

COMISSÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

RESPOSTA DO FEIJOEIRO À APLICAÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DOS CERRADOS⁽¹⁾

A. M. de CARVALHO⁽²⁾, N. K. FAGERIA⁽³⁾,
I. P. de OLIVEIRA⁽³⁾ & T. KINJO⁽⁴⁾

RESUMO

Um experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão - EMBRAPA/CNPAF, Goianira (GO), envolvendo aplicação de doses crescentes (0, 25, 50, 100, 200 e 400 mg de P kg⁻¹ de solo) a quatro solos dos Cerrados (LRd, LEd, LVd e AQd) com o objetivo de avaliar resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao fósforo nos diferentes solos. A aplicação de fósforo influenciou significativamente a produtividade e os componentes de produção. A eficiência de recuperação do fósforo pelo feijoeiro foi baixa, principalmente para as maiores doses. As quantidades de fósforo extraídas por Mehlich-1 foram menores nos solos muito argilosos (LRd e LEd) e para produção de 90% de matéria seca apresentaram-se elevadas e inversamente relacionadas aos teores de argila, com 68 mg de P kg⁻¹ no mais argiloso (LRd) e 232 mg de P kg⁻¹ no mais arenoso (AQd). As quantidades de fósforo aplicadas para 90% da produção relativa de grãos também apresentaram relação inversa com a percentagem de argila, variando de 167,5 a 297,5 mg de P kg⁻¹.

Termos de indexação: doses de fósforo; teores de argila; *Phaseolus vulgaris* L.; solos dos Cerrados.

SUMMARY: RESPONSE OF COMMON BEAN TO PHOSPHORUS APPLICATION IN CERRADO SOILS

An experiment was conducted in a greenhouse at the National Rice and Bean Research Center (CNPAF) of Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em Goianira, State of Goiás, Brazil, implying application of increasing levels (0, 25, 50, 100, 200 and 400 mg P kg⁻¹ of soil) applied in four soils under cerrado vegetation (Dusky Red Latosol, Dark Red Latosol, Red Yellow Latosol and Quartzipsamment) in order to determine the response to P in these soils of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. Phosphorus application influenced yield and their components. Phosphorus uptake efficiency by common bean was generally lower for higher doses of P application. Quantity of P extracted by Mehlich 1 extractant was less for soils with higher clay content (Dusky Red Latosol and Dark Red Latosol). Amounts of P to attain 90% dry matter production of bean were high and inversely related to clay content, varying from 68 mg P kg⁻¹ in soil with high clay content (Dusky Red Latosol) to 232 mg P kg⁻¹ in sandy soil (Quartzipsament). Quantity of phosphorus applied for 90% of relative yield of grains was also inversely related to clay content, varying from 167.5 to 297.5 mg P kg⁻¹.

Index terms: phosphorus levels, clay content, *Phaseolus vulgaris* L., cerrado soils.

⁽¹⁾ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas. Trabalho apresentado no XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, em Goiânia (GO), em 25-31 de julho de 1993. Recebido para publicação em outubro de 1993 e aprovado em janeiro de 1995.

⁽²⁾ Pesquisadora do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC/EMBRAPA. Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina (DF).

⁽³⁾ Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF), EMBRAPA. Caixa Postal 179, CEP 74001-970 Goiânia (GO).

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP).

INTRODUÇÃO

A produção de matéria seca em diferentes períodos de crescimento e a de grãos são parâmetros utilizados com freqüência em trabalhos que avaliam respostas das plantas à aplicação de nutrientes. No caso do feijoeiro, utilizam-se ainda os seguintes componentes de produção: número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de sementes (Fageria et al., 1991). A quantidade de fósforo no solo capaz de proporcionar rendimento máximo ou seus percentuais é determinada relacionando as produções (absoluta ou relativa) de matéria seca ou de grãos com o fósforo recuperado por um método específico (Sumner, 1979; Malavolta et al., 1989).

O feijoeiro, apesar de exigir fósforo em quantidades relativamente pequenas, tem apresentado suas melhores respostas a esse nutriente (Rosolem, 1987). Características do solo e da planta influenciam a resposta das culturas à aplicação de fósforo, a qual varia com a composição granulométrica do solo, espécies vegetais e estádios de crescimento da planta (Fox & Kamprath, 1970).

