

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DE FOSFATOS NATURAIS EM SOLOS DE CERRADO E SUA AVALIAÇÃO POR EXTRATORES QUÍMICOS¹

Elihu de Almeida Santos² e Huberto José Kliemann³

ABSTRACT

AVAILABILITY OF PHOSPHORUS FROM NATURAL PHOSPHATES ON SAVANNAH SOILS AND ITS EVALUATION BY CHEMICAL EXTRACTANTS

A greenhouse experiment with soils from five Brazilian savannah (cerrado) sites – Alfisol (PVAe), Oxisol (LVd, LVdf, LVAd), and Quartzipsamment (RQo) – was carried out and phosphorus availability from natural phosphatic fertilizers (Arad phosphate – Israel; phosphoric bauxite – Senegal; and Araxá phosphate – Brazil) was evaluated. The Mehlich-1, Mehlich-3 and resin extractants were used. A completely randomized design with eleven treatments and three replications was used. Response curves with triple superphosphate (TSP) and inclusion of phosphatic sources were used, with millet (*Pennisetum thyphoides*) as testing crop. Obtained data showed that: (i) the applied phosphates showed higher efficiency on dystrophic Oxisols than on the sandy soil (Quartzipsamment); (ii) Arad and Phospal phosphates are good alternatives as phosphorus suppliers for savannah soils and crops; (iii) Mehlich-1, Mehlich-3, and resin extractants showed equivalent performance on the estimation of soil available P, applied as triple superphosphate.

KEY WORDS: Brazilian savannah, phosphate sources, chemical extractants.

RESUMO

Conduziu-se um experimento em casa de vegetação com solos de cinco locais da região dos cerrados: Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd), Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (PVAe), Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) e Neossolo Quartzarênico Distrófico (RQo). Usaram-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com onze tratamentos e três repetições, e curvas de resposta com o superfosfato triplo (SFT) como padrão, com a inclusão das fontes fosforita de Arad (Israel); bauxita fosfórica Phospal (Senegal); e apatita de Araxá (Brasil). A disponibilidade de fósforo foi avaliada pelos extratores experimentalmente inteiros casualizados com onze tratamentos e três repetições, e curvas de resposta com o superfosfato triplo (SFT) como padrão, com a inclusão das fontes fosforita de Arad (Israel); bauxita fosfórica Phospal (Senegal); e apatita de Araxá (Brasil). A disponibilidade de fósforo foi avaliada pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina, empregando-se o milheto (*Pennisetum thyphoides*) como planta-teste. Os resultados mostraram que (i) a eficiência dos fosfatos estudados foi maior nos Latossolos Distróficos do que no Neossolo Quartzarênico Distrófico; (ii) os fosfatos de Arad e Phospal são fontes alternativas de fósforo para solos e culturas dos cerrados; (iii) os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina extraem quantidades equivalentes de fósforo disponível dos solos, aplicado na forma de superfosfato triplo.

PALAVRAS-CHAVE: Cerrado, fontes de fósforo, extratores químicos.

INTRODUÇÃO

Dos macronutrientes essenciais às plantas, o fósforo é o elemento que limita mais frequentemente a produção das culturas na região dos cerrados. Isso, por apresentar-se em formas pouco disponíveis aos vegetais e pelas características de elevada adsorção dos solos dessa região. Apesar de ser exigido em pequenas quantidades pela maioria das culturas, têm-se aplicado quantidades elevadas de fósforo (P) para

suprir as necessidades dos cultivos (Carvalho *et al.* 1995). Para estimar com precisão as quantidades de P do solo, que as plantas são capazes de absorver, são utilizados extratores químicos e, para que sejam considerados adequados, é necessário que a quantidade extraída por um dado extrator correlacione-se estreitamente com o P absorvido pela cultura.

A literatura sobre extratores de P, apesar de relativamente extensa, não retrata resultados confiáveis em diferentes solos e ambientes, e em

1. Parte da tese de doutorado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Goiás (PPGA/UFG).

Trabalho recebido em dez./2004 e aceito para publicação em set./2005 (registro nº 612).

