



Revista Ceres

ISSN: 0034-737X

ceresonline@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa  
Brasil

Broggi, Fábio; Freire, Fernando José; Galvão dos Santos Freire, Maria Betânia; Araújo do Nascimento, Clístenes Williams; Campelo de Oliveira, Alexandre  
Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos  
Revista Ceres, vol. 57, núm. 2, marzo-abril, 2010, pp. 247-252  
Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226760016>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos<sup>1</sup>

*Fábio Broggi<sup>2</sup>, Fernando José Freire<sup>3</sup>, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire<sup>3</sup>, Clístenes Williams Araújo do Nascimento<sup>3</sup>, Alexandre Campelo de Oliveira<sup>4</sup>*

## RESUMO

A avaliação da disponibilidade de P em solos mineralogicamente diferentes por um único método de análise pode ocasionar estimativas inadequadas dessa disponibilidade. O objetivo desta pesquisa foi extrair P por diferentes extratores químicos em solo com elevado teor de Ca, comparativamente a solo hematítico, e estudar as relações entre os níveis críticos e a adsorção de P pelo tempo de incubação dos solos. Assim, realizou-se um experimento utilizando amostras subsuperficiais de um Vertissolo Ebânico órtico (VEo), textura argilosa, com predomínio de argilominerais 2:1 rico em Ca e de um Nitossolo Vermelho distroférrico (NVdf), textura muito argilosa, predominantemente hematítico, coletados no Sertão e na Zona da Mata do Estado de Pernambuco, respectivamente. As doses de P foram definidas em função dos níveis 0; 0,2; 0,4; 0,8; e 1,0 da capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) de cada solo e incubadas por 90, 60, 30, 15 e 0,5 dias. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em esquema fatorial (dois solos, cinco doses de P e cinco tempos de incubação) em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. O P disponível foi determinado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 e utilizou-se o milho como planta indicadora. A capacidade de predição do P disponível do Mehlich-1 não foi adequada para o solo com predomínio de argilominerais 2:1 rico em Ca. Para este caso, a maior operacionalidade do Bray-1 credencia esse extrator como mais recomendado. Os níveis críticos no solo apresentaram-se decrescentes com o aumento do tempo de incubação, independentemente do solo.

**Palavras chave:** P lábil, extratores de P, capacidade máxima de adsorção de P

## ABSTRACT

### Evaluation of availability, adsorption and P critical levels in different soils

The evaluation of P availability in soils with different mineralogy using a same methodology can produce inappropriate estimates. The aim of this work was to evaluate P availability using different chemical extractors in soil with high Ca concentration, in comparison with hemathitic soil, and to study the relations between the critical levels and the P adsorption as a function of the soil incubation time. An experiment using subsurface samples of a Orthic Ebanic Vertisol (VEo) (Mollisol), clay textured with predominance of 2:1 clay mineral rich in Ca and a Distroferric Red Nitosol (NVdf) (Nitosol), high clay content, predominantly hematitic, colleted at the semi-arid and humid regions of Pernambuco State, Brazil, respectively. The P doses were defined as a function of the levels 0, 0.2, 0.4, 0.8 and 1.0 of the Maximum Capacity of P Adsorption (MCPA) of each soil and incubated for 90, 60, 30, 15 and 0.5 days. The experiment was carried out in a greenhouse in a factorial scheme (2 soils, 5 P doses and 5 different periods of incubation), in a

*Recebido para publicação em novembro de 2008 e aprovado em março de 2010*

<sup>1</sup>Parte da dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

<sup>2</sup>Engenheiro-Agrônomo, Mestre. Departamento de Agronomia, UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil. fabiobroggi@bol.com.br.

<sup>3</sup>Engenheiros-Agrônomos, Doutores. Departamento de Agronomia, UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil. f.freire@depa.ufrpe.br, betânia@depa.ufrpe.br, clistenes@depa.ufrpe.br.

<sup>4</sup>Engenheiro-Agrônomo, Doutorando. Departamento de Agronomia, UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil. alexcampelo@oi.com.br.

randomized blocks design, with three replicates each. The available P was determined by the extractors Mehlich-1, Mehlich-3 and Bray-1 and corn was used as indicative plant. The capacity of prediction of available P by Mehlich-1 was not suitable for the soil with predominance of 2:1 clay mineral rich in Ca. For this special case, the highest operationality of Bray-1 accredits this extractor as the most recommended. The critical levels in the soil decreased with the increase in incubation time, independently of the soil.

**Key words:** P labile, P extractors, maximum capacity of P adsorption.

## INTRODUÇÃO

A disponibilidade de P às plantas tem sido avaliada por numerosas técnicas de extração, o que, de certa forma, é um indicativo da complexidade do comportamento do elemento no solo, assim como da falta de concordância sobre qual seria o método mais adequado (Silva & Raij, 1999). A deficiência de P nos solos tropicais é intensificada devido ao pH ácido e à presença de óxidos cristalinos e amorfos de Fe e Al. Tais minerais apresentam grupamentos superficiais Fe-OH e Al-OH, nos quais o fosfato pode ser adsorvido por meio de troca de ligantes com o estabelecimento de ligações covalentes. Além disso, sua forma estrutural em adição a sua superfície específica influencia na adsorção de fosfato pelos solos (Mesquita Filho & Torrent, 1993).

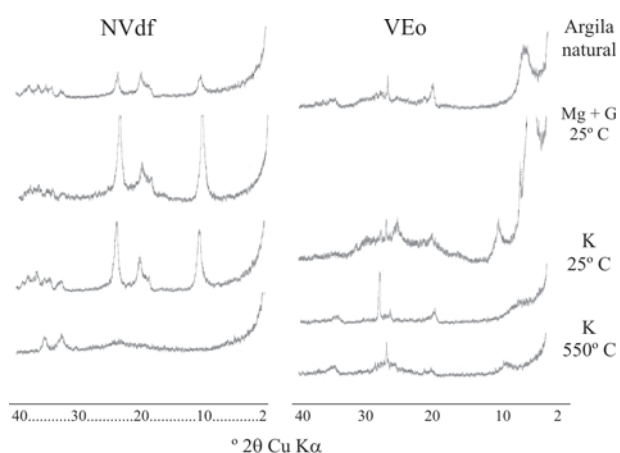
Nos estados do Nordeste os solos são, em sua grande maioria, menos ácidos do que nas outras regiões do País, sendo, também, comum a formação de compostos pouco solúveis de fosfatos de cálcio. Nessas regiões, a utilização do Mehlich-1 é controversa. O extrator sofre maior desgaste devido aos solos serem menos ácidos, no entanto, a solubilização de fosfatos de cálcio pode superestimar o P disponível (Freire, 2001), salvo na presença de plantas capazes de acidificar o solo da rizosfera, como as leguminosas (Novais & Smyth, 1999).

A determinação da quantidade de nutrientes que se encontra no solo em forma disponível às plantas é um dos principais objetivos dos estudos de avaliação da fertilidade do solo. Porém, esse objetivo não pode ser atingido de maneira simples, devido à complexidade dos processos envolvidos na dinâmica dos nutrientes no sistema solo-solução-planta (Cantarutti *et al.*, 2007). Assim, um valor expresso num laudo de análise do solo pode ou não refletir a real disponibilidade de um nutriente (Silva *et al.*, 2004), necessitando de experimentos de calibração. Desse modo, o teor ou nível crítico de um nutriente no solo corresponde ao valor de sua concentração que permite separar populações de solos com alta e baixa probabilidade de resposta às adições do nutriente avaliado (Alvarez V, 1996) e é variável entre solos e plantas e entre plantas e solos (Fonseca *et al.*, 1997).

Assim, este trabalho objetivou (a) avaliar a disponibilidade de P por diferentes extratores químicos em solos com elevados teores de Ca e de reação neutra, comparativamente a solos hematíticos, e (b) correlacionar os teores críticos no solo e a adsorção de P em função do tempo de incubação.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em casa de vegetação no Centro de Pesquisa de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Utilizaram-se amostras de dois solos, coletadas da camada subsuperficial, ocorrentes no Estado de Pernambuco: camada 30-56 cm, de um Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf), textura muito argilosa e predomínio de óxidos de Fe (hematita) proveniente da Zona da Mata; camada 5-25 cm, de um Vertissolo Ebânico órtico (VEo), textura argilosa e predomínio de minerais 2:1 (esmectita) proveniente do Sertão (Figura 1). Os solos das amostras foram secos ao ar, destorroados e passados em peneira de 2 mm, tanto para a instalação do experimento como para as análises físicas e químicas realizadas conforme Embrapa (1997) (Tabela 1).



**Figura 1.** Difratomogramas da fração argila dos solos com a presença de hematita no Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf) e argilominerais 2:1 no Vertissolo Ebânico órtico (VEo).

**Tabela 1** - Caracterização física e química dos solos Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf), proveniente da Zona da Mata, e Vertissolo Ebânico órtico (VEo), proveniente do Sertão, Pernambuco

Característica	Solo	
	NVdf	VEo
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	11,8	29,8
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	17,5	15,5
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	70,7	54,7
Ds (g cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	1,12	1,72
Dp (g cm <sup>-3</sup> ) <sup>(2)</sup>	2,89	2,56
Cc (%) <sup>(3)</sup>	39,7	39,5
PMP (%) <sup>(4)</sup>	29,6	27,5
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	4,4	6,8
P Mehlich-1 (mg dm <sup>-3</sup> )	2,4	495,6
P Mehlich-3 (mg dm <sup>-3</sup> )	3,5	26,0
P Bray-1 (mg dm <sup>-3</sup> )	0,4	15,4
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,03	1,39
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,02	0,3
Ca+Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,2	72,7
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,45	0,0
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,85	1,48
C org. (g kg <sup>-1</sup> )	0,76	5,8
CMAP (mg cm <sup>-3</sup> ) <sup>(5)</sup>	2,44	0,31
EA (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(6)</sup>	1,11	0,35
P-rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(7)</sup>	0,37	37,3

<sup>(1)</sup> Ds: densidade do solo; <sup>(2)</sup> Dp: densidade de partículas; <sup>(3)</sup> Cc: capacidade de campo; <sup>(4)</sup> PMP: ponto de murcha permanente; <sup>(5)</sup> CMAP: capacidade máxima de adsorção de P; <sup>(6)</sup> EA: energia de adsorção; e <sup>(7)</sup> P-rem: P remanescente.

Para avaliar a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), amostras de 2,5 cm<sup>3</sup> de terra fina seca ao ar (TFSA) de cada solo receberam 11 doses de P (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), situadas no intervalo de 0 a 260 mg L<sup>-1</sup> para o NVdf e de 0 a 80 mg L<sup>-1</sup> para o VEo (Alvarez V *et al.*, 2000). As doses foram definidas de acordo com o valor do fósforo remanescente (P-rem) de cada solo (Tabela 1), conforme estabelece Alvarez V *et al.* (2000). No NVdf as doses foram 0, 26, 52, 78, 104, 130, 156, 182, 208, 234 e 260 mg L<sup>-1</sup> de P. No VEo foram 0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72 e 80 mg L<sup>-1</sup> de P. As doses foram aplicadas utilizando-se 25 mL de uma solução de equilíbrio (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,01 mol L<sup>-1</sup>, contendo as diferentes doses de P). A solução de equilíbrio teve a mesma concentração para todas as doses de P e é utilizada para manter a mesma força iônica nas diferentes soluções. O P-rem foi determinado de acordo com Alvarez V *et al.* (2000).

Amostras de 2 kg do NVdf receberam uma mistura de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> numa relação molar de 4:1, por um período de 60 dias anterior à aplicação dos tratamentos, sendo a quantidade do corretivo estimada pela acidez potencial (H+Al) dos solos (Freire, 2001). No VEo não houve necessidade de correção da acidez.

As unidades experimentais consistiram de sacos plásticos contendo 2 kg de solo, que receberam as doses de P aplicadas por meio de soluções de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, correspondentes a 0, 20, 50, 80 e 100% da CMAP. Utilizaram-se três fontes de P com o objetivo de balancear adequadamente o K e o N em todos os tratamentos. O uso de uma única fonte acarretaria quantidade excessiva de K ou N. O Na da fonte NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> foi balanceado, assim como todos os demais nutrientes, com exceção do P. As amostras foram incubadas por 90, 60, 30, 15 e 0,5 dias. Os períodos de incubação foram iniciados em diferentes épocas, de modo a se ter, num mesmo e último dia, os diferentes períodos de equilíbrio solo-P satisfeitos. Durante todo período de incubação manteve-se a umidade em torno de 80% da sua capacidade de campo determinada pelo método da panela de pressão (Embrapa, 1997). Utilizou-se água destilada para repor as perdas por evaporação e manter a umidade adequada e previamente estabelecida. Os sacos plásticos eram pesados diariamente. No último dia de incubação, foram retiradas amostras de solo de cada saco plástico, de modo a obterem-se 100 g de solo seco. A secagem foi realizada a 60 °C em copos plásticos, por 48 horas, em estufa de circulação forçada de ar (Quaggio *et al.*, 2001). Para cada tratamento, determinou-se o teor de P pelos extratores Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>), Mehlich-3 (NH<sub>4</sub>F 0,015 mol L<sup>-1</sup> + CH<sub>3</sub>COOH 0,2 mol L<sup>-1</sup> + NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 0,25 mol L<sup>-1</sup> + HNO<sub>3</sub> 0,013 mol L<sup>-1</sup> + EDTA 0,001 mol L<sup>-1</sup>) e Bray-1 (HCl 0,025 mol L<sup>-1</sup> + NH<sub>4</sub>F 0,03 mol L<sup>-1</sup>), numa relação solo:extrator de 1:10 (4 cm<sup>3</sup> de TFSA e 40 mL da solução extratora). A avaliação de P no extrato foi realizada por colorimetria, de acordo com Braga & Defelipo (1974).

Terminada a amostragem de todos os tratamentos, os sacos plásticos foram acondicionados em vasos plásticos de 2,5 L e levados para a casa de vegetação. Foram dispostos em um arranjo fatorial 2 x 5 x 5 (dois solos, cinco doses de P e cinco tempos de incubação), com os tratamentos distribuídos em blocos ao acaso, com três repetições.

Imediatamente semeou-se o