Os resultados de pesquisas que relacionam quantidades de fósforo recuperado, por diferentes extratores com teores de argila, geralmente mostram relações inversas entre esses dois parâmetros (Vidor & Freire, 1971; Novais, 1977; Freire et al., 1979; Bahia Filho, 1982; Bahia Filho et al., 1983; Muniz, 1983; Neves, 1983; Gonçalves et al., 1986).

Quantidades elevadas de fósforo exigidas por diferentes culturas em ensaios de casa de vegetação são atribuídas à baixa eficiência na sua absorção e/ou utilização pelas espécies e às altas doses aplicadas (Fabres, 1986; Gonçalves et al., 1986; Fonseca, 1987).

Em condições de campo, Oliveira et al. (1987) encontraram, para produção máxima do feijoeiro, doses entre 112 e 130 mg de P kg⁻¹ e entre 126 e 140 mg de P kg⁻¹ em ensaios das águas e da seca respectivamente. Fageria (1989), estudando o efeito da aplicação de doses crescentes de fósforo para três cultivares de feijão, em casa de vegetação, encontrou produções máximas na faixa de 27 a 33 mg de P kg⁻¹. Goepfert (1972) obteve nível crítico de 18 mg de P kg⁻¹, em solo do Rio Grande do Sul, cultivado com feijão, enquanto Kornelius et al. (1976) encontraram, para a referida cultura, 35 mg de P kg⁻¹ no solo. Miranda & Lobato (1978) determinaram nível crítico de 12 mg de P kg⁻¹, para 80% da produção máxima das cultivares de feijão, consideradas eficientes na utilização de fósforo.

Uma das principais limitações à produtividade das culturas nos solos dos Cerrados é a sua elevada capacidade de retenção de fósforo. Considerando os parâmetros que apresentam relação com a disponibilidade desse nutriente no solo, o teor de argila é o mais facilmente determinado em laboratório. Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de determinar respostas do feijoeiro à aplicação de fósforo, em solos sob vegetação dos Cerrados, com diferentes teores de argila.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras superficiais (0-30 cm) de quatro solos dos Cerrados (latossolo roxo distrófico-LRd em Itumbiara, latossolo vermelho-escuro distrófico-LEd em Morrinhos, latossolo vermelho-amarelo distrófico-LVd em Água Limpa e areia quartzosa distrófica-AQd no Distrito Federal), analisadas física e quimicamente (Quadro 1). Essas amostras foram secas ao ar, passadas em peneira com malha de 5 mm e colocadas em vasos de 6 kg. A quantidade de calcário aplicada aos solos foi calculada com base na curva de calibração, desenvolvida para elevar o pH_(H₂O) a 6. Após 15 dias de incubação com calcário calcítico, os solos receberam doses crescentes de fósforo (0, 25, 50, 100, 200 e 400 mg de P kg⁻¹ de solo) como superfosfato triplo, utilizando-se a seguinte adubação básica de plantio por vaso: 400 mg de N como (NH₄)₂SO₄, 960 mg de K como KCl, 200 mg de Mg como MgSO₄.7H₂O

