar SP71-1406. The experiment was driven during approximately three years, and was located at São Luiz SA sugar-mill, Pirassununga (SP). The objective of this study was to evaluate the agronomic effect of different phosphate fertilizers on plant cane using liquid and solid forms. Residual effect, sugarcane yield and quality of the raw material were some of the factors studied. The phosphorus sources tested were triple superphosphate, single superphosphate, phosphoric acid and a mixture of phosphoric acid + rock phosphate. They were used in the rates of 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The first two fertilizers (superphosphates) were applied in the granulated form and the last ones in the liquid form. The phosphorus fertilizers were applied on the furrow just before planting. The results allowed concluding that there was no difference between solid and liquid form in the agricultural and industrial productivity. After the third cut, the Agronomic Efficiency Index showed that phosphates source reduced in the following order: single superphosphate (110%) > triple superphosphate (100%) > phosphoric acid (73%) > phosphoric acid + rock phosphate (48%).

Index terms: Liquid fertilizer, phosphate, phosphoric acid, sugarcane.

(Recebido em 5 de março de 2007 e aprovado em 18 de março de 2008)

INTRODUÇÃO

O fósforo é o nutriente que mais limita a produção vegetal em regiões tropicais (NOVAIS & SMYTH, 1999; RAIJ, 1991). Quando adubos fosfatados são aplicados ao solo, depois de sua dissolução, grande parte do P é retido na fase sólida, formando compostos menos solúveis, e apenas parte do P é aproveitada pelas plantas. A magnitude dessa recuperação que depende, principalmente, da espécie cultivada, é afetada pela textura, tipo de minerais de argila e acidez do solo. Além disso, a dose, a fonte, a granulometria e a forma de aplicação do fertilizante também influenciam nesse processo (SOUZA et al., 2004).

Embora o fósforo seja absorvido em pequenas quantidades pela cana-de-açúcar se comparado com nitrogênio e potássio, exerce função-chave no metabolismo dessa planta, particularmente na formação de proteínas, processo de divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, desdobramento de açúcares, respiração e fornecimento de energia a partir de ATP e formação de sacarose (ALEXANDER, 1973).

Raij et al. (1996) citaram exportações de nutrientes em kg Mg⁻¹ de colmos, de 0,9 para o nitrogênio, 0,2 para o fósforo e 1,1 para o potássio, em canaviais com produtividade variando entre 60 e 120 kg Mg⁻¹ de colmos.

¹Engenheiro Agrônomo, PhD, Professor Titular – Instituto de Ciências Agrárias/ICIAG – Universidade Federal de Uberlândia/UFU – Rua Fernando Costa, 177, apto 602 – Maracanã – 38400-234 – Uberlândia, MG – ghk53@terra.com.br – Bolsista CNPq

²Engenheira Agrônoma, Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Professora – Departamento de Agronomia – Universidade do Estado do Mato Grosso/UNEMAT – Rodovia MT 208, Km 147 – Jardim Tropical – 78580-000 – Alta Floresta, MT – spmelo@gmail.com

Malavolta et al. (1997) observaram exigência de 90 kg de N, 10 kg de P e 65 kg de K, para produção de 100 Mg de colmos.

O uso do ácido fosfórico aplicado diretamente ao solo, é uma técnica recente e já utilizada por alguns agricultores, porém, sua eficiência ainda é desconhecida na nossa agricultura. Entre as principais vantagens na sua utilização pode-se citar: facilidade de armazenamento; redução do tempo de reabastecimento dos tanques acoplados aos tratores e aumento no rendimento operacional das máquinas; menor custo por unidade de P_2O_5 . Outra alternativa de uso de adubos fosfatados na forma fluida na cana-de-açúcar é a mistura do fosfato natural com ácido fosfórico. Essa mistura visa, principalmente, reduzir o custo final do adubo. Somado a isso, procura-se através dessa mistura, aumentar o efeito residual do fósforo aplicado ao solo, diminuir a acidez do adubo e transformar, através do processo de acidulação, parte do fósforo insolúvel do fosfato natural em fósforo solúvel, ou prontamente disponível. Se por um lado os custos da formulação diminuem com o uso do fosfato natural, as dificuldades operacionais aumentam, isso é, o desgaste dos equipamentos (tanques e tubulações) por abrasão é muito intenso; além disso, as formulações precisam obrigatoriamente ser agitadas no interior dos tanques de estocagem e aplicação. Quando o sistema de agitação não é eficiente, normalmente ocorrem problemas de entupimento e segregação do fósforo.

