

# FERTILIZANTES FOSFATADOS E PRODUÇÃO DA SOJA EM SOLOS COM DIFERENTES CAPACIDADES TAMPÃO DE FOSFATO<sup>(1)</sup>

I. BEDIN<sup>(2)</sup>, A. E. FURTINI NETO<sup>(3)</sup>, A. V. RESENDE<sup>(4)</sup>, V. FAQUIN<sup>(3)</sup>,  
A. M. TOKURA<sup>(5)</sup> & J. Z. L. SANTOS<sup>(5)</sup>

## RESUMO

**Objetivou-se avaliar a eficiência de fertilizantes fosfatados na nutrição e na produção da soja em três solos distintos quanto à capacidade-tampão de fosfato: Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa. Experimentos foram realizados em casa de vegetação em esquema fatorial (2 x 4) + 8, comparando duas fontes-teste de P (FT1 e FT2) em quatro doses, além de oito tratamentos adicionais: fonte teste 3 (FT3); superfosfato triplo (ST) + calcário calcítico; ST + calcário dolomítico; mistura ST + FT1; ST + FT2; termofosfato magnesiano; fosfato de Araxá e testemunha (sem P). As doses de P foram definidas com base na análise do P remanescente, sendo diferentes para cada solo. O fornecimento de fósforo pela aplicação da FT1 e FT2 provocou aumento na produção de matéria seca e de grãos de soja. O uso das FT's, isoladamente ou em mistura com o ST, proporcionou crescimento vegetativo e produção equiparáveis aos dos tratamentos com ST e termofosfato. O aumento no fator capacidade de P do solo restringiu a absorção e contribuiu para maior eficiência de utilização do nutriente pela soja, nivelando os efeitos dos tratamentos.**

**Termos de indexação: fertilidade do solo, adubação fosfatada, eficiência nutricional, *Glycine max*.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Projeto financiado pela Fوسفertil/Ultrafertil e CNPq. Recebido para publicação em agosto de 2002 e aprovado em maio de 2003.

<sup>(2)</sup> Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: ibedin@dominiomt.com.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq. E-mails: afurtini@ufla.br; vafaquin@ufla.br

<sup>(4)</sup> Pesquisador da Embrapa Cerrados, Rodovia BR 020, Km 18, Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina (DF). E-mail: alvaro@cpac.embrapa.br

<sup>(5)</sup> Pós-Graduandos do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. E-mails: amtokura@zipmail.com.br; zilton-santos@bol.com.br

**SUMMARY:** *PHOSPHATE FERTILIZERS AND SOYBEAN YIELD IN SOILS WITH DIFFERENT PHOSPHATE BUFFER CAPACITIES*

*The efficiency of three new phosphate fertilizers (test sources, TS) was assessed and compared to traditional P fertilizers in terms of nutrition and yield of soybeans, on three different soils: a Quartzarenic Neosol, a loamy dystrophic Red-Yellow Latosol, and a clayey dystrophic Red-Yellow Latosol. The greenhouse experiments, in a factorial layout of (2 x 4) + 8, compared two TS (TS1 and TS2) in four doses, with eight additional treatments for each soil [triple superphosphate with calcitic lime, triple superphosphate with dolomitic lime, triple superphosphate + TS1, triple superphosphate + TS2, magnesium thermophosphate, Araxá rock phosphate, TS3, and a control (no P)]. Based on the remaining-P analysis, different P doses were determined for each soil. P supply by TS1 and TS2 increased the yields of soybean dry matter and grain. The use of TS's, separately or in mixture with triple superphosphate, provided vegetative growth and production of soybean that is comparable to treatments with triple superphosphate and thermophosphate. The increase in the P capacity factor of the soil restricted the P uptake and contributed to a greater P use efficiency for soybean, leveling off the effect of the treatments.*

*Index terms: soil fertility, phosphated fertilization, nutritional efficiency, Glycine max.*

## INTRODUÇÃO

A produtividade das culturas depende, dentre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes, sendo o fornecimento de P via adubação uma prática essencial nos solos brasileiros. A deficiência de P nos solos tropicais é intensa graças ao pH ácido e à presença de grandes proporções de argila sesquioxídica, o que aumenta muito a adsorção de fosfatos e a formação de precipitados com Fe e Al, reduzindo, conseqüentemente, a disponibilidade de P para as plantas (Sanchez & Salinas, 1981).