2. Fundação de Ensino Superior de Rio Verde (Fesurv), Caixa Postal 104, CEP 75900-000 Rio Verde, GO. E-mail: elihu@fesurv.br

3. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, UFG. C. Postal 131, CEP 74001-970 Goiânia, GO. E-mail: kliemann@agro.ufg.br

sistemas de manejo que removam as formas de P-Ca, P-Fe e P-Al em proporções similares às absorvidas pelas plantas. Diante disso, têm-se encontrado resultados contrastantes nos trabalhos sobre comparação de métodos de extração de P do solo.

O método de Mehlich-1 tem sido superior ao método da resina nos trabalhos de vários autores, sendo encontradas as maiores quantidades extraídas em solos com menor teor de argila. Pavan & Chaves (1996), trabalhando em Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) com 800 g kg⁻¹ de argila, sob lavoura de café adensado, verificaram maior eficiência do extrator Mehlich-1, quando comparado ao extrator de resina.

Em ampla revisão, envolvendo 72 trabalhos, Silva & Raij (1999) compararam métodos de extração de fósforo e pelo princípio do R² concluíram que a resina superou os demais métodos analisados. No entanto, segundo Evans & Mc Guide (1990), o método de Mehlich-3 apresentou as melhores correlações, não somente para P, mas também para K, Ca e Mg. Tran *et al.* (1990) julgaram este extrator como o mais confiável, se comparado aos extratores Bray-1 e Bray-2, quando utilizado em solos ácidos e com elevada capacidade de retenção de fósforo.

Brasil & Muraoka (1997) também obtiveram boas correlações com as culturas de arroz e caupi em cinco solos da Amazônia (LAm, LA argiloso, LA muito argiloso, LVdf argiloso, e LVdf muito argiloso), com teores de argila variando de 220 g kg⁻¹ a 710 g kg⁻¹, e de Al trocável, entre 0,6 cmol_c dm⁻³ e 2,2 cmol_c dm⁻³.

Resultados em que os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina foram semelhantes na extração de fósforo foram obtidos por Rossi *et al.* (1999) num Latossolo Vermelho Amarelo Distroférico, de textura média (LVAd). As fontes de fósforo utilizadas nesse estudo foram o superfosfato triplo, o termofosfato Yoorin, o fosfato de Carolina do Norte e o fosfato de Arad. Num solo da Guatemala, originado de cinzas vulcânicas, com baixo teor de P e alta capacidade de adsorção do elemento, Pérez *et al.* (2003) obtiveram alta correlação com os três extratores, trabalhando com de cana-de-açúcar.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de fontes e doses de fosfatos na disponibilidade de P para o milheto (planta-teste), em solos da região dos cerrados com teores variados de argila, assim como relacionar a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina com a absorção de P pela planta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, utilizando-se solos da região dos cerrados de cinco municípios: Leopoldo de Bulhões (Latosolo Vermelho Amarelo Distroférico – LVAd), São Luiz de Montes Belos (Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico – PVAe), Acreúna (Latosolo Vermelho Distroférico – LVdf), Rio Verde-GO (Latosolo Vermelho Distroférico – LVd) e Caçu (Neossolo Quartzarênico Distroférico – RQo). Estes solos foram caracterizados física e quimicamente (Tabela 1).

Os solos foram coletados na camada de 0-10 cm. Utilizou-se o calcário dolomítico na proporção 3:1 de cálcio/magnésio, com PRNT de 104,75%, para suprir a necessidade de calagem, como consta na Tabela 1. Os solos foram incubados por trinta dias a 80% da capacidade de embebição. Os fertilizantes fosfatados, após passados em peneira de malha de 100 µm, foram misturados nos vasos de acordo com os tratamentos. As fontes de fosfatos com as respectivas características químicas são listadas na Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química e física de solos dos municípios de Leopoldo Bulhões (Latosolo Vermelho Amarelo Distroférico – LVAd), São Luiz de Montes Belos (Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico – PVAe), Acreúna (Latosolo Vermelho Distroférico – LVdf), Rio Verde (Latosolo Vermelho Distroférico – LVd) e Caçu (Neossolo Quartzarênico Distroférico – RQo).

