

PRODUÇÃO E NÍVEIS CRÍTICOS DE FÓSFORO DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA¹

LUIZ ARNALDO FERNANDES²

VALDEMAR FAQUIN³

ALEX TEIXEIRA ANDRADE²

ANTÔNIO CLARET DE OLIVEIRA JUNIOR⁴

ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO³

NILTON CURY³

RESUMO - Conduziu-se um experimento em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, com os objetivos de avaliar resposta do feijoeiro, cultivado em quatro solos de várzea, a doses de fósforo e estimar os níveis críticos foliares desse nutriente na ausência e na presença de calagem. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x5x2, com quatro repetições, sendo quatro solos [Glei Húmico (GH), Orgânico (O), Aluvial (A) e Glei Pouco Húmico (GP)], cinco doses de P (75, 150, 300, 500 e 800 mg dm⁻³ de P) e dois níveis de calagem (com e sem calcário).

Cada parcela foi constituída por um vaso com três dm³, em que se cultivaram três plantas de feijoeiro, sendo uma colhida no florescimento para avaliação das concentrações de P nas folhas, e as demais, colhidas no final do ciclo, determinando-se a matéria seca de grãos. O feijoeiro respondeu à aplicação de fósforo, tanto na ausência quanto na presença de calagem. Os níveis críticos de P, respectivamente nos solos GH, O, A e GP, sem calagem, foram: 2,3; 2,2; 2,0 e 1,3 mg g⁻¹; e com calagem, os níveis críticos foram: 2,8; 3,0; 3,5 e 4,2 mg g⁻¹.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: *Phaseolus vulgaris*, nutrição fosfatada, solos de várzea.

YIELD AND PHOSPHORUS CRITICAL LEVELS TO BEAN PLANT CULTIVATED IN LOWLAND SOILS

ABSTRACT - This experiment was carried out in a greenhouse at Soil Science Department of the Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais state, Brazil, with the objective to determine the response of beans plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG), cultivated in four lowland soils, to phosphorus doses and to estimate the critical level of phosphorus, without and with lime application. The plants were cultivated in four lowland soils of south of Minas Gerais State, Brazil, submitted to five phosphorus doses, without and with lime application. The experiment design was completely randomized, in a factorial scheme 4x5x2 with four

replications, being: four lowland soils [Humic Gley (GH), Bog Soil (O), Aluvial (A) and Low Humic Gley (GP)], five P doses (75, 150, 300, 500 and 800 mg dm⁻³) and two lime levels (without and with lime application). The experimental unity was constituted by a pot with three litre of capacity, where was cultivated three plants, being one harvested in the flowering, where was evaluated the P concentration. The bean plants response to phosphorus application. The critical levels of P at GH, O, A and GP soils, without lime applications were: 2.3, 2.2, 2.0 and 1.3 mg g⁻¹; and with lime application, the critical levels were: 2.8, 3.0, 3.5, and 4.2 mg g⁻¹.

INDEX TERMS: *Phaseolus vulgaris*, phosphate nutrition, lowland soils.

1. Trabalho financiado pelo CNPq e FAPEMIG.

2. Professor do Núcleo de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Caixa Postal 135, CEP 39404.006 - Montes Claros, MG. E-mail: lafernand@ig.com.br.

3. Professor do Departamento de Ciência do Solo da UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA) – Cx. P. 37 37200.000 – Lavras, MG.

4. Aluno do Curso de Graduação em Agronomia da UFPA.

INTRODUÇÃO

O feijão representa importante fonte de proteína na dieta alimentar da população brasileira. O feijoeiro comum é a espécie mais cultivada, contribuindo com cerca de 95% da produção mundial, sendo o Brasil o maior produtor.

Nos últimos anos, a área cultivada, a produção e a produtividade de feijão vêm crescendo no Brasil. No período de 1990-1994, a área plantada cresceu 3%, passando de 3,4 para 3,5 milhões de hectares, sendo que as regiões que mais contribuíram com a produção nacional do gênero *Phaseolus* são a sul e sudeste, com 60% do total nacional (Andrade, 1997). Mesmo com esse crescimento na área plantada, projetando-se um consumo "per capita" para o ano 2000 de 20 kg por habitante ano⁻¹ e persistindo os mesmos níveis de produtividade atuais, a área plantada deveria ser aumentada em 90% para se evitar a importação de 294 mil toneladas para atender as necessidades internas do produto (Moraes, 1988).