Sabe-se que as características de solubilidade das fontes de P são de grande importância em relação à sua eficiência: os fosfatos de maior solubilidade, sendo mais prontamente disponíveis, favoreceriam a absorção e o aproveitamento do nutriente, principalmente pelas culturas de ciclo curto (rápido crescimento). No entanto, essa rápida liberação do P pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis pelos componentes do solo, originando compostos fosfatados de baixa solubilidade e indisponibilizando o nutriente para as plantas, sendo tal fenômeno tanto mais expressivo quanto mais argiloso for o solo. Dessa maneira, os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizariam os processos de fixação e poderiam favorecer maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas (Novais & Smyth, 1999).

Trabalhos têm mostrado grande ajuste das plantas à utilização do P absorvido em solos diferentes quanto ao fator capacidade de P - FCP (Muniz et al., 1985; Novais et al., 1993; Fernández R., 1995). Segundo esses autores, a maior, ou menor, competição com o solo pelo P aplicado como fertilizante faz com

que a planta se ajuste para melhor utilizar o nutriente que lhe é colocado à disposição, explicando os menores níveis críticos encontrados nos solos mais tamponados.

O atendimento da demanda da cultura, com um mínimo de fixação de P no solo, constitui o aspecto principal do que é desejável para a otimização da fertilização fosfatada. Assim sendo, pode-se esperar que essa condição seja alcançada mais facilmente quando a fonte utilizada apresentar uma velocidade de liberação que coincida com a capacidade de aproveitamento do nutriente pela cultura ao longo do seu ciclo.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de fontes de P para a soja cultivada em solos distintos quanto à capacidade-tampão de fosfato.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Utilizaram-se amostras da camada superficial (0-20 cm) de três solos sob cerrado, distintos quanto à capacidade-tampão de fosfato: Neossolo Quartzarênico (NQ), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (LVAm) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa (LVAr). Foram comparadas seis fontes de P, utilizando-se a soja como planta-teste.

Para cada solo, um experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial (2 x 4) + 8, sendo duas fontes teste de P (FT1 e FT2), provenientes da Fosfértil/Ultrafértil S.A., em quatro doses, com oito tratamentos adicionais.

Para as fontes FT1 e FT2, quatro doses de P foram definidas, conforme a capacidade-tampão de fosfato de cada solo (Quadro 1), com base na análise do P remanescente (Alvarez V. & Fonseca, 1990; Alvarez V. et al., 2000). Uma testemunha, sem fornecimento de P, constituiu um dos tratamentos adicionais.

Uma terceira fonte-teste (FT3) foi incorporada ao ensaio como tratamento adicional, em apenas uma dose, a terceira dose utilizada para as FT's 1 e 2, correspondente a 310, 350 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de P, respectivamente, para os solos NQ, LVAm e LVar.

Pretendendo melhor discriminar os efeitos das FT's, foram utilizados mais seis tratamentos adicionais, na mesma dose da FT3: superfosfato triplo + calcário calcítico para a correção da acidez (ST + CC); superfosfato triplo + calcário dolomítico (tratamento-referência, ST + CD); misturas superfosfato triplo + FT1 (ST + FT1) e superfosfato triplo + FT2 (ST + FT2) na relação 1:1 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total; termofosfato magnésiano Yoorin (TM) e fosfato de Araxá (FA). Os tratamentos ST + CC e ST + CD foram incluídos com vistas em evidenciar efeitos da presença de Mg nas FT's (Quadro 2). O fornecimento das doses de P foi feito com base no teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total das fontes (Quadro 2).

Precedendo a aplicação dos tratamentos, os solos receberam calcário calcítico (calcário dolomítico, no caso do tratamento ST + CD), objetivando-se valores de pH próximos de 5,5. Essa correção, equivalente a 2,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário para os solos NQ e LVAm e 4,0 t ha<sup>-1</sup> para o LVar, foi feita individualmente em cada vaso de 3 dm<sup>3</sup>, com umidade a 60 % do volume total de poros - VTP (Freire et al., 1980) e incubação por 22 dias.