Atributos dos solos	Classificação				
	LVAd	PVAe	LVdf	LVd	RQo
pH em CaCl ₂	4,3	5,4	5,1	4,6	4,1
pH em água ²	5,9	6,0	5,7	5,6	5,6
P Mehlich-1 ² (mg dm ⁻³)	0,4	0,8	2,1	2,1	1,3
P Mehlich-3 ² (mg dm ⁻³)	2,4	4,0	2,9	2,2	2,9
P resina ² (mg dm ⁻³)	2,6	4,2	2,9	2,4	2,7
K (mg dm ⁻³)	30	150	103	60	18
Ca (mmol _c dm ⁻³)	8	74	56	29	12
Mg (mmol _c dm ⁻³)	3	14	11	9	3
Al (mmol _c dm ⁻³)	2	0	0	3	2
H+ Al (mmol _c dm ⁻³)	59	23	43	68	37
T (mmol _c dm ⁻³)	71	115	113	108	55
m(%)	14,6	0,0	0,0	7,0	11,5
V(%)	16,6	79,9	61,8	36,7	33,0
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	39	41	80	41	13
Necessidade de calagem ³	2,9	–	–	2,4	1,5
Areia (g kg ⁻¹)	350	500	380	200	830
Silte (g kg ⁻¹)	210	180	260	220	50
Argila (g kg ⁻¹)	440	320	360	580	120

¹ Análises de rotina - determinações segundo Embrapa (1999)

² Determinações após a colheita do experimento.

³ Necessidade de calagem (t ha⁻¹) pela saturação por cátions básicos, V = 60% (Raij & Quaggio 1983).

Tabela 2. Características químicas das fontes de fósforo aplicadas no experimento, em casa de vegetação (Goiânia-GO, 2004).

Fonte de fósforo	P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹) ¹	
	Total	Solúvel AC ² – 1:100
Superfosfato triplo	464,0	434,0
Fosfato de Araxá (Brasil)	378,1	43,5
Fosfato de Arad (Israel)	312,0	112,0
Fosfato de alumínio e cálcio (Senegal)	328,1	–

¹- Análise realizada no Laboratório Solocria Ltda., Goiânia, GO.

²- A.C.: ácido cítrico a 2%.

Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, com rodízio aleatório dos vasos. Os tratamentos constaram de cinco solos, quatro fontes de fósforo e cinco doses de P₂O₅ (zero, 100 kg ha⁻¹, 200 kg ha⁻¹, 400 kg ha⁻¹ e 800 kg ha⁻¹) para a fonte solúvel (SFT – superfosfato triplo), e duas doses (200 kg ha⁻¹ e 800 kg ha⁻¹) para as fontes alternativas (fosfatos naturais). Foram utilizadas três repetições por solo. A planta-teste foi o milheto (*Pennisetum thyphoides*), cujo plantio ocorreu em 02/maio/2003 e a colheita em 07/jun./2003.

Avaliou-se o P disponível no solo pelos extratores: Mehlich-1 (Nelson *et al.* 1953), Mehlich-3 (Mehlich 1984) e resina de troca aniônica (Raij *et al.* 1986). Os teores totais de P da parte aérea do milheto foram determinados segundo Malavolta *et al.* (1997). Os fosfatos naturais foram analisados pela técnica de contrastes ortogonais e os extratores como parcelas subdivididas (Gomes 2000). A máxima eficiência técnica das doses de superfosfato triplo foi determinada usando-se o modelo de raiz quadrada:

$$Y = a_0 + a_1 P_i + a_2 P^{1/2}$$

em que: Y é a produção de massa seca da parte aérea do milheto (g vaso⁻¹); e P_i são as doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹) para o superfosfato triplo.

As regressões da produção relativa de massa seca, de absorção absoluta e absorção relativa de P foram avaliadas, respectivamente, por modelos polinomiais (linear e linear inverso), usando-se o *software* Sigmaplot 2000 (Jandel Scientific 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de resposta da produção de massa seca do milheto à adubação fosfatada, aplicada na forma de superfosfato triplo nos solos LVAd, PVae, LVd, LVdf, e RQo estão ilustradas na Figura 1. Baseando-se nestas curvas, calcularam-se os pontos de máxima eficiência técnica (MET) e, a partir destes, foram feitas comparações da fonte solúvel com os

fosfatos naturais, referentes a cada solo isoladamente. Em todos os solos verificou-se relação curvilínea e incrementos decrescentes entre doses de fósforo e produção de massa seca (MS), tanto para as doses de superfosfato triplo (SFT) quanto nos fosfatos naturais, embora nestes, em proporções menores.

No Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd) a produção de máxima eficiência técnica (MET), de 34,1 g vaso⁻¹ de massa seca (MS), foi atingida com a dose de 641 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Verificaram-se comportamentos diferenciados entre os fosfatos sobre a produção de massa seca e, considerando-se a dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o fosfato de Arad produziu massa seca da ordem de 17% aquém da obtida com superfosfato triplo, enquanto o fosfato de alumínio e cálcio ficou com 48% e o fosfato de Araxá com 61% (Figura 1a).

No Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (PVae) ocorreu uma relação curvilínea com incrementos decrescentes entre as doses de SFT e a produção de massa seca da parte aérea. Para os fosfatos naturais o efeito também foi crescente com o fosfato de Arad, enquanto com o Phospal e com o fosfato de Araxá houve uma tendência de redução. A máxima eficiência técnica (MET), de 37,5 g vaso⁻¹ de MS, foi obtida com a dose de 538 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Fazendo uma analogia da fonte solúvel (SFT) com os fosfatos naturais na dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, verifica-se que o fosfato natural de Arad obteve produção de massa seca 16% inferior ao ST, seguido do Phospal, com 42%. O pior desempenho coube ao fosfato de Araxá, com 84% (Figura 1b).

No Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) os aumentos de produção de massa seca do milheto em função das doses de fosfatos naturais não seguiram a tendência para as doses de SFT. A máxima eficiência técnica foi estimada em 37,5 g vaso⁻¹, com a dose de 491 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Neste solo a produção de massa seca dos fosfatos naturais, em relação ao superfosfato triplo, foi de 23% para o Arad, seguido do Phospal, com 31%, e pelo Araxá, com 71% (Figura 1c). A máxima eficiência técnica (MET) no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) foi estimada em 39,5 g vaso⁻¹ de massa seca, na dose de 567 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Comparando-se o SFT com os fosfatos naturais, verifica-se que com o fosfato natural de Arad a massa seca produzida foi 19% inferior ao do SFT, seguido do Phospal com 30%, e do fosfato de Araxá com 73% (Figura 1d).

Comparando-se as doses de SFT que renderam a máxima eficiência técnica da produção de massa