Quadro 1. Resultados analíticos de amostras superficiais (0-30 cm) dos solos

Atributos	Solos ⁽¹⁾			
	LRd	LEd	LvD	AQd
pH H ₂ O (1:2,5)	5,20	5,90	5,00	5,20
P, mg kg ⁻¹ ⁽¹⁾	0,40	0,50	0,70	0,60
K, mmol _c dm ⁻³ ⁽¹⁾	0,40	1,20	0,60	0,20
Ca, mmol _c dm ⁻³ ⁽²⁾	7,00	23,00	2,00	1,00
Mg, mmol _c dm ⁻³ ⁽²⁾	1,00	2,00	2,50	2,00
Al, mmol _c dm ⁻³ ⁽²⁾	3,00	2,00	10,00	7,00
H+Al, mmol _c dm ⁻³ ⁽³⁾	66,00	64,30	59,40	41,20
S, mmol _c dm ⁻³	7,40	26,20	12,60	2,20
T _{pH-7,0} , mmol _c dm ⁻³	73,40	90,50	72,00	43,40
Cu, mg kg ⁻¹ ⁽¹⁾	5,40	2,60	1,30	0,20
Fe, mg kg ⁻¹ ⁽¹⁾	41,00	65,00	81,00	130,00
Mn, mg kg ⁻¹ ⁽¹⁾	33,00	35,00	16,00	5,00
Matéria orgânica, g kg ⁻¹ ⁽⁴⁾	20,00	24,00	16,00	14,00
Saturação de bases, %	10,10	29,00	17,50	5,10
Saturação de alumínio, %	29,00	7,10	44,20	76,10
SiO ₂ "total", g kg ⁻¹ ⁽⁵⁾	102,00	112,00	86,00	35,00
Al ₂ O ₃ "total", g kg ⁻¹ ⁽⁶⁾	252,00	261,90	130,00	65,00
Fe ₂ O ₃ "total", g kg ⁻¹ ⁽⁷⁾	191,20	151,90	77,20	35,00
Ki ⁽⁸⁾	0,68	0,72	1,10	0,92
Kr ⁽⁹⁾	0,23	0,27	0,41	0,68
Areia grossa, g kg ⁻¹	80,00	110,00	140,00	440,00
Areia fina, g kg ⁻¹	170,00	170,00	440,00	370,00
Silte, g kg ⁻¹	140,00	90,00	50,00	50,00
Argila, g kg ⁻¹	610,00	630,00	370,00	140,00

⁽¹⁾ LRd: latossolo roxo; LEd: latossolo vermelho-escuro; LVd: latossolo vermelho-amarelo; AQd: areia quartzosa. ⁽²⁾ Extrator Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,00625 mol L⁻¹). ⁽³⁾ Extrator KCl 1 mol L⁻¹. ⁽⁴⁾ Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹. ⁽⁵⁾ Oxidação da matéria orgânica por solução de bicromato de potássio. ⁽⁶⁾ SiO₂ total obtido por ataque sulfúrico. ⁽⁷⁾ Al₂O₃ total obtido por ataque sulfúrico. ⁽⁸⁾ Fe₂O₃ total obtido por ataque sulfúrico. ⁽⁹⁾ Relação molecular SiO₂/Al₂O₃. ⁽¹⁰⁾ Relação molecular SiO₂/Al₂O₃ + Fe₂O₃.

e 1.000 mg de FTE BR-12 (Em g kg⁻¹, Zn = 92; B = 22; Cu = 8; Fe = 37; Mn = 34; Mo = 1) como fonte de micronutrientes. A adubação de cobertura foi feita aos 35 dias após o plantio, aplicando-se 420 mg de N (NH₄)₂SO₄ por vaso (Fageria, 1989).

Os solos foram incubados nos vasos, com as respectivas doses de fósforo, durante 7 dias. Após esse período, extraiu-se o nutriente pelo método de Mehlich-1, em cada vaso, seguido de determinação colorimétrica (Braga & Defelipo, 1974).

O feijão EMGOPA-202 Rubi foi semeado em vasos, sob condições de casa de vegetação, no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA/CNPAP), município de Goianira (GO), utilizando o delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições por tratamento, dispostos num fatorial 4 X 6 (quatro solos e seis doses de P). Executou-se o desbaste aos 8 dias após o plantio, deixando 4 plântulas por vaso. O teor de água foi mantido em torno da capacidade de campo durante todo o ciclo da cultura e, periodicamente, fez-se o rodízio dos vasos.

Quadro 2. Produção de matéria seca e de grãos com os respectivos componentes de produção do feijoeiro, para as diferentes doses de fósforo, nos solos testados