Em todas as parcelas, efetuou-se uma adubação básica com 150; 50; 0,5; 1,5; 3,6; 5,0; 0,15; e 4 mg dm<sup>-3</sup> de K, S, B, Cu, Mn, Zn, Mo e Fe, respectivamente. Esta adubação foi balanceada na forma de reagentes p.a. para que somente a quantidade de P variasse. O tratamento FA recebeu adubação específica com 50 mg dm<sup>-3</sup> de Mg, considerando a ausência deste nutriente no fosfato de Araxá (Quadro 2).

Após a aplicação dos tratamentos, procedeu-se à semeadura de seis sementes de soja cultivar Conquista (MG/BR-46), previamente inoculadas com rizóbio, mantendo-se, após desbaste, três plantas por vaso.

Durante os experimentos, a umidade foi controlada diariamente por meio de irrigação com água deionizada. Uma adubação de cobertura, utilizando

**Quadro 1. Atributos dos solos e doses de P de acordo com a análise do P remanescente**

Solo	Argila	Matéria orgânica	P		Capacidade-tampão de fosfato	Dose de P
			Disponível <sup>(1)</sup>	Remanescente		
— g kg <sup>-1</sup> —			mg dm <sup>-3</sup>	mg L <sup>-1</sup>		mg dm <sup>-3</sup>
NQ	50	13	8	33,1	Baixa	60 - 180 - 310 - 620
LVAm	150	14	1	27,0	Média	70 - 210 - 350 - 700
LVar	530	37	2	11,4	Alta	80 - 240 - 400 - 800

<sup>(1)</sup> P disponível pelo Extrator Mehlich-1. Em todos os solos, a disponibilidade de P é interpretada como muito baixa, de acordo com Alvarez V. et al. (2000).

**Quadro 2. Principais características das fontes de fósforo utilizadas**

Fonte <sup>(1)</sup>	Característica						
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Sol. água	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Ac.cítrico	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> CNA + água	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>
%							
FT 1	27,4	0,21	18,7	19,1	34,0	2,0	13,0
FT 2	24,1	0,21	15,5	16,3	33,0	3,0	20,0
FT 3	29,3	13,4	23,1	23,9	36,0	3,0	15,0
ST	46,1	38,3	-	-	-	13,0	-
TM	18,1	-	17,6	-	7,0	20,0	25,0
FA	22,7	-	4,3	-	-	40,0	-

<sup>(1)</sup> FT = fonte-teste, produto desenvolvido pela Fosfertil/Ultrafertil S.A.; ST = superfosfato triplo; TM = termofosfato magnésiano Yoorin; FA = fosfato de Araxá.

sulfato de potássio, foi realizada 60 dias após o plantio (DAP), fornecendo 50 mg dm<sup>-3</sup> de K e 20 mg dm<sup>-3</sup> de S. O tratamento-testemunha e o fosfato de Araxá receberam metade da dose em virtude do reduzido crescimento vegetativo. O N foi suprido exclusivamente pela fixação biológica.

Amostras de solo foram retiradas para caracterização dos efeitos dos tratamentos. Foi feita determinação do pH em água (relação 1:2,5) e de Ca e Mg extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, conforme EMBRAPA (1997), além do P disponível pela resina de troca iônica, segundo Raij et al. (1986).

No início do florescimento da soja (65 DAP), foi colhida a parte aérea de uma planta de cada parcela, deixando-se apenas duas plantas por vaso. Na mesma época, em todas as plantas foram coletadas folhas fisiologicamente maduras (3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> folhas com pecíolo), as quais foram secas em estufa a 60 °C, e, posteriormente, trituradas e submetidas à análise química para determinação dos teores totais de P (Malavolta et al., 1997). Para tal finalidade, as amostras vegetais foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica (Zaroski & Burau, 1977), obtendo-se extratos nos quais foram determinados os teores de P por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974).