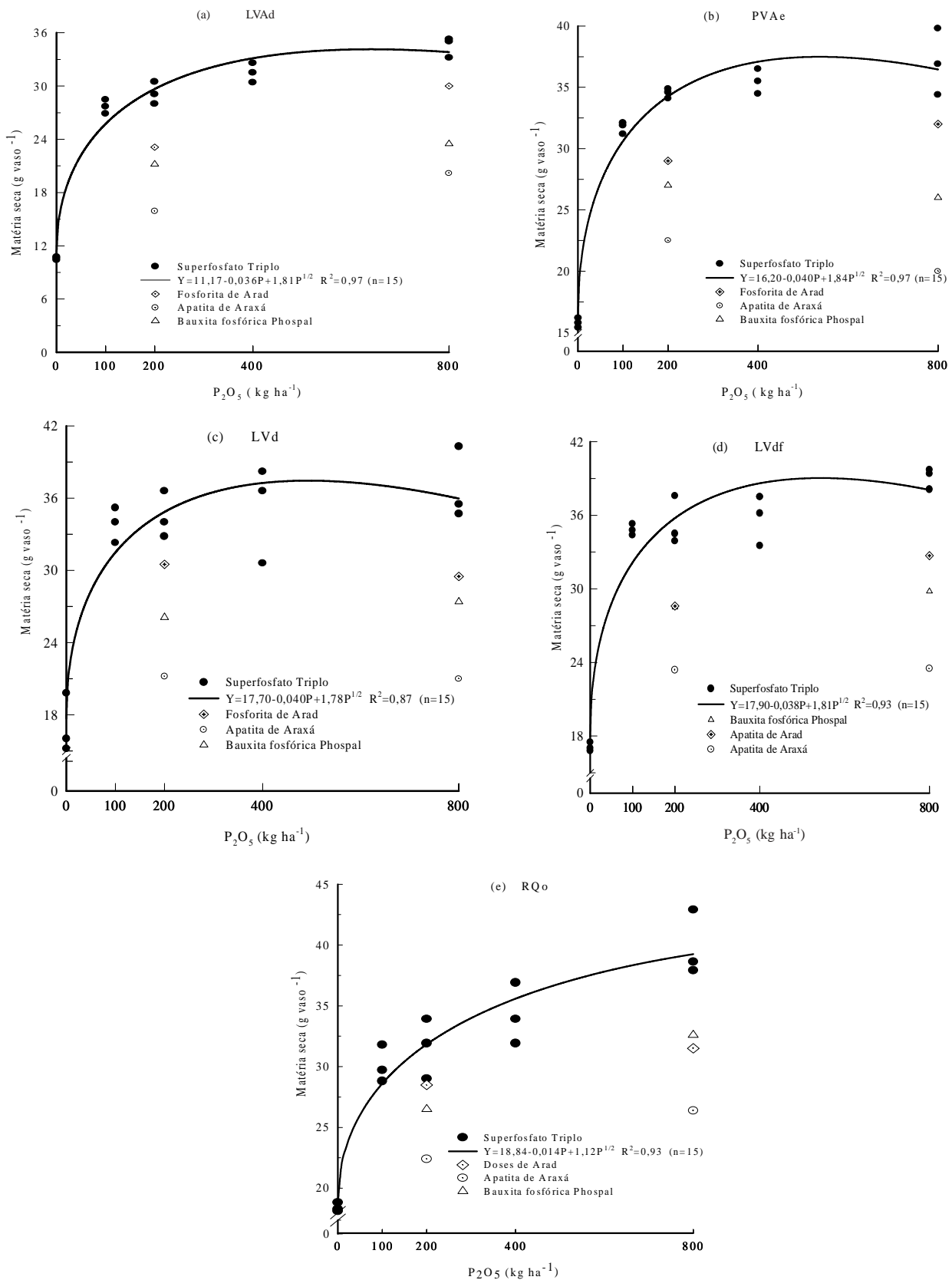


Figura 1. Produção de massa seca da parte aérea do milho em função das doses de fósforo aplicado como superfosfato triplo e fosfatos naturais (Arad, Araxá, e Phospal), em solos sob vegetação de cerrado: a) Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd); b) Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (PVAe); c) Latossolo Vermelho distrófico (LVd); d) Latossolo Vermelho distrófico (LVdf); e) Neossolo Quartzarênico distrófico (RQo).

seca, constatou-se que as menores encontraram-se nos Latossolos (LVd, LVdf - mais argilosos), e as maiores no Neossolo Quartzarênico Distrófico (RQo). Em LVd, por exemplo, a MET foi atingida com a dose de 491 kg ha⁻¹; já no RQo ocorreu com 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Portanto, nos Latossolos a adubação fosfatada na forma de SFT é mais eficiente. No Neossolo Quartzarênico Distrófico (RQo) a máxima eficiência técnica foi estimada em 39,3 g vaso⁻¹ de massa seca, na dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Comparando a fonte solúvel com os fosfatos naturais, observou-se que o Phospal produziu massa seca 20% inferior ao SFT, seguido do fosfato de Arad com 24%, e o fosfato de Araxá com apenas 53% (Figura 1e).

Na comparação dos cinco solos, verifica-se que os fosfatos naturais apresentaram a seguinte tendência: Arad > Phospal > Araxá. A melhor resposta dos fosfatos de origem sedimentar deve-se à sua maior solubilidade em ácido cítrico (Cons. 2??) (Couto *et al.* 1989) e à substituição isomórfica do PO₄³⁻ por CO₃²⁻ na apatita (Khasawneh & Doll 1978). Para a apatita de Araxá, a baixa eficiência deve-se à sua origem ígnea, ao alto grau de cristalização e à baixa solubilidade em ácido cítrico (Kliemann & Lima 2001).

Devido à grande variação nos conteúdos de argila (120 g kg⁻¹ a 580 g kg⁻¹), optou-se pelo agrupamento dos solos segundo o critério da associação entre os teores de P absorvidos pelas plantas e os teores extraídos nos três métodos de extração. Assim, esse agrupamento baseou-se nas inclinações das retas de regressão linear entre esses teores, em cada tipo de solo (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas da regressão linear (a, b e r), que relaciona os teores de fósforo absorvido pelo milho (g vaso⁻¹) com os teores extraídos pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e resina nos solos: Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd), Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (PVAe), Latossolo Vermelho Distrófico (LVdf), Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Neossolo Quartzarênico Distrófico (RQo).