Objetivou-se nesse trabalho comparar a eficiência agrônômica de fontes de fósforo aplicadas nas formas sólida ou fluida na produtividade agroindustrial de três cortes da cana-de-açúcar, cultivar SP71-1406.

MATERIALE MÉTODOS

O experimento foi instalado na Usina São Luiz, município de Pirassununga-SP, em área de solo Podzólico Vermelho-Amarelo de textura média, distrófico. A análise química revelou: pH em água de 5,6; P = 7 mg dm^{-3} (H_2SO_4 0,5N); K = 0,8 mmol_c dm^{-3} (H_2SO_4 0,5N); Ca = 8,2 mmol_c dm^{-3} ; Mg = 3,5 mmol_c dm^{-3} ; Al = 3,8 mmol_c dm^{-3} ; C = 14,7 g kg^{-1} . A análise física da camada de 0-25 cm de profundidade revelou: areia = 69%; silte = 6% e argila = 25% (EMBRAPA, 1997).

Os fertilizantes fosfatados utilizados foram: superfosfato triplo, superfosfato simples, ácido fosfórico e a mistura de ácido fosfórico + fosfato natural (Tabela 1). Os tratamentos foram: 1. Controle sem fósforo; 2. superfosfato triplo - 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 total; 3. superfosfato triplo - 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 total; 4. superfosfato simples -

100 kg ha^{-1} de P_2O_5 total; 5. Ácido fosfórico - 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 total; 6. Ácido fosfórico+fosfato natural - 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 total.

O superfosfato triplo foi escolhido como fonte padrão ou referência. Tanto o superfosfato triplo quanto o superfosfato simples foram aplicados na forma sólida granulada, enquanto que o ácido fosfórico e a mistura ácido fosfórico + fosfato natural foram aplicados na forma líquida. A aplicação foi localizada, isso é, em linha e no fundo do sulco de plantio, na dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 para todas as fontes.

Tabela 1 – Teores de P_2O_5 nos adubos fosfatados utilizados no experimento.

Fontes de fósforo	água	P_2O_5		P_2O_5 Total
		solúvel em ác. cítrico (2%)	Citrato+ água	
			%	
Superfosfato triplo	40,8	---	42,2	45,6
Superfosfato simples	16,5	---	19,2	20,6
Ácido fosfórico	52,4	---	52,6	52,8
Áci. fosf. + fosf. natural	16,0	17,4	18,7	31,7

O solo recebeu na época do plantio uma adubação básica contendo 25 kg ha^{-1} de N na forma de uréia, e mais 125 kg ha^{-1} de K_2O na forma de KCl. Dois meses depois, realizou-se adubação complementar em cobertura com 50 kg ha^{-1} de N na forma de sulfato de amônio e mais 75 kg ha^{-1} de K_2O na forma de KCl.

A cultivar de cana plantada foi a SP71-1406, classificada como de maturação média a tardia que pode ser colhida do início de agosto até novembro (final da safra). As parcelas constituíram-se de 10 linhas de cana espaçadas de 1,40 m e com 30 m de comprimento. A colheita da cana planta (primeiro corte) foi realizada com 18 meses de idade, utilizando-se uma área útil de 112 m^2 , composta de cinco linhas com 16 m de comprimento cada. Após o primeiro corte, as parcelas foram submetidas a um subtratamento, isso é, metade da parcela recebeu 50 kg ha^{-1} P_2O_5 total na forma de superfosfato triplo e a outra metade não recebeu adubação fosfatada (controle). A primeira soca (segundo corte) foi colhida aos 15 meses de idade, sendo a área útil da parcela correspondente a 5 linhas centrais de 10 m de comprimento ou 70 m^2 . A segunda soca (ressoca) não foi adubada com fósforo, recebendo apenas os demais nutrientes em quantidades iguais ao que se aplicou na primeira soca, ou seja, 50 kg ha^{-1} de N na forma de sulfato

de amônio e mais 75 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl; e foi colhida aos 11 meses de idade, na mesma área útil do segundo corte, isso é, 70 m².

Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-25 cm aos 4, 18 e 35 meses, sobre a linha de plantio da cana, e encaminhadas para análise de fósforo pelo método da resina (RAIJ, 1986). Para avaliar a eficiência agrônômica das fontes, empregou-se o conceito do Índice de Eficiência Agrônômica (I.E.A.), descrito por Goedert et al. (1986). As análises tecnológicas, isso é, P₂O₅ no caldo, Pol do caldo e ATR, foram feitas na cana planta, pelos métodos descritos por Copersucar (1978) e Glória & Rodella (1972).

A determinação da quantidade de P extraído pelas plantas e a produção de massa seca foram realizadas aos 6,5 e 17,5 meses de idade na cana planta. Na avaliação da produção de colmos da cana planta, as plantas foram divididas em duas partes: colmos e ponteiros. Os ponteiros foram separados dos colmos no ponto de fragilidade ou facilidade de quebra do palmito e em seguida os colmos foram pesados.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso na cana planta e de parcelas subdivididas na cana soca, com quatro repetições. Realizou-se a análise de variância, e quando o teste de F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cana planta

Resposta positiva foi observada na produção de colmos com o incremento das doses de superfosfato triplo (Figura 1). Para a comparação entre as fontes utilizou-se a dose de 100 kg ha⁻¹ o que garantiu boa avaliação dos fosfatos. Morelli et al. (1991), trabalhando com aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a lanchos em solos de baixa CTC e baixo teor de fósforo, obtiveram incremento de 56 Mg ha⁻¹ na produção de colmos.

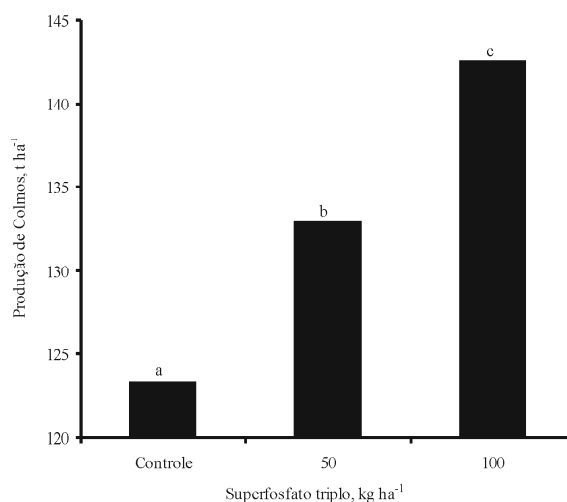


Figura 1 – Efeito de doses de fósforo aplicadas na forma de superfosfato triplo sobre a produção de colmos na cana planta.

As fontes de fósforo não diferiram entre si quanto à produção de massa seca, produção de colmos e P acumulado na parte aérea na cana planta (Tabela 2), comprovando assim, a igualdade na eficiência agrônômica das formas líquidas em relação às formas sólidas. A produção de massa seca da cana planta foi em média de 42,25 Mg ha⁻¹, para os quatro tratamentos.

Os resultados da análise tecnológica realizada na cana planta (Tabela 3), mostraram que as fontes de fósforo utilizadas não influenciaram a concentração de P₂O₅ do caldo e nem o teor de açúcar (Pol do caldo). A concentração de P₂O₅ no caldo foi em média de 109,25 mg L⁻¹, e o Pol do caldo foi de 17,1%, ambos em função dos tratamentos de fósforo. Outro estudo com adubação fosfatada na cultura da cana-de-açúcar também não demonstrou resposta positiva em relação ao acúmulo de sacarose (ORLANDO FILHO et al., 1994).

Tabela 2 – Produção de massa seca da parte aérea, de colmos e fósforo acumulado pela cana planta na colheita, em função das fontes de fósforo.

Tratamentos	Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Massa seca parte aérea t ha ⁻¹	P acumulado na parte aérea kg ha ⁻¹	Produção de colmos T ha ⁻¹
Superfosfato triplo	100	40,0	14,0	143,2
Superfosfato simples	100	43,2	15,2	146,1
Ácido fosfórico	100	41,8	16,7	139,0
H ₃ PO ₃ + fosf. natural	100	44,0	15,3	131,9
C.V. (%)		9,7	16,9	6,8
D.M.S.		9,39 n.s.	5,6 n.s.	21,27 n.s.

n.s. – não significativo.