Uma fronteira agrícola possível de ser incorporada ao processo produtivo são os solos de várzea, embora as pesquisas básicas, com ênfase à sua fertilidade, sejam reduzidas ou mesmo inexistentes. Estima-se que cerca de 30 milhões de hectares de várzea têm potencial para serem cultivados, mas apenas 5% estão sendo utilizados no processo produtivo, quase que exclusivamente com arroz irrigado. A pequena utilização dessas áreas é função da falta de tecnologias disponíveis para outras culturas.

O feijoeiro mostra-se como grande opção para o cultivo no período seco, juntamente com outras espécies como o trigo, soja e ervilha, pelo fato de apresentar grande adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas e por fazer parte da maioria dos sistemas produtivos dos pequenos e médios agricultores brasileiros (Moraes & Dynia, 1992).

Em 1975, foi implantado o programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas (PROVÁRZEAS) no Estado de Minas Gerais, o qual estimava em 1,5 milhão de hectares a área de várzeas potencialmente irrigável do ponto de vista edáfico e possível de serem cultivadas, com um total de 200.000 hectares na região sul do Estado.

Essas áreas tornam-se uma opção de exploração agrícola por causa da topografia favorável à mecanização e à disponibilidade de água para a irrigação, com possibilidade de intensa utilização dos solos e aumento

da produção de alimentos em até seis vezes, se comparadas às áreas não irrigadas.

Em razão dos processos de formação, os solos de várzea possuem grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica. Além disso, esses solos passam por períodos sob inundação, o que lhes confere características e propriedades adversas às verificadas em solos de boa drenagem (Ponnaperuma, 1972). Desse modo, há necessidade de se conhecerem suas características físicas e químicas para fornecer subsídios técnicos para a identificação de sua aptidão agrícola, preservação e exploração dos recursos naturais, evitando-se ou reduzindo-se problemas ambientais decorrentes do cultivo desses solos.

Apesar de esses solos apresentarem algumas limitações ao uso agrícola, como excesso de água e baixa fertilidade natural, ainda assim é imprescindível o conhecimento de sua capacidade de suprir nutrientes às plantas, para que se possam fazer recomendações de adubações para uma produção eficiente. Assim, este trabalho teve como objetivos, avaliar a resposta do feijoeiro a doses de fósforo quando cultivado em quatro solos de várzea e estimar os níveis críticos foliares desse nutriente.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em vasos plásticos com capacidade para três dm³. Cultivou-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG) no período de agosto a novembro de 1997, em amostras de quatro solos de várzea não cultivados anteriormente: Glei Húmico (GH), Orgânico (O), Aluvial (A) e Glei Pouco Húmico (GP), tendo sido o solo Orgânico artificialmente drenado.

As amostras dos solos, coletadas na camada superficial (0-20cm) de uma várzea no município de Lavras - MG, foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira de 5mm de abertura. Foram tomadas subamostras e passadas em peneira de 2mm de abertura, constituindo a terra fina seca ao ar para as caracterizações química, física e mineralógica (Tabela 1).

O experimento foi arranjado em esquema fatorial 4x5x2, com quatro repetições, sendo os fatores: quatro solos (GH, O, A, GP), cinco doses de P (75, 150, 300, 500 e 800mg dm⁻³) e dois níveis de calagem (com e sem calcário), em delineamento inteiramente casualizado, com

rodízio semanal da posição dos vasos na casa-de-vegetação.

As doses de fósforo e calcário foram definidas com base em experimentos anteriores (Andrade, 1997). As doses de calcário para elevar a saturação por bases para cerca de 50%, corresponderam a 6,4; 4,6; 4,6 e 13,4 t ha⁻¹ para os solos GH, O, A e GP, respectivamente. Utilizou-se um calcário dolomítico calcinado com 35% de CaO, 14% de MgO e Poder Relativo de Neutralização Total de 100%.