Cultivou-se a soja até o final do ciclo (120 DAP), ocasião em que a parte aérea das plantas foi colhida, sendo os grãos separados para avaliação da produção. Caules e vagens foram secos em estufa juntamente com as folhas que senesceram e caíram ao longo do ciclo da cultura, a fim de determinar a produção de matéria seca da parte aérea da soja. Os grãos foram secos em estufa e triturados, sendo o teor de P determinado pelo mesmo procedimento analítico efetuado para as folhas coletadas no florescimento. Foi calculado o acúmulo de P nos grãos. A eficiência

de utilização de P (EUP) pela soja foi obtida de acordo com a expressão:  $EUP = [(matéria\ seca\ de\ grãos)^2 / (P\ acumulado\ nos\ grãos)]$ , segundo Siddiqi & Glass (1981).

Os dados foram submetidos à análise de variância e testes de médias (Scheffé, 5 %) para avaliar as diferenças entre tratamentos. Para as FT1 e FT2, foram ajustadas equações de regressão para teor foliar de P e produção de grãos, como variáveis dependentes das doses de P aplicadas. A partir dos modelos de regressão, foram estimadas as doses de P para a obtenção da produção máxima de grãos e as doses equivalentes a 90 % da produção máxima (produção econômica), bem como as doses das FT's 1 e 2 equivalentes à produção do tratamento-referência (ST + CD). Com base nas doses que proporcionaram as produções econômicas, foram definidos os níveis críticos foliares de P.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentados nos quadros 3 e 4 permitem comparar o efeito das FT's com os tratamentos adicionais utilizados no estudo. Para tanto, foram considerados, para cada solo, os resultados obtidos na terceira dose das FT's 1 e 2, a qual é coincidente com a quantidade de P aplicada nos tratamentos adicionais.

Pela análise do quadro 3, verifica-se que as FT's apresentam efeito neutralizante da acidez do solo, além da capacidade de fornecimento de P, Ca e Mg. A maior liberação de Mg em relação ao Ca é reflexo da proporção entre estes nutrientes na composição das FT's (Quadro 2).

**Quadro 3. Atributos químicos dos solos após a aplicação dos tratamentos com diferentes fontes de fósforo nas doses de 310, 350 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de P, para os solos NQ, LVAm e LVAr, respectivamente**

Tratamento	Solo											
	NQ				LVAm				LVAr			
	pH (H <sub>2</sub> O)	P resina	Ca	Mg	pH (H <sub>2</sub> O)	P resina	Ca	Mg	pH (H <sub>2</sub> O)	P resina	Ca	Mg
		mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
FT 1	6,0	140	0,9	2,3	6,5	155	1,2	2,7	6,6	120	2,9	3,5
FT 2	6,2	147	1,0	2,4	6,6	132	1,0	2,7	6,9	122	2,6	3,8
FT 3	6,5	89	0,9	2,4	6,9	119	1,3	2,6	6,8	100	2,7	3,5
ST+CC	5,2	112	2,2	0,1	5,6	127	2,5	0,2	5,7	117	4,1	0,4
ST + FT1	5,6	102	1,5	1,1	5,8	83	1,6	1,8	6,0	113	3,2	2,5
ST + FT2	5,6	102	1,2	1,6	5,8	116	1,5	2,1	6,1	108	3,1	2,4
ST+CD	5,3	102	1,4	0,9	5,3	119	1,8	0,8	5,6	117	2,8	1,5
TM	6,3	75	2,3	1,5	6,8	79	3,1	1,2	6,7	96	4,4	2,6
FA	5,9	27	1,3	0,9	6,0	21	1,3	0,5	6,3	31	3,6	0,6
Testemunha	5,8	6	1,4	0,1	5,9	3	2,2	0,3	5,9	4	3,8	0,1

À exceção dos tratamentos ST + CC, FA e testemunha, que proporcionaram as menores produções de matéria seca (MS) e de grãos, não foram encontradas diferenças significativas entre os demais tratamentos nos solos NQ e LVAm. No solo LVAr, apenas os tratamentos FA e testemunha mostraram-se estatisticamente inferiores (Quadro 4). Esses resultados demonstram que a eficiência das FT's, aplicadas isoladamente ou em mistura, foi equiparável ao efeito dos tratamentos com fertilizantes comerciais, superfosfato triplo (ST + CD) e termofosfato magnésiano (TM).