Solos	Doses de fósforo	Massa seca de parte aérea (dias)		Peso de grãos	Peso de cem grãos	Vagens/vaso	Grãos/vagem
		35	90				
	mg kg ⁻¹		g/vaso		g		
LRd	0	0,52	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
	25	2,05	2,57	9,42	22,90	9,25	4,55
	50	2,72	3,77	15,47	25,20	13,00	4,47
	100	4,32	5,30	16,67	25,57	15,50	4,10
	200	6,65	5,50	19,75	24,62	19,00	4,30
Teste F	400	7,80	12,47	23,25	26,87	19,75	4,37
		187,20 **	112,94 **	65,16 **	181,21 **	84,67 **	199,61 **
	C.V.%	10,18	15,55	14,60	7,34	9,05	4,43
LEd	0	0,70	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00
	25	1,70	3,10	13,62	23,85	12,00	4,77
	50	2,35	4,55	18,47	26,15	16,00	4,40
	100	4,32	5,97	19,55	26,60	17,00	4,32
	200	6,47	7,12	18,65	26,72	15,75	4,42
Teste F	400	7,97	13,22	24,90	27,70	19,75	4,57
		114,72 **	36,74 **	113,76 **	537,34 **	324,89 **	348,23 **
	C.V.%	13,62	24,31	10,12	4,26	4,45	3,38
LVd	0	0,70	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00
	25	1,82	2,87	13,00	22,35	13,00	4,45
	50	2,70	3,77	19,35	26,40	16,50	4,45
	100	5,10	5,87	19,57	26,37	16,75	4,42
	200	7,05	12,05	21,57	28,92	17,00	4,40
Teste F	400	7,00	9,45	29,92	29,10	20,75	5,02
		62,85 **	40,58 **	58,26 **	146,74 **	91,00 **	223,80 **
	C.V.%	16,85	23,69	15,27	8,29	8,42	4,23
AQd	0	0,73	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
	25	1,40	1,27	5,30	24,47	5,75	3,90
	50	2,20	1,87	10,50	22,77	20,25	4,30
	100	4,37	3,52	16,00	24,65	15,00	4,30
	200	6,83	5,97	19,92	25,20	18,25	4,30
Teste F	400	8,25	7,27	30,65	29,05	21,25	5,00
		122,23 **	57,60 **	51,00 **	60,52 **	59,83 **	115,00 **
	C.V. %	13,98	21,03	22,34	12,85	11,77	5,88

** Significativo ao nível de 1%.

A amostragem da parte aérea foi feita aos 35 e 90 dias do plantio, colhendo em cada período duas plantas por vaso, as quais foram colocadas para secar em estufa com ventilação forçada a 70°C até peso constante, pesadas, trituradas, mineralizadas e analisadas.

Após o corte das plantas, aos 90 dias, retiraram-se amostras de solos de cada vaso para extração de fósforo.

Para estimar a eficiência de absorção de fósforo pelas plantas, empregou-se a seguinte fórmula (Bali-gar et al., 1990):

$$[(\text{absorção de P com a dose aplicada} - \text{absorção de P na testemunha})/\text{dose aplicada}] \times 100$$

A resposta do feijoeiro ao fósforo, para produção de 90% de matéria seca, aos 35 dias, e de 90% de grãos foi avaliada a partir de modelos de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os aumentos nas doses de fósforo influenciaram significativamente todos os parâmetros da planta, nos solos em estudo (Quadro 2). A produção de matéria seca apresentou relação direta com as doses aplicadas, nos dois períodos, exceto para as plantas cultivadas no LVd, as quais manifestaram, aos 90 dias, um decréscimo nesse parâmetro, ao elevar de 200 mg kg⁻¹ para 400 mg kg⁻¹ a dose de fósforo utilizada. A produção de grãos acompanhou o comportamento da matéria seca, porém não foi reduzida no LVd, ao aumentar de 200 para 400 mg kg⁻¹ a dose de P no solo. Comparando as produções de grãos obtidas com as doses mínima (25 mg kg⁻¹) e máxima (400 mg kg⁻¹) aplicadas foram observados aumentos de: 146,81, 82,82, 130,15 e 478,3%, nos solos LRd, LEd, LVd e AQd respectivamente.

Embora o feijoeiro necessite de quantidades relativamente pequenas de fósforo, essas respostas à sua aplicação são esperadas, principalmente em solos sob vegetação dos Cerrados (Rosolem, 1987).

A interação significativa entre doses aplicadas e solos, verificada em relação ao fósforo solúvel (Quadro 3), indica o efeito de parâmetros dos solos sobre a disponibilidade do nutriente em estudo.

Os solos mais arenosos (LVd e AQd) apresentaram maior disponibilidade de fósforo após a adubação, pois seus sítios de adsorção são saturados mais rapidamente e com baixa energia. Ao contrário, nos solos argilosos (LRd e LEd), apenas uma pequena parte desses sítios é ocupada pelos íons fosfatos e com elevada energia, em função da capacidade de reação do fósforo com os óxidos de ferro e de alumínio, componentes predominantes da fração argila dos solos sob vegetação dos Cerrados.