Os solos foram incubados nos vasos, com as respectivas doses de calcário, por um período de 30 dias, mantendo-se a umidade em torno de 70% do

volume total de poros (VTP) ocupados por água. Após esse período, o material de solo de cada vaso foi seco e peneirado e recebeu a aplicação das respectivas doses de P e de uma adubação básica de sementeira, com macro e micronutrientes: 70 mg de N; 100 mg de K; 40 mg de S; 0,5 mg de B; 1,5 mg de Cu e 5,0 mg de Zn dm⁻³ de solo. As fontes utilizadas foram reagentes p.a.: NH₄NO₃; NH₄H₂PO₄; NaH₂PO₄; NH₄NO₃; KNO₃; H₃BO₃; ZnSO₄.7H₂O; CuCl₂.5H₂O e ácido fosfórico (H₃PO₃). O material de solo foi novamente incubado por 150 dias, mantendo-se a umidade nos mesmos níveis anteriores, de modo que as reações do P no solo aproximassem de um equilíbrio.

TABELA 1 - Principais atributos químicos, físicos e mineralógicos de quatro solos de várzea antes da aplicação dos tratamentos.

Químicos													
Solo	pH ⁽¹⁾	P ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	Ca ⁽¹⁾	Mg ⁽¹⁾	Al ⁽¹⁾	H+Al ⁽¹⁾	T	m	V	PR ⁽²⁾	CMAP ⁽²⁾	
		mg dm ⁻³		-----mmol. dm ⁻³ -----					-----%-----			-----mg dm ⁻³ -----	
GH	4,7	6,0	51	0,7	0,2	1,6	13,7	15	61	7	1,77	2404	
O	4,6	8,0	76	1,6	1,2	0,9	9,8	13	23	23	16,40	1051	
A	4,7	3,0	103	2,7	1,1	0,2	4,5	8,6	5	47	27,33	689	
GP	4,5	3,0	36	0,6	0,2	1,1	6,3	7,2	55	12	28,00	648	
Físicos													
	Areia grossa ⁽¹⁾	Areia fina ⁽¹⁾	Silte ⁽¹⁾	Argila ⁽¹⁾	Matéria orgânica ⁽¹⁾			Ds ⁽¹⁾	Dp ⁽¹⁾		Superfície específica ⁽¹⁾		
	----- g kg ⁻¹ -----				-----			----- g cm ⁻³ -----	-----		-- m ² g ⁻¹ --		
GH	0	230	391	370	245			0,40	1,81		335		
O	9	120	570	310	45			0,64	2,15		181		
A	30	179	471	350	41			0,76	2,78		137		
GP	0	611	179	180	35			1,05	2,66		121		
Mineralógicos													
	SiO ₂ ⁽³⁾	Al ₂ O ₃ ⁽³⁾	Fe ₂ O ₃ ⁽³⁾	TiO ₂ ⁽³⁾	P ₂ O ₅ ⁽³⁾	Fe _d ⁽⁴⁾	Fe _o ⁽⁴⁾	Ct ⁽⁴⁾	Gb ⁽⁴⁾		Ki ⁽⁵⁾		
	----- g kg ⁻¹ -----												
GH	126,1	175,5	13,3	5,5	1,52	0,9	0,21	18	20		1,22		
O	243,4	247,1	42,8	7,3	0,48	1,6	0,16	36	18		1,67		
A	209,3	221,1	74,5	9,3	0,51	4,3	0,17	50	17		1,61		
GP	84,2	112,2	13,0	6,2	0,10	0,3	0,11	12	3,4		1,28		

⁽¹⁾ pH = pH em água; P = fósforo pelo Mehlich 1; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; T = cap. troca de cátions a pH 7,0; m = saturação por Al e V = saturação por bases; areia grossa; areia fina; silte; argila; mat. Orgânica; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas; superfície específica (EMBRAPA, 1997);

⁽²⁾ PR = P remanescente e CMAP = cap. máxima de adsorção de P (Alvarez V. & Fonseca, 1990);

⁽³⁾ Óxidos do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997);

⁽⁴⁾ Fe_d = ferro ditionito; Fe_o = ferro oxalato; Ct = caulinita; Gb = gibbsita (Mehra & Jackson, 1960) determinados na fração argila e corrigidos para terra fina.

⁽⁵⁾ Ki – relação molecular SiO_2/Al_2O_3 .

Cultivaram-se três feijoeiros por vaso, colhendo-se a parte aérea de uma das plantas no florescimento (estádio R6) e das outras duas, na maturação fisiológica dos grãos (estádio R9). Durante o cultivo do feijoeiro, a umidade dos solos foi mantida em torno de 70% do VTP ocupados por água, por meio de pesagens diárias dos vasos e adição de água deionizada.