Nos solos NQ e LVAm, as baixas produções observadas para o tratamento ST + CC (Quadro 4) deveram-se à ausência de uma fonte de Mg e ao reduzido suprimento pelos solos (Quadro 3), o que levou à deficiência severa do nutriente, confirmada por análise foliar e, visualmente, no início do enchimento de grãos. Este fato evidenciou a boa capacidade das FT's em fornecerem Mg nos tratamentos em que foram utilizadas.

Confirmando as observações de Novais (1996), a produção de grãos obtida no solo arenoso NQ tendeu a ser maior que no LVAm e LVAr (Quadro 4), a despeito das maiores quantidades de P fornecidas com o aumento do fator capacidade de P (FCP) do solo (Quadro 1), o que demonstra o caráter de drenop-P mais pronunciado nos dois Latossolos.

Como no fatorial somente houve efeito significativo do fator "doses de P", as variações nos teores foliares de P e na produção de grãos da soja de acordo com as doses das FT's 1 e 2, para cada solo, foram explicadas por modelos válidos para ambas as fontes fosfatadas (Figura 1). O aumento da disponibilidade de P, à medida que doses crescentes do nutriente

foram aplicadas aos três solos, proporcionou incrementos lineares no teor de P das folhas de soja coletadas por ocasião do florescimento. Entretanto, apenas no solo LVAr, a produção de grãos aumentou continuamente com as doses de P aplicadas, diferentemente do observado para os demais solos, para os quais a produção estabilizou-se ou decresceu já a partir da terceira dose (Figura 1).

Os menores teores foliares de P, observados nas plantas desenvolvidas no solo LVAr, com elevado FCP, e os maiores teores relacionados com o solo NQ, com menor FCP (Figura 1), confirmam a tendência geral do comportamento vegetal em solos com diferentes capacidades-tampão de fosfato (Muniz et al., 1985). No caso em questão, em virtude da presença de menores quantidades de argila (Quadro 1), os solos NQ e LVAm proporcionaram concentrações de P em solução mais elevadas (menor FCP), incrementando o influxo do nutriente e contribuindo para as maiores concentrações foliares. Comportamento inverso foi observado para o solo LVAr.