Agrupamento de solos	Parâmetros			Pares de dados (n)
	Intersecção (a)	Inclinação (b)	r ¹	
----- Extrator Mehlich-1 -----				
PVAe + LVd	2,77	0,50	0,90	30
LVAd + LVdf + RQo	4,15	0,16	0,87	45
----- Extrator Mehlich-3 -----				
LVAd + PVAe + LVd + RQo	0,50	0,50	0,91	60
LVdf	2,92	0,13	0,96	15
----- Resina -----				
PVAe + LVd	0,25	0,60	0,91	30
LVAd + LVdf + RQo	3,20	0,22	0,82	45

¹ - Rraiz quadrada do coeficiente de determinação do modelo y = a + bx.

Na avaliação do extrator Mehlich-1 para os dois grupos de solos, PVAe + LVd e LVAd + LVdf + RQo, a absorção do fósforo pelo milho mostrou estreita relação com os teores de P disponível (valores de r = 0,90 e r = 0,87, respectivamente). Constataram-se diferenças significativas entre as inclinações das retas: para o primeiro agrupamento de solos a inclinação foi de 0,50 e, para o segundo, de 0,16, o que caracteriza uma sensível diminuição na capacidade de extração do método. Este comportamento não pode ser atribuído somente à granulometria, pois os solos também divergem na capacidade de troca (T), nos teores de matéria orgânica e, possivelmente, na capacidade de fixação de fósforo. Necessita-se, conseqüentemente, de estudos mais aprofundados referentes aos atributos que condicionam a capacidade de cada extrator (Tabela 3). Com relação ao extrator Mehlich-3, um comportamento diverso foi verificado no agrupamento dos solos LVAd + PVAe + LVd + RQo, com uma maior inclinação da reta de regressão (b = 0,50). A menor inclinação da reta no Latossolo Vermelho Distrófico (LVdf), b = 0,13, pode ser atribuída aos seus altos teores de óxidos de Fe e Al, e à sua maior capacidade de adsorção ou fixação de fósforo.

Em geral, os extratores ácidos têm sérias limitações para recuperação de ânions em solos com elevados teores de argila e de óxidos de Fe e Al (Carvalho *et al.* 1995, Novais & Smyth 1999). Provavelmente, em solos com teores de massa orgânica em torno de 80 g kg⁻¹ de solo, grande parte dos fosfatos aplicados sejam adsorvidos aos óxidos de Fe e Al e, talvez, à própria matéria orgânica. Além disso, o extrator de Mehlich-3, em virtude da sua menor acidez (pH = 2) e da presença do íon fluoreto (F⁻), provavelmente tenha deslocado o P dos sítios de troca, ocorrendo, em seguida, uma reabsorção do fósforo já extraído.

O método da resina, embora venha sendo indicado para solos com amplas variações de textura, não exerce influências importantes nas propriedades químicas do solo, como a capacidade de troca de ânions (Raij 1978, Silva & Raij 1996) e a capacidade de extração de P disponível. Todavia, as estimativas dos parâmetros da reta de regressão, referentes ao extrator de resina, revelam comportamento diferenciado entre grupos de solos (Tabela 3), deixando claro que a técnica não é independente de suas características e propriedades, o que é corroborado por Brasil & Muraoka (1997), em estudos com solos da Amazônia.

Para contornar o problema da grande variação de comportamento dos extratores químicos em diversos grupamentos de solos, pode-se usar as produções relativas de grãos ou de fitomassa (ou ainda absorção de nutrientes) e a equação inversa de x ($y = a + b/x$). Nessa abordagem, o comportamento dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina, com a aplicação do superfosfato triplo, mostraram coeficientes de correlação praticamente iguais ($r = -0,95$), indicando que extraem quantidades equivalentes de P do solo (Figuras 2). Verifica-se, ainda, que o modelo se ajusta estreitamente aos três extratores estudados, corroborando resultados obtidos por outros pesquisadores (Silva & Raji 1996, Miranda *et al.* 2002).

Com a inclusão dos fosfatos naturais nas equações de regressão, aumentou-se a dispersão dos pontos, diminuindo significativamente os coeficientes de correlação para os três extratores (Figuras 2). Isso pode ser atribuído às características de solubilidade desses produtos em ácido cítrico (AC a 2%), na composição química e força iônica dos extratores e nos atributos do solo, como alto grau de intemperismo e minerais compostos de sequeióxidos de Fe e Al.