Foram realizadas adubações de cobertura com nitrogênio e potássio, diferenciadas em função do crescimento das plantas. Os tratamentos que proporcionaram, em cada solo, um crescimento normal das plantas, receberam, na forma de solução, 150 mg de N, como uréia, e 100 mg de K dm^{-3} , como nitrato de potássio, parcelados em cinco aplicações. Os tratamentos cujas plantas apresentaram um menor crescimento receberam coberturas proporcionalmente menores, evitando-se, assim, aplicações excessivas dos nutrientes.

Da planta colhida no florescimento (32 dias após a emergência), determinou-se os teores de P nas folhas através da digestão nítrico-perclórica - P total (P) (Malavolta *et al.*, 1997). Das plantas colhidas no final do ciclo, foi determinado o peso de matéria seca de grãos.

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e estudos de regressão, ajustando-se equações às médias de produção de matéria seca de grãos em função das doses de fósforo aplicadas. Com base nas equações obtidas, estimaram-se as doses de fósforo para a produção máxima de grãos e 90% da máxima para cada solo (doses críticas). No caso de ajuste de equações lineares, adotou-se a maior dose de P aplicada como aquela necessária para a obtenção da produção máxima e, baseando-se nessa dose, estimou-se a dose para a obtenção de 90% da produção máxima.

Foram também ajustadas equações de regressão para os teores de P determinados na planta, na época do florescimento, como variáveis dependentes das doses de fósforo aplicadas. Pela substituição das doses críticas de fósforo nessas equações, obtiveram-se os níveis críticos de fósforo foliares das plantas de feijoeiro na fase de florescimento, para cada solo e nível de calagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de matéria seca de grãos

A produção de matéria seca de grãos (MSGR) foi influenciada ($P < 0,01$) pelos solos, calagem e doses de P, havendo interação entre os fatores. Exceto para o solo Glei Húmico (GH) na ausência de calagem, as equações quadráticas base raiz quadrada foram as que melhor se ajustaram à produção de grãos (Figura 1). Segundo esse modelo, ocorreram incrementos significativos na produção de MSGR em função das doses de P, atingindo-se um máximo e depois decrescendo lentamente nas doses mais elevadas do nutriente. Nos solos GP e GH na ausência de calagem, independente da dose de P, a produção de MSGR foi bastante baixa, possivelmente devido aos seus elevados teores de Al e baixos teores de Ca e Mg (Tabela 1).

Com base nas equações da Figura 1, estimaram-se as produções de MSGR e as doses de P correspondentes à 90% da produção máxima, que admitem-se representar a máxima eficiência econômica (Alvarez V. *et al.*, 1988).

As doses de P para a máxima produção de MSGR, independentemente da calagem, não apresentaram grandes variações entre os solos, exceto o solo GH, oscilando de 604 a 680 mg dm^{-3} de P (Tabela 2). Para o solo GH na ausência de calagem, já que, em função do ajuste linear, foi considerada a maior dose testada, 800 mg dm^{-3} de P, como dose máxima.

As doses de P correspondentes a 90% da máxima produção de MSGR, à exceção do solo GH sem calagem, corresponderam a 50 – 60% das doses para a máxima produção (Tabela 2), ou seja, a redução de apenas 10% na MSGR, correspondeu a uma grande economia na dose do nutriente. A produção de MSGR foi significativamente ($P < 0,01$) afetada pela aplicação de calcário, com aumentos de 394, 43, 63 e 454% nos solos GH, O, A e GP, respectivamente (Tabela 2). A baixa produção de MSGR verificada nos solos sem calagem se explica pela elevada acidez e altos teores de Al e, também, aos baixos teores de Ca e Mg nos solos GH e GP (Tabela 1).

O efeito da adubação fosfatada medida pela produção de MSGR por unidade de fósforo aplicado variou com a calagem. No ponto de 90% da produção máxima, a calagem aumentou essa taxa em 7,9, 1,6, 1,5 e 6,4 vezes nos solos GH, O, A e GP, respectivamente (Tabela 2).