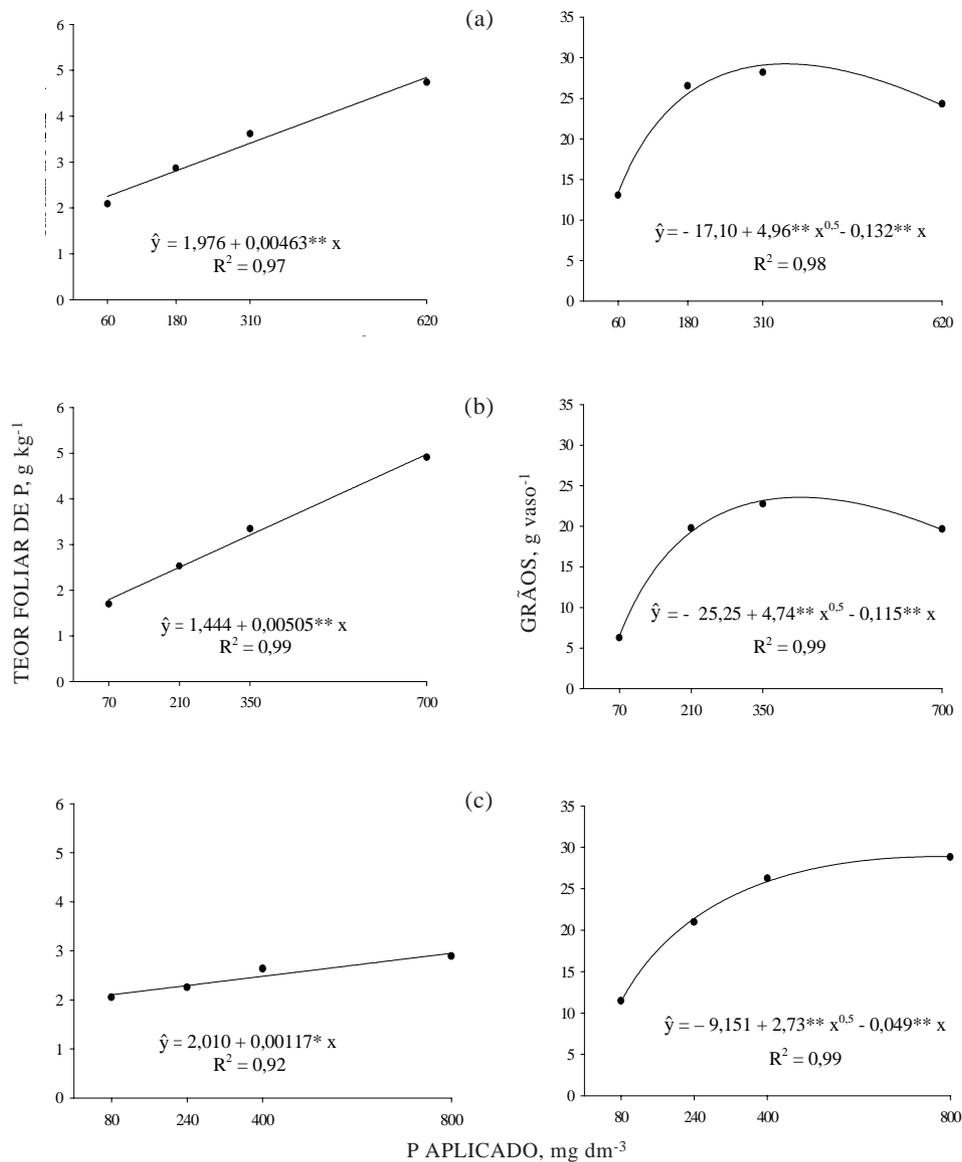
Esse aparente ajuste da absorção indica sensibilidade da planta ao FCP, em virtude da qual, nos solos mais tamponados, o P absorvido seria utilizado mais eficientemente pela soja (Muniz et al., 1985), uma vez que as diferenças de produção de matéria seca observadas entre os solos não foram acentuadas (Quadro 4).

A partir dos modelos de produção de grãos da soja de acordo com as doses das FT's 1 e 2, a estimativa da produção máxima econômica, correspondente a 90 % da produção máxima, para os solos NQ, LVAm e LVAr (26,3; 21,2 e 26,0 g vaso<sup>-1</sup>, respectivamente), manteve-se com tendência de

**Quadro 4. Produção de matéria seca da parte aérea (MS) e de grãos, conteúdo de P nos grãos (CP) e eficiência de utilização de P (EUP) pela soja em resposta à aplicação de diferentes fontes fosfatadas, nas doses de 310, 350 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de P, para os solos NQ, LVAm e LVAr, respectivamente**

Tratamento	Solo											
	NQ				LVAm				LVAr			
	MS	Grãos	CP	EUP	MS	Grãos	CP	EUP	MS	Grãos	CP	EUP
	— g vaso <sup>-1</sup> —	mg vaso <sup>-1</sup>	g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup>		— g vaso <sup>-1</sup> —	mg vaso <sup>-1</sup>	g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup>		— g vaso <sup>-1</sup> —	mg vaso <sup>-1</sup>	g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup>	
FT 1	60,7 a	28,1 a	139,3 a	5,7 ab	52,2 a	23,0 a	95,2 a	5,6 a	58,2 a	24,8 a	90,7 a	6,8 a
FT 2	60,7 a	28,3 a	149,6 a	5,4 ab	51,3 a	22,6 a	98,2 a	5,6 a	59,6 a	27,6 a	98,0 a	7,3 a
FT 3	61,1 a	28,2 a	154,2 a	5,0 bc	48,8 a	23,0 a	110,6 a	4,8 ab	55,8 a	25,5 a	104,8 a	6,2 a
ST+CC	32,1 b	6,9 b	46,3 b	1,0 d	37,0 b	16,0 b	92,6 b	2,8 bc	51,1 a	21,6 a	83,2 b	5,6 a
ST + FT1	63,2 a	27,1 a	163,8 a	4,5 bc	53,0 a	22,2 a	114,3 a	4,3 abc	62,3 a	27,3 a	101,0 a	7,7 a
ST + FT2	61,4 a	26,7 a	155,5 a	4,6 bc	53,1 a	21,8 ab	120,4 a	4,0 abc	58,6 a	24,7 a	103,0 a	6,0 a
ST+CD	53,7 a	23,4 a	151,1 a	3,6 c	44,9 ab	19,8 ab	107,9 a	3,6 bc	57,1 a	24,9 a	90,1 a	6,9 a
TM	62,5 a	29,5 a	127,4 a	6,8 a	49,0 a	21,5 ab	84,9 a	5,5 a	55,5 a	24,4 a	85,3 a	7,0 a
FA	16,2 c	6,4 b	20,5 b	2,0 d	19,0 c	6,1 c	18,2 b	2,0 d	17,0 b	7,7 b	22,9 b	2,6 b
Testemunha	8,6 c	2,9 b	7,7 b	1,1 d	2,9 d	0,8 c	2,6 b	0,3 d	3,2 c	0,9 c	2,8 b	0,3 b

Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scheffé (P < 0,05).



**Figura 1. Teores foliares de P no florescimento da soja e produção de grãos de acordo com as doses das FT1 e FT2 nos solos NQ (a), LVAm (b) e LVar (c).**

superioridade em relação à produção obtida no tratamento-referência ST + CD (23,4; 19,8 e 24,8 g vaso<sup>-1</sup>, respectivamente). O ponto de equivalência das fontes em relação à produção do tratamento-referência foi obtido com doses estimadas (145, 220 e 350 mg dm<sup>-3</sup> de P, respectivamente, para os solos) relativamente, menores em relação à dose fornecida naquele tratamento, significando que as FT's foram eficientes em suprir P e Mg para a soja, e seu uso associado ao calcário calcítico teria efeito comparável ao do tratamento ST + CD.

Com base nas doses que proporcionaram a PME, foram determinados os níveis críticos foliares de P, os quais corresponderam a 2,9; 2,7 e 2,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para os solos NQ, LVAm e LVar. A variação nas doses de P, conforme o tipo de solo,

definida por meio do método do P remanescente (Alvarez V. & Fonseca, 1990; Alvarez V. et al., 2000), amenizou o efeito do FCP, tendendo a nivelar os valores de nível crítico foliar entre os solos. Tais valores estão coerentes com a faixa adequada para o ótimo desenvolvimento da soja no campo: 2,6 a 5,0 g kg<sup>-1</sup> (CFSEMG, 1999; EMBRAPA, 1998). Variações nos níveis críticos são esperadas e explicadas por diversos fatores, como época de cultivo, fontes aplicadas, dose de P e de outros nutrientes e condições de cultivo (Faquin et al., 1995), além do tipo de solo.

À exceção dos tratamentos FA e testemunha nos três solos e ST + CC no solo NQ, os demais tratamentos proporcionaram conteúdos de P nos grãos que não diferiram estatisticamente entre si (Quadro 4).

Cerca de 70 % do P total acumulado pela soja ao longo do ciclo é absorvido entre os estádios de formação de vagens até o enchimento de grãos (Yamada, 2000). Do total absorvido, as sementes constituem dreno de aproximadamente 65 % (EMBRAPA, 1994). Nesse sentido, pela variação na quantidade de P acumulada nos grãos de soja, é possível fazer inferências a respeito das características dos fertilizantes fosfatados e das interações destes com as propriedades dos solos que influenciam a disponibilidade de P às plantas, como, por exemplo, o FCP.

Apesar da dose mais elevada de P aplicada ao solo LVAr, as plantas, quando desenvolvidas nesse solo mais tamponado, tenderam a acumular menor quantidade de P nos grãos (Quadro 4), principalmente em comparação ao solo NQ, com menor FCP. Em termos de eficiência de utilização de P (EUP), o comportamento foi inverso em relação ao acúmulo do nutriente, de forma que no solo LVAr verificou-se ligeiro incremento na EUP, possivelmente por causa da maior competição entre solo e planta pelo fósforo fornecido, levando a planta a otimizar o uso do nutriente (Muniz et al., 1985; Novais et al., 1993; Fernández R., 1995).