Tabela 3 – Efeito das fontes de fósforo nas características tecnológicas da cana-de-açúcar, no primeiro corte.

Tratamentos	Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ no caldo mg L ⁻¹	Pol do caldo %	ATR kg t ⁻¹
Superfosfato triplo	100	111	17,1	116
Superfosfato simples	100	113	17,0	113
Ácido fosfórico	100	103	17,4	113
H ₃ PO ₃ + fosf. natural	100	110	16,8	112
C.V. (%)		14,4	3,6	6,7
D.M.S.		33,1 n.s.	0,28 n.s.	17,0 n.s.

n.s. – não significativo.

Cana soca (segundo corte)

A produtividade de colmos da cana soca não foi afetada pelas fontes de fósforo aplicadas na cana planta (Tabela 4), portanto não houve efeito residual do fósforo. As análises de solo realizadas durante o período experimental mostraram que o teor de fósforo extraído pela resina diminuiu com o passar do tempo, no entanto, não foi possível identificar diferenças estatísticas entre as fontes de fósforo (Figura 2).

Tabela 4 – Produtividade de colmos da cana soca (segundo corte)

Tratamentos	Doses de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Cana soca (t ha ⁻¹)		
		Controle	50 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	Média
Superfosfato triplo	100	110	114	112
Superfosfato simples	100	107	122	114
Ácido fosfórico	100	107	115	111
H ₃ PO ₃ + fosf. natural	100	103	111	106
C.V. (%)		11,7	9,6	7,8
D.M.S.		19,7 n.s.	34,8 n.s.	14,3 n.s.

Tratamentos com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ressoca (terceiro corte)

A ressoca (terceiro corte) não foi adubada com fósforo, no entanto o efeito residual dos 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados logo após o primeiro corte foi suficiente para aumentar a produção de colmos que subiu de 74 t ha⁻¹ para 81 t ha⁻¹, respectivamente, no tratamento controle e no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Esse

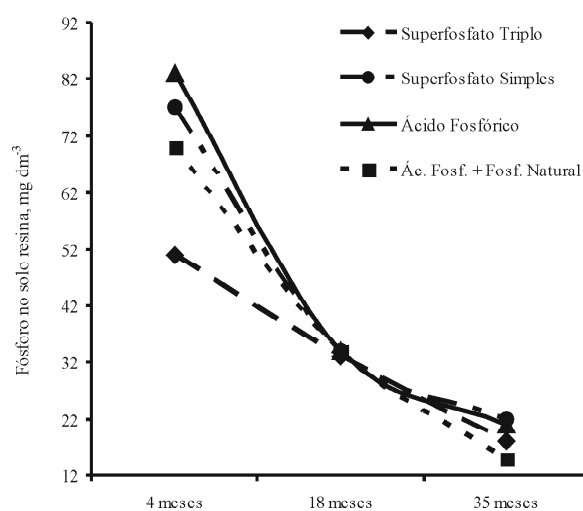


Figura 2 – Teores de fósforo no solo extraídos pela resina trocadora de ânions, em três épocas, após a aplicação das fontes de fósforo.

resultado mostra, mais uma vez, a importância da adubação fosfatada na cana soca.

Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.)

Utilizando a soma da produção de três cortes para calcular o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) dos fosfatos verificou-se que esse índice diminuiu na seguinte ordem: superfosfato simples (110%) > superfosfato triplo (100%) > ácido fosfórico (73%) > ácido fosfórico+fósforo natural (48%) (Figura 3). O IEA do ácido fosfórico de 73% indica que esse adubo oferece boas perspectivas de uso na cana-de-açúcar.

O ácido fosfórico embora sendo uma fonte totalmente solúvel, quando aplicado no solo na forma líquida, entra em contato com maior volume de solo comparativamente aos fosfatos solúveis aplicados na forma granulada e, por essa razão, reage mais intensamente com o solo, diminuindo o P disponível para a planta.