Na colheita, os teores de fósforo recuperados foram bem menores do que no plantio (Quadro 4), devido à sua maior retenção, resultante do tempo de contato com as partículas do solo, e à absorção pela planta (Carvalho et al., 1993).

Quadro 3. Análise da variância conjunta, para o fósforo recuperado, no plantio e na colheita do feijoeiro

Tratamentos	GL	Fósforo recuperado	
		Plantio	Colheita
Teste F			
Solo (S)	3	77,05**	57,41**
Dose (D)	5	479,51**	182,07**
S x D	15	30,71**	17,97**
C.V.%		26,12	42,79

** Significativo ao nível de 1%.

Quadro 4. Fósforo extraído nos solos, para as doses aplicadas, no plantio e na colheita do feijoeiro

Solos	Doses de P	Período de extração	
		Plantio	Colheita
		mg kg ⁻¹	
LRd	0	0,70	0,50
	25	3,47	1,07
	50	5,17	1,75
	100	16,25	4,75
	200	28,20	9,82
	400	87,25	23,72
Teste F		103,91**	69,03**
C.V.%		27,41	30,94
LEd	0	1,00	0,67
	25	3,30	0,72
	50	10,17	1,60
	100	27,62	2,72
	200	49,10	11,63
	400	136,65	58,70
Teste F		180,90**	115,65**
C.V.%		20,20	30,86
LVd	0	0,87	1,47
	25	6,52	2,02
	50	19,00	3,47
	100	30,25	10,60
	200	93,30	36,72
	400	291,85	103,07
Teste F		149,93**	50,43**
C.V.%		24,83	42,88
AQd	0	0,97	1,42
	25	14,77	3,75
	50	16,30	7,92
	100	32,77	19,87
	200	89,52	67,67
	400	241,90	136,07
Teste F		131,29**	58,97**
C.V.%		24,20	35,22

** Significativo ao nível de 1%.

As respostas de matéria seca ao P-extraído e de grãos ao P-aplicado obtidas neste estudo (Figuras 1 e 2) estão acima da maioria dos valores encontrados em literatura para o feijoeiro e outras culturas (Goepfert, 1972; Kornelius et al., 1976; Novais, 1977; Miranda & Lobato, 1978; Muniz, 1983; Carvalho et al., 1989; Fageria, 1989). Comparando um solo com 610 g kg⁻¹ de argila (LRd) e outro contendo 140 g kg⁻¹ (AQd), verifica-se que a quantidade de fósforo extraído para atingir 90% de matéria seca foi de 68 mg de P kg⁻¹ e de 232 mg de P kg⁻¹ respectivamente. Para 90% de produção de grãos, foram aplicados 167,5 mg de P kg⁻¹ no LED e 297,5 mg de P kg⁻¹ na AQd. Essa relação inversa acompanhou grande parte dos resultados obtidos em outras pesquisas (Vidor & Freire, 1971; Novais, 1977; Freire et al., 1979; Bahia Filho, 1982; Bahia Filho et al., 1983; Muniz, 1983; Neves, 1983; Gonçalves et al., 1986).

A eficiência de recuperação de fósforo pelo feijoeiro foi baixa, principalmente para as maiores doses (Quadro 5), concordando com Fabres (1986), que sugere a baixa eficiência de absorção e/ou de utilização desse nutriente, como o fator responsável pelos elevados teores críticos determinados no solo. Esse argumento, associado às elevadas doses aplicadas, pode explicar as altas quantidades de fósforo necessárias para obter 90% da produção de matéria seca e de grãos neste estudo.

As quantidades elevadas de fósforo necessárias ao feijoeiro nesta pesquisa e aquelas estabelecidas em

Quadro 5. Eficiência de absorção de fósforo, pelo feijoeiro, nos solos em estudo

Solos	Doses de fósforo	Fósforo ⁽¹⁾	Eficiência ⁽²⁾
		mg kg ⁻¹	
LRd	0	0,12	-
	25	5,63	22,04
	50	7,74	15,24
	100	12,05	11,93
	200	14,67	2,27
	400	18,66	4,63
LED	0	0,22	-
	25	6,30	24,32
	50	10,43	20,42
	100	14,37	14,15
	200	14,31	7,04
	400	19,55	4,83
LVd	0	0,49	-
	25	6,49	24,00
	50	12,35	23,72
	100	15,66	15,17
	200	19,83	4,67
	400	21,97	5,37
AQd	0	0,18	-
	25	3,57	13,56
	50	7,28	14,20
	100	11,40	11,22
	200	16,08	7,95
	400	26,05	6,47

⁽¹⁾ Refere-se às quantidades absorvidas, determinadas na parte aérea e nos grãos, divididas pela quantidade de solo dos respectivos vasos. ⁽²⁾ [(Absorção de P com a dose aplicada-absorção sem aplicação de P)] x 100/dose aplicada.