Um dos efeitos primários do alumínio sobre a absorção de P pelas plantas é a redução da disponibilidade desse nutriente, que pode ocorrer tanto na solução externa às raízes (White *et al.*, 1976), quanto internamente no espaço livre aparente das mesmas, portanto, independente de processos metabólicos (Rorison, 1965). Segundo Alves *et al.* (1988) verificaram

que o principal efeito do alumínio sobre a absorção de P, de duas cultivares de trigo, estava relacionado com a diminuição da capacidade do carregador de associar-se com o íon fosfato. O alumínio pode, ainda, influenciar a translocação do P para a parte aérea, como verificado por Lee (1971) em plantas de batata.

$$\begin{array}{ll} \text{GH: } Y = -0,8805 + 0,0061 ** X & R^2 = 0,96 \\ \text{O: } Y = -3,01 + 1,5102 ** X^{0,5} - 0,0294 ** X & R^2 = 0,98 \\ \text{A: } Y = -5,63 + 1,6838 ** X^{0,5} - 0,0343 ** X & R^2 = 0,99 \\ \text{GP: } Y = -4,99 + 0,7547 ** X^{0,5} - 0,0145 ** X & R^2 = 0,99 \end{array}$$

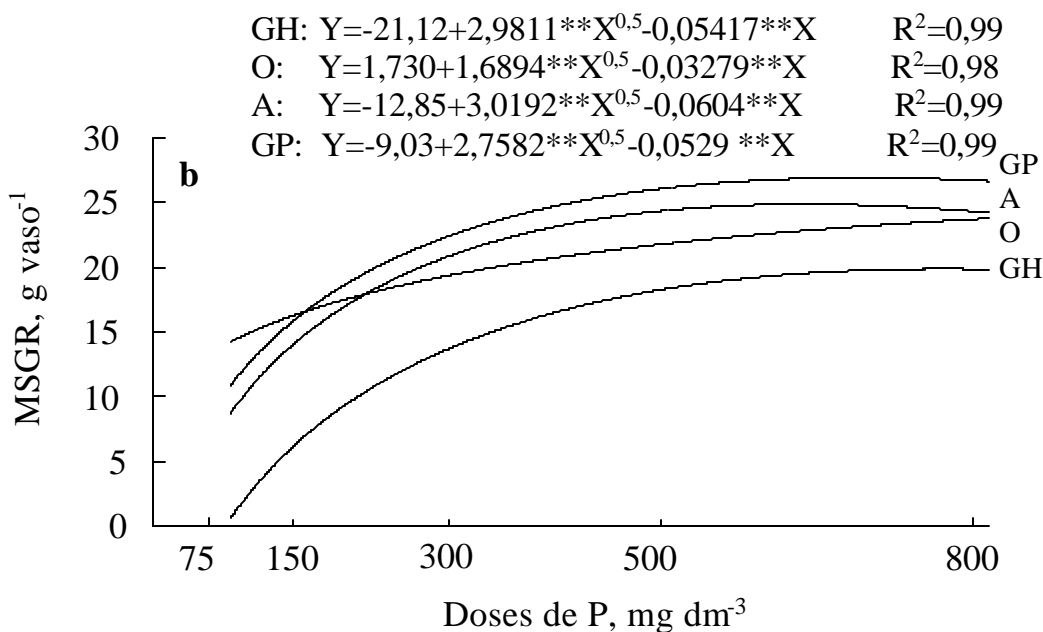
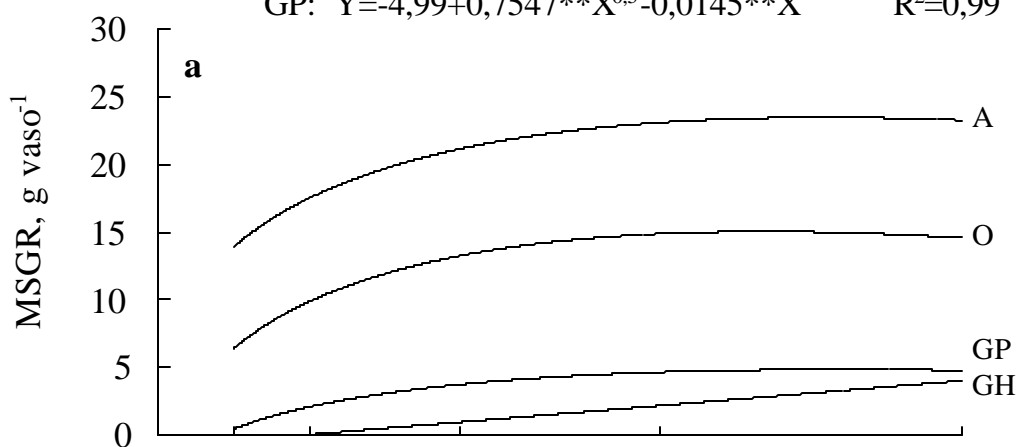


FIGURA 1 - Produção de matéria seca de grãos (MSGR) pelo feijoeiro em função das doses de P aplicadas a quatro solos de várzea, na ausência (a) e presença (b) de calagem. (** significativo a 1% pelo teste de t).