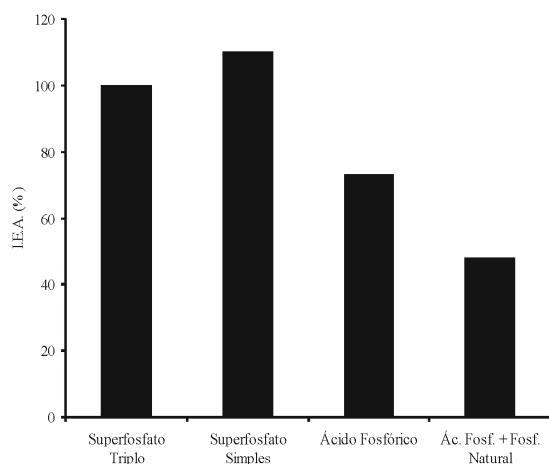


Figura 3 – Índice de Eficiência Agronômica das fontes de fósforo calculado com base na soma da produção de três cortes consecutivos.

A avaliação da soma da produção de cana de 3 cortes consecutivos mostrou que a mistura ácido fosfórico+fósforo natural foi menos eficiente que as demais fontes, apresentando apenas 48% de IEA (Figura 3 e Tabela 5). A presença de fósforo natural não solubilizado na mistura, somado ao efeito da localização do adubo no fundo do sulco de plantio, reduzindo a superfície de contato com o solo, são os possíveis fatores responsáveis pela menor eficiência dessa mistura. Analisando o comportamento da mistura ácido fosfórico + fósforo natural observa-se incremento no I.E.A. de 41% para 72% (Tabela 5). Isso indica que houve recuperação dessa fonte, a qual pode ser atribuída ao aproveitamento da porção insolúvel (P-não lábil).

Tabela 5 – Índice de Eficiência Agronômica das fontes de fósforo em cada corte.

Tratamentos	Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.)			Média
	Primeiro Corte	Segundo Corte ¹	Terceiro Corte ¹	
Superfósforo triplo	100	100	100	100
Superfósforo simples	115	122	94	110
Ácido fosfórico	78	88	50	72
H ₃ PO ₃ + fosf. natural	41	45	72	53

¹ Calculado com base na produção de colmos das parcelas que não receberam fósforo na soqueira.

CONCLUSÕES

Não houve efeito das fontes de fósforo utilizadas (fluída ou sólida) nos rendimentos agrícola e industrial da cana-planta e nos rendimentos agrícola da primeira e da segunda socas da cana, cultivar SP71-1406.

O Índice de Eficiência Agronômica do ácido fosfórico, considerando-se três cortes consecutivos de cana foi de 72%, o que indica que o produto possui viabilidade técnica de uso como fonte de fósforo para a cana-de-açúcar;

A mistura com fósforo natural pode melhorar o efeito residual do ácido fosfórico, principalmente no 3º corte.

AGRADECIMENTOS

Ao Engº Agrº João Martins, da Usina São Luiz de Pirassununga/SP, pela constante supervisão do experimento e pelas facilidades colocadas à nossa disposição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, A. G. *Sugarcane physiology*. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.
- COPERSUCAR. *Estudo sobre a implantação no Brasil de um sistema de pagamento de cana de açúcar e a qualidade*. São Paulo, 1978. 99 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise do solo*. Brasília, DF, 1997. 212 p.
- GLÓRIA, N. A.; RODELLA, A. A. Métodos de análise quantitativa inorgânica em caldo de cana de açúcar: vinhaça e melaço I: determinação de cálcio, magnésio, potássio, enxofre e fósforo em um mesmo extrato. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, Piracicaba, v. 29, p. 5-17, 1972.
- GOEDERT, W.; SOUZA, D. M. G.; THOMAZ, A. R. *Princípios metodológicos para avaliação agronômica de fontes de fósforo*. Planaltina: Embrapa, 1986.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MORELLI, J. L.; NELLI, E. J.; BAPTISTELA, J. R.; DEMATTÊ, J. L. I. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 57-61, 1991.

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

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja o doutor do seu canavial. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 67, p. 10, set. 1994.

RAIJ, B. van. Condições mínimas de eficiência para fosfatos alternativos ao superfosfato. **Revista**

Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 10, n. 3, p. 235-239, 1986.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (Boletim técnico, 100).

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