A correlação significativa entre a produção relativa de massa seca e o teor de fósforo extraído pelo Mehlich-1, com a inclusão do fosfato de Arad (Figura 2), é compatível com a solubilidade do fertilizante em AC a 2% e com a substituição isomórfica parcial do PO_4^{3-} por CO_3^{2-} . Isso confere instabilidade à estrutura cristalina do mineral e maior reatividade da rocha fosfática pelo aumento na relação $\text{CO}_3^{2-}/\text{PO}_4^{3-}$ (Yost *et al.* 1982, Kliemann & Lima 2001).

Com a inclusão do fosfato de Araxá os coeficientes de correlação, apesar de serem menores, embora significativos, são compatíveis com sua baixa solubilidade em ácido cítrico a 2% (Tabela 2). As equações de regressão mostram grandes variações nos coeficientes angulares, mostrando tendência variável de resposta: o extrator de Mehlich-1 (Figura 2a) extrai quantidades bem superiores de P que os extratores Mehlich-3 (Figura 2b) e resina (Figura 2c). A explicação para o comportamento do primeiro desses extratores é que este se relaciona com a acidez do extrator ($\text{pH} = 1,30$), extraindo preferencialmente as formas de fosfato de cálcio da apatita, que, no entanto, são indisponíveis para as plantas (Rossi *et al.* 1999). Portanto, na presença de fosfatos apatíticos, o extrator é totalmente inadequado para avaliar o P disponível do solo (Brasil & Muraoka 1997, Silva & Raji 1996).

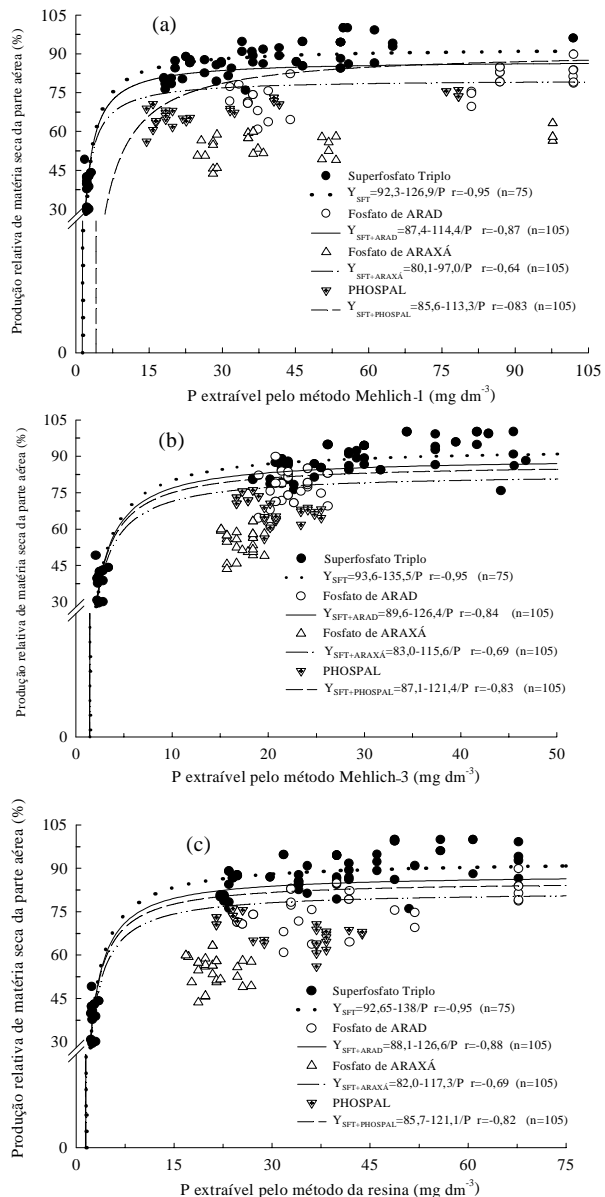


Figura 2. Produção relativa de massa seca da parte aérea do milho em função dos teores de P disponível pelos extratores: a) Mehlich-1, b) Mehlich-3 e c) resina, com aplicação de superfosfato triplo e fosfatos de Arad, Araxá e Phospal.