TABELA 2 - Produção estimada de matéria seca de grãos (MSGR) correspondente à produção máxima e 90% da máxima, doses de P estimadas para promover essas produções e taxa de benefício da adubação fosfatada para a produção de MSGR (mg MSGR/mg P aplicado por vaso) no índice de 90%, em quatro solos de várzea, com e sem calagem.

Solo	MSGR (g vaso ⁻¹)		Dose de P (mg dm ⁻³)		Taxa de Benefício
	90%	máxima	90%	máxima	
Sem calagem					
GH	3,62	4,02	735	800	1,64
O	14,77	16,41	333	661	14,78
A	13,55	15,05	322	604	14,03
GP	4,37	4,85	412	682	3,54
Com calagem					
GH	17,89	19,88	460	735	12,96
O	21,14	23,49	299	664	23,57
A	22,38	24,87	345	625	21,62
GP	24,23	26,92	359	680	22,50

Faquin *et al.* (1998), avaliando a resposta do feijoeiro à aplicação de calcário nos mesmos solos do presente estudo, concluíram que a calagem nesses solos foi essencial para fornecer cálcio e magnésio para o feijoeiro e, com a elevação do pH, promover a neutralização da toxidez de Al e Mn.

Vale ressaltar que os maiores valores de alumínio trocável obtidos no solo GH (Tabela 1), com elevado teor de matéria orgânica em relação aos demais solos estudados, não concorda com a observação de Hargrove & Thomas (1981), segundo a qual solos com elevados teores de matéria orgânica possuem menores teores de alumínio trocável. Esses autores verificaram que plantas de milho cresceram satisfatoriamente em solos Orgânicos em relação a solos minerais, mesmo com valores de pH inferiores aos dos solos minerais. Por outro lado, Pavan (1983) encontrou maiores teores de alumínio trocável em solos Orgânicos do que em solos minerais do Paraná. No presente estudo, os teores de alumínio trocável, principalmente no solo GH, pode ter sido superestimado, e, nesse caso, os baixos teores de cálcio e de magnésio seriam os responsáveis pela baixa produção do feijoeiro nesse solo.

Concentração e níveis críticos foliares de fósforo

As concentrações de P nas folhas do feijoeiro na época do florescimento aumentaram linearmente com as doses de P aplicadas em todos os tratamentos (Tabela 3). Pelas equações ajustadas, verifica-se que a baixa produção de MSGR nos solos GH e GP na ausência de calagem pode ser atribuída às baixas concentrações de P nas plantas cultivadas nesses solos. No entanto, quando se aplicou calcário, as plantas cultivadas no solo GP foram as que apresentaram as maiores concentrações de P, o que pode ser atribuído à menor capacidade de adsorção do P aplicado, expressa pelo menor valor de capacidade máxima de adsorção de P e maior valor de P remanescente desse solo (Tabela 1). Interessante notar, também, que as plantas cultivadas no solo GP foram aquelas que apresentaram a maior resposta em produção de grãos à aplicação de calcário, independente das doses de P aplicadas (Figura 1). Por outro lado, no GH, que apresenta o maior valor de capacidade máxima de adsorção de P e menor valor de P remanescente, as plantas apresentaram as menores concentrações de P.

A capacidade máxima de adsorção e P remanescente são características que refletem o poder tampão ou fator capacidade de P do solo (Muniz *et al.*, 1985). A variação no fator capacidade entre solos está associada à adsorção de P e a algumas características ligadas ao fenômeno de adsorção, P remanescente, conteúdo e natureza da fração argila e conteúdo de matéria orgânica (Bahia Filho *et al.*, 1983; Muniz *et al.*, 1985). Segundo os autores, as correlações significativas entre capacidade máxima de adsorção, energia de adsorção e P remanescente são esperadas, tendo em vista a participação desses parâmetros na obtenção do fator capacidade. Vários autores observaram relação inversa entre P absorvido pela planta e o fator capacidade de P do solo (Holford & Mattingly, 1979; Bahia Filho *et al.*, 1983; Muniz *et al.*, 1985; Fabres *et al.*, 1987; Fernandes *et al.*, 1998).