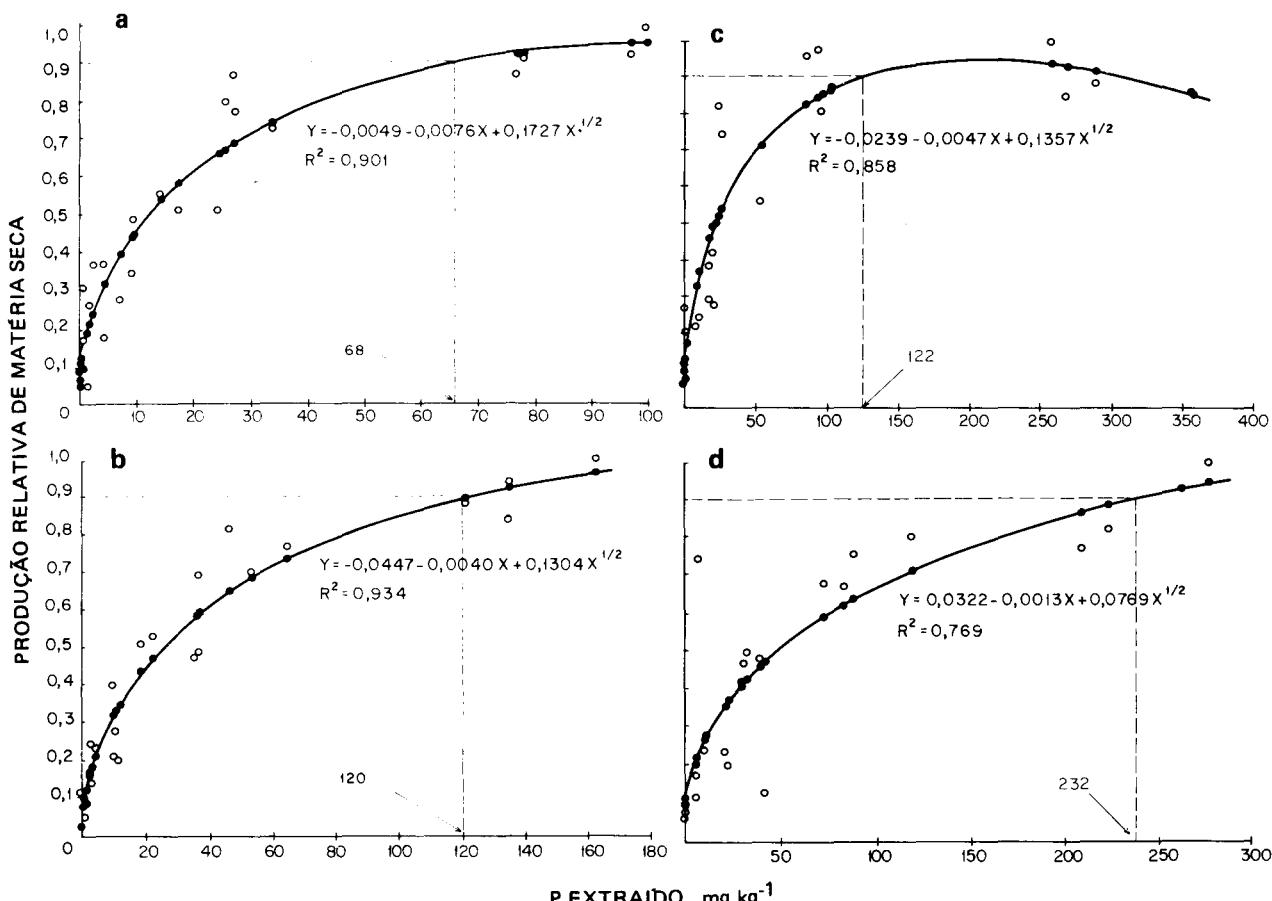


Figura 1. Relação entre fósforo extraído no solo e produção de matéria seca. LRd (a), LED (b), LVd (c), AQd (d).