Nos solos em que se aplicou a bauxita fosfórica (Phospal), verifica-se que as correlações foram altamente significativas e praticamente iguais para os três extratores. A similaridade dos coeficientes de correlação entre os métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e resina (Figura 2) indica que estes extratores são eficientes na extração do P disponível dos solos. Este resultado pode ser explicado pela maior solubilidade do Phospal (origem sedimentar e tratamento térmico) e eficiência intermediária entre a fonte solúvel e o fosfato de Araxá.

CONCLUSÕES

1. A máxima eficiência técnica (MET) da produção de matéria seca do milho apresentou relação inversa com os teores de argila, variando de 490 kg ha⁻¹ de P₂O₅, no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), a 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Neossolo Quartzarênico Distrófico (RQo).
2. A adubação fosfatada foi mais eficiente em Latossolos do que em Neossolo Quartzarênico Distrófico (RQo).
3. A eficiência relativa dos fosfatos mostrou a seguinte tendência: Arad > Phospal > Araxá.
3. Os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina extraem quantidades equivalentes de fósforo disponível no solo, quando este elemento é aplicado na forma de superfosfato triplo.

REFERÊNCIAS

- Brasil, E. C. & T. Muraoka. 1997. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21 (4): 599-606.
- Carvalho, A. M. de., N. K. Fageria, I. P. de Oliveira & T. Kinjo. 1995. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19(1): 61-67.
- Couto, W., G. Leite & C. Sanzonowicz. 1989. The effectiveness of three phosphorus sources for pasture fertilization in a cerrado soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 24(4): 423-430.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Solos - Embrapa Informática Agropecuária, Brasília, DF. 370 p.
- Evans, C. E. & J. A. Mc Guide. 1990. Comparison of soil test extractants on Alabama soils. *Comm. Soil Science Plant Analysis*, 21 (3): 1037-50.
- Gomes, F. P. 2000. Curso de estatística experimental. 14 ed. rev. Nobel, São Paulo. 477 p.
- Jandel Scientific. Sigma Plot. 1999. Scientific Graphing Software Transform & Curve Fitting: revision SPW 5.0. San Rafael. 1v.
- Khasawneh, F. E. & E. C. Doll. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, 30(1): 159-206.
- Kliemann, H. J. & D. V. Lima. 2001. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais e sua eficiência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 31 (2): 111-119.
- Malavolta, E., G. C. Vitti & S. A. de Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed., rev. e atual. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. 319 p.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. in Soil Science and Plant Analysis*, 15 (12): 1409-1416.
- Miranda, L. N. de, J. A. de Azevedo, J. C. C. de Miranda & A. C. Gomes. 2002. Calibração de métodos de análise de fósforo e resposta do feijão ao fósforo no sulco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 (11): 1621-1627.
- Nelson, W. L., A. Mehlich L & E. Winters. 1953. The development, evaluation and use of soil test for phosphorus availability. p. 153-188. In Pierre, W. H. & A. G. Norman. *Soil fertilizer phosphorus*. Academic Press, New York. 353 p. (Agronomy 14)
- Novais, R. F. & T. J. Smyth. 1999. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. UFV, DPS, Viçosa. 399 p.
- Pavan, M. A. & J. C. D. A. Chaves. 1996. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional do cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20(2): 257-264.
- Raij, B. van. 1978. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2 (1): 1-9.
- Raij, B. van, J. A. Quaggio & N. M. Silva. 1986. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Comm. Soil Science Plant Analysis*, 17 (3): 547-566.
- Raij, B. van & J. A. Quaggio. 1983. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Instituto Agrônomo (IAC), Campinas. 31 p. (Boletim Técnico 81).
- Rossi, C., A. R. M dos Anjos, M. S. de Camargo, O. L. S. Weber, S. Imhoff. & E. Malavolta. 1999. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: Avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. *Scientia Agricola*, 56 (1): 39-46.
- Silva, F. C. da & Raij, B. van. 1996. Avaliação da disponibilidade de fósforo, por diversos extratores, em amostras de solos cultivados com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20 (1): 83-90.
- Silva, F. C. da. & B. van Raij. 1999. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34 (2): 267-288.

Tran, T. S., M. Giroux, J. Guilbeaut & P. Audess. 1990. Evaluation of Mehlich-III extracting to estimate the available P in Quebec soils. *Communications Soil Science Plant Analysis*, 21 (1): 1-28.

Yost, R. S., Naderman, G. C., Kamprath, E. J. & Lobato, E. 1982. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus *Agronomy Journal*, 74 (3): 462-468.