Verifica-se ainda que os acréscimos estimados nos teores de P para cada unidade de P aplicada, mostrados pelos coeficientes angulares das equações (Tabela 3), foram maiores quando os solos receberam aplicação de calcário. Provavelmente a calagem, além de reduzir a fixação do fósforo aplicado nos solos, reduziu ou eliminou os efeitos do Al sobre a absorção de P pelo feijoeiro.

Substituindo nas equações da Tabela 3, para cada solo, na ausência e presença de calagem, as doses de P correspondes a 90% da máxima produção de MSGR,

estimaram-se os níveis críticos de P nas folhas do feijoeiro, na época do florescimento.

Na ausência de calagem, o solo GP apresentou o menor, e o GH o maior valor de nível crítico (Tabela 3). O maior valor observado no GH se deve à elevada dose de P estimada para 90% da produção máxima, duas vezes aquela para os demais solos, decorrente do ajuste linear para a produção de MSGR como variável dependente das doses de P aplicadas. Na presença de calagem, quando o único fator limitante à produção de MSGR foi o P, os solos de menor fator capacidade, A e GP, apresentaram os maiores valores de níveis críticos (Tabela 3).

Muniz *et al.* (1985) verificaram grande amplitude de variação entre os níveis críticos de P na parte aérea de plantas de soja, cultivadas em solos com diferentes fator capacidade, sendo que os menores valores foram observados nos solos de maior fator capacidade. Segundo Novais & Smyth (1999), a maior ou menor competição entre planta e solo pelo P aplicado faz com que a planta se ajuste para utilizar o teor de P que lhe é colocado à disposição. Dessa forma, quando o P é o único fator limitante à produção, além das variações decorrentes entre espécies ou cultivares, idade do tecido vegetal, forma do nutriente, interação entre nutrientes e condições ambientais, os atributos do solo que refletem o fator capacidade de P também devem ser considerados na interpretação dos níveis críticos de P em plantas (Muniz *et al.*, 1985).

TABELA 3 - Equações de regressão lineares ajustadas entre fósforo total nas folhas de feijoeiro, em mg g^{-1} , como variável dependente (Y) das doses de fósforo aplicadas (X), em mg dm^{-3} , e níveis críticos foliares de fósforo para as plantas de feijoeiro em quatro solos de várzea, com e sem calagem.

Solo	Equação	R ²	Nível crítico (mg g^{-1})
Sem calagem			
GH	$Y = 0,4551 + 0,0025^{**}X$	0,95	2,3
O	$Y = 1,2990 + 0,0027^{**}X$	0,87	2,2
A	$Y = 1,2703 + 0,0022^{**}X$	0,83	2,0
GP	$Y = 0,7365 + 0,0014^{**}X$	0,94	1,3
Com calagem			
GH	$Y = 0,4018 + 0,0052^{**}X$	0,98	2,8

O	$Y = 1,8516 + 0,0035^{**}X$	0,85	3,0
A	$Y = 1,6470 + 0,0052^{**}X$	0,94	3,5
GP	$Y = 2,4711 + 0,0048^{**}X$	0,94	4,2

**** significativo a 1% pelo teste de t.**

TABELA 4 - Coeficientes de correlação linear simples entre as concentrações críticas de fósforo total (P) e alguns atributos do solo que refletem o fator capacidade.

Teor de argila	Mat. Orgânica	Teor de gibbsita	CMAP	P-Re
		Sem calagem		
0,82*	0,55ns	0,98**	0,64ns	-0,71ns
		Com calagem		
-0,68ns	-0,65ns	0,93**	-0,75*	0,84*

CMAP = capacidade máxima de adsorção de P; P-Re = P remanescente.

**** , * e ns significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.**

Quando se correlacionaram os níveis críticos de P obtidos nos quatro solos estudados, com e sem calagem, com alguns atributos dos solos que refletem seu fator capacidade de P (Tabela 4), verificaram-se correlações significativas apenas com o teor de argila, na ausência de calagem, e com o teor de gibbsita, capacidade máxima de adsorção e P remanescente, na presença de calagem. As correlações com os demais atributos da Tabela 1 não são apresentadas pelo fato de não se ter verificado qualquer tendência de comportamento.