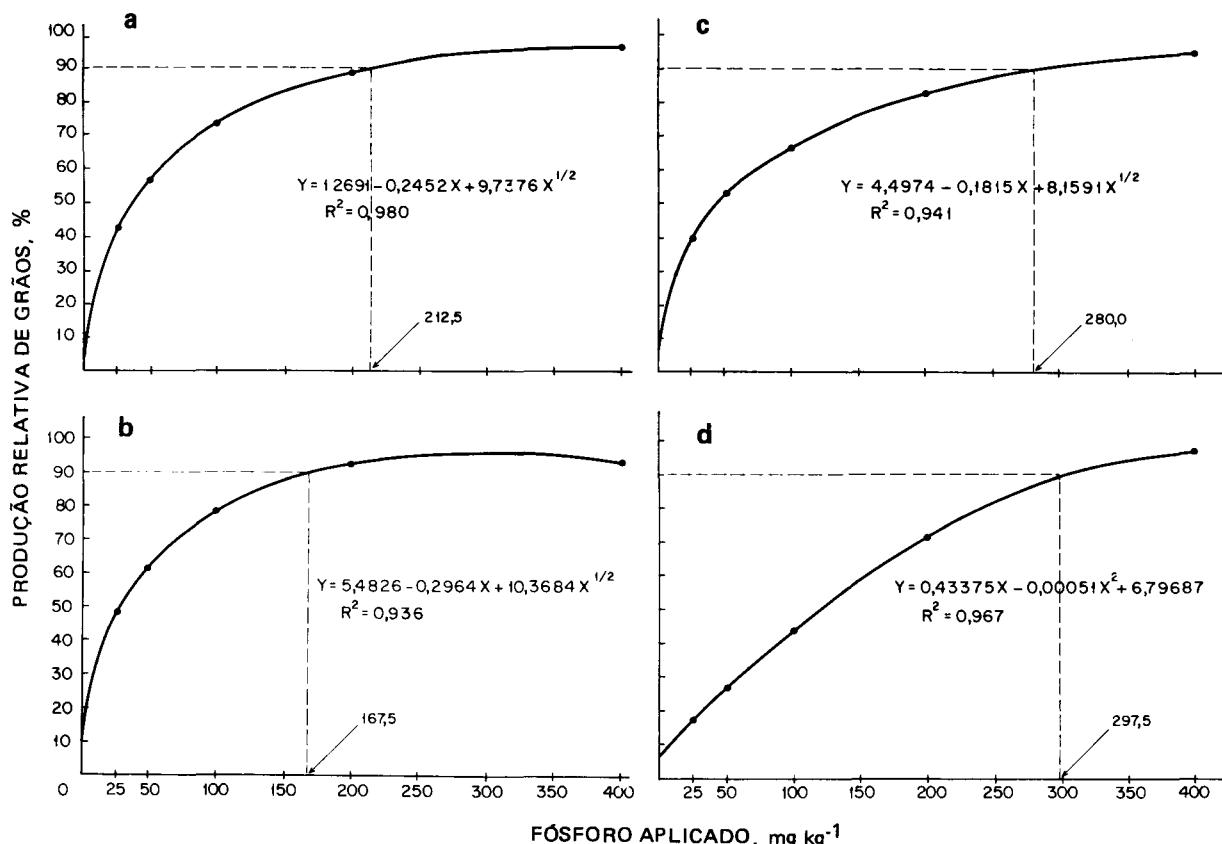


Figura 2. Relação entre fósforo aplicado ao solo e produção de grãos. LRD (a), LED (b), LVD (c), AQd (d).

outros trabalhos (Fabres, 1986; Fonseca, 1987), evindem que ensaios desenvolvidos em casa de vegetação superestimam a necessidade de nutrientes das culturas. Assim, devem ser utilizadas para estudos comparativos do comportamento das plantas em relação a diferentes solos, considerando principalmente seus teores de argila e mineralogia, mas não para recomendação quantitativa de adubação.