É oportuno destacar que o uso do método do P remanescente para a definição das doses de P nos diferentes solos usados neste estudo amenizou o efeito do FCP e tendeu a nivelar os valores de EUP entre os três solos (Quadro 4). No entanto, o efeito do aumento do FCP, na seqüência NQ < LVAm < LVAr, persistiu no tocante à absorção do nutriente pela soja, reduzindo o acúmulo nos grãos, indicando que características intrínsecas à espécie vegetal ou genótipo tiveram participação na equiparação da EUP nos três solos, o que deve estar relacionado com a referida capacidade de ajuste da planta à variação no suprimento de P em diferentes ambientes de crescimento.

No solo NQ, que tipicamente apresenta menor interação com as fontes de P, a EUP no tratamento TM destacou-se e foi estatisticamente superior à dos demais tratamentos (Quadro 4). Este resultado pode ser explicado pela menor solubilidade deste fertilizante, comparativamente às outras fontes testadas, com taxa de liberação de P que parece acompanhar o desenvolvimento da cultura, o que também contribui para uma maior eficiência de utilização do nutriente.

Os efeitos das fontes fosfatadas na absorção e eficiência de utilização de P mostraram-se bastante influenciados pelo FCP dos solos, uma vez que as diferenças entre os tratamentos observadas no solo arenoso, NQ, desaparecem no solo mais tamponado, LVAr (Quadro 4). Isso mostra que, no caso de solos com alta capacidade de fixação de P, os atributos edáficos são aqueles que, em última instância, modulam o suprimento do nutriente às plantas, sendo menos perceptível a influência do tipo de fertilizante.

## CONCLUSÕES

1. O fornecimento de P pela aplicação das FT's 1, 2 e 3 promoveu aumentos na produção de matéria seca da parte aérea e de grãos da soja. O uso das FT's, isoladamente ou em mistura com o superfosfato triplo, proporcionou crescimento vegetativo e produção da soja equiparáveis aos dos tratamentos com os fertilizantes comerciais superfosfato triplo com calcário dolomítico e termofosfato magnésiano.
2. O aumento no fator capacidade de P do solo na seqüência NQ < LVAm < LVAr restringiu a absorção e contribuiu para maior eficiência de utilização do nutriente, nivelando os efeitos de diferentes fontes de P no crescimento e produção da soja.

## LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição das doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 14:49-55, 1990.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25:27-32, 2000.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, 1999. 359p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil - 93/94. Londrina, 1994. 120p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil. Londrina, 1998. 182p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R. & GUEDES, G.A.A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um Latossolo da região noroeste do Paraná. R. Bras. Ci. Solo, 19:87-94, 1995.
- FERNÁNDEZ R., I.E.J. Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 94p. (Tese de Doutorado)
- FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S. & AQUINO, L.E. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. R. Bras. Ci. Solo, 4:5-8, 1980.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 9:237-243, 1985.
- NOVAIS, R.F. A pesquisa em fertilidade do solo (no País) - como a vejo (e a sinto). In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. p.397-409.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CASALI, V.W.D. & FABRES, A.S. The influence of the soil phosphate capacity factor on soil and plant phosphorus critical levels of different vegetables. In: FRAGOSO, M.A.C. & BEUSICHEM, M.L.V., eds. Optimization of plant nutrition. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1993. p.73-76.
- RAIJ B. van; QUAGGIO, J.A. & SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 17:547-566, 1986.
- SANCHEZ, P.A. & SALINAS, J.G. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. Adv. Agron., 34:280-406, 1981.
- SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. J. Plant Nutr., 4:289-302, 1981.
- YAMADA, T. Nutrição e adubação para soja de alta produtividade no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 2000, Piracicaba. Anais. Piracicaba, Potafos, 2000. 71p. CD-ROM
- ZAROSKI, R.J. & BURAU, R.G. A rapid nitric-perchloric acid digestion method for mult-element tissue analysis. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 8:425-436, 1977.