Embora o teor de argila seja considerado o atributo do solo de maior importância na determinação do fator capacidade (Miranda & Volkweiss, 1981), a ausência de correlação com os níveis críticos de P, na presença de calagem (Tabela 4), pode estar relacionada à mineralogia da fração argila dos solos estudados. No presente estudo verificou-se correlação significativa e negativa entre os teores de gibbsita e os níveis críticos de P, possivelmente pela sua alta capacidade em adsorver fósforo.

As concentrações críticas de P nas folhas do feijoeiro, estimadas na época do florescimento, correlacionaram-se positiva e significativamente com a produção de MSGR, na ausência ($r=0,99^{**}$) e presença de calagem ($r=0,95^{**}$), indicando constituírem um bom

parâmetro para prever a produção de grãos e a capacidade dos solos em fornecer P para as plantas.

CONCLUSÕES

- O feijoeiro respondeu à aplicação de fósforo, tanto na ausência quanto na presença de calagem;
- Os níveis críticos de P no feijoeiro cultivado respectivamente nos solos Glei Húmico, Orgânico, Aluvial e Glei Pouco Húmico, foram: 2,3, 2,2, 2,0 e 1,3 mg g⁻¹ sem calagem; e 2,8, 3,0, 3,5 e 4,2 mg g⁻¹ com calagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V.V.H.; FONSECA, D.B. da. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.49-55, jan./abr. 1990.

ALVAREZ V.V.H.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; RIBEIRO, A.C.; DEFELIPO, B.V. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. In. SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1., 1988. Viçosa. **Resumo...** Viçosa: UFV, 1988. p.68-69.

- ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Efeito do alumínio sobre a absorção de fósforo e sobre a composição mineral de duas cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.6, p.563-573, jun. 1988.
- ANDRADE, C.A. de B. **Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro em solos de várzea do sul de Minas Gerais**. 1997. 107 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relações entre adsorção e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.221-226, set./dez. 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1997. 212 p.
- FABRES, A.S.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CORDEIRO, A.T. Níveis críticos de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.1, p.51-57, jan./abr. 1987.
- FAQUIN, V.; ANDRADE, C.A.B.; FURTINI NETO, A.E.; ANDRADE, A. T.; CURI, N. Resposta do feijoeiro à aplicação de calcário em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p.651-660, maio/ago. 1998.
- FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; GUEDES, G.A.A.; LIMA, J.M. Fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.769-778, maio 1998.
- HARGROVE, W.L.; THOMAS, G.W. Effect of organic matter on exchangeable aluminum and plant growth in acid soils. In: STELEY, M. (Ed.) **Chemistry in the soil environment**. Madison: American Society of America, 1981. p.151-166.
- HOLFORD, I.C.R.; MATTINGLY, G.E.G. Effects of phosphate buffering on the of labile phosphate by soil test. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.17, n.4, p.377-389, Dec. 1979.
- LEE, C.R. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, n.4, p.604-608, Sept./Oct. 1971.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 289 p.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clays Minerals**, Clarkson, v.3, p.317-327, July 1960.
- MIRANDA, L.N.; VOLKWEISS, S.J. Relações entre a resposta da soja a adubação fosfatada e alguns parâmetros do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, n.1, p.58-63, jan./abr. 1981.
- MORAES, J.F.V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1988. p.261-301.
- MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley Pouco Húmico sob inundação e após a drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.223-235, set. 1992.
- 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 do fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.3, p.237-244, set./dez. 1985.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399 p.
- PAVAN, M.A. Alumínio em solos ácidos do Paraná; relação entre o alumínio não-trocável, trocável e solúvel, com pH, CTC, porcentagem de saturação de Al e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p.39-46, jan./abr. 1983.
- PONNAPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p.28-96, July 1972.

RORISON, I.H. The effect of aluminum on the uptake and incorporation of phosphate by excised sainfoin roots. **The New Physiology**, v.64, n.1, p.23-27, Jan. 1965.

WHITE, R.E.; TIFFIN, L.O.; TAYLOR, A.W. The existence of polymeric complexes in dilute solutions of aluminum and orthophosphate. **Plant and Soil**, The Hague, v.45, n.3, p.521-529 Jan. 1976.