CONCLUSÃO

A aplicação de fósforo influenciou o rendimento e demais componentes de produção do feijoeiro. As quantidades de fósforo extraídas para 90% da produção de matéria seca apresentaram relação inversa com os teores de argila, variando de 68 mg kg⁻¹, no solo muito argiloso (LRd) a 232 mg kg⁻¹ no mais arenoso (AQd). As quantidades de fósforo aplicadas para 90% da produção de grãos também demonstraram esse comportamento, passando de 167,5 mg kg⁻¹ no LED para 297,5 mg kg⁻¹ na AQd.

LITERATURA CITADA

BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 178p. (Tese de Doutoramento)

BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M. & RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 7:221-226, 1983.

BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R. & FAGERIA, N.K. Soil-plant interaction on nutrient use efficiency in plants: an overview. In: BALIGAR, V.C. & DUNCAN, R.R., eds. *Crops as enhancers of nutrient use*. San Diego, Academic Press, 1990. p.351-373.

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratores de solo e plantas. *R. Ceres*, Viçosa, 27:73-85, 1974.

CARVALHO, A.M.de; FAGERIA, N.K.; KINJO, T. & OLIVEIRA, I.P. de. Distribuição e nível crítico de fósforo na parte aérea do feijoeiro cultivado em diferentes solos sob vegetação de cerrados. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 28(6):719-724, 1993.

CARVALHO, M.M.; SARAIVA, O.F. & VERNEQUE, R.S. Níveis críticos externos e internos de fósforo em duas leguminosas tropicais em um solo ácido. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 13:311-314, 1989.

FABRES, A.S. Disponibilidade de fósforo em solos e concentrações críticas de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em amostras de diferentes solos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 39p. (Tese de Mestrado)

FAGERIA, N.K. Effects of phosphorus on growth, yield and nutrient accumulation in the common bean. *Trop. Agric.*, Trinidad, 66: 249-255, 1989.

- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. & JONES, C.A. Common bean and cowpea. In: Growth and mineral nutrition of field crops. New York, Ed. Marcel Dekker, 1991. cap. 10, p.280-318.
- FONSECA, D.M. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 146p. (Tese de Mestrado)
- FOX, R.L. & KAMPRATH, E.J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 34:902-907, 1970.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; FRANÇA, G.C.; SANTOS, H.L. & SANTOS, P.R.R.S. Adubação fosfatada para a cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) baseada no fósforo disponível e no fator "capacidade". R. bras. Ci. Solo, Campinas, 3: 105-111, 1979.
- GOEPFERT, C.F. Experimento sobre o efeito residual da adubação fosfatada em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 8(1):41-47, 1972.
- GONÇALVES, J.L.M. de; BARROS, N.F. de; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. de. Níveis críticos de fósforo no solo e na parte aérea de eucalipto na presença e ausência da calagem. Rev. Árvore, Viçosa, 10(1):91-104, 1986.
- KORNELIUS, E.; SOBRAL, L.F.; GOMES, J. de C. & RODRIGUES, E.M. Efeitos de doses de nitrogênio e fósforo na produção de feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.203-205.
- MALAVOLTA, E.; VITIT, G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MIRANDA, L.N. de & LOBATO, E. Tolerância de variedades de feijão e de trigo ao alumínio e à baixa disponibilidade de fósforo no solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2:44-50, 1978.
- MUNIZ, A.S. Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 79p. (Tese de Mestrado)
- NEVES, R.F. Aspectos nutricionais em mudas de *Eucalyptus* spp., tolerância ao alumínio e níveis de fósforo no solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 87p. (Tese de Mestrado)
- NOVAIS, R.F. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. Raleigh, North Carolina State University, 1977. 153p. (Tese de Doutoramento)
- OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M.D.T.; KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. & CARVALHO, J.R.P. de. Avaliação de cultivares de feijão quanto à eficiência no uso de fósforo. Pesq. agropec. bras., Brasília, 22(1):39-45, 1987.
- ROSOLEM, C.A. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93p. (Boletim Técnico, 8.)
- SUMNER, M.E. Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes. Agron. J., Madison, 71: 343-348, 1979.
- VIDOR, C. & FREIRE, J.R.J. Calibração de análise de solo para cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Agron. Sulriogr., Porto Alegre, 7:63-72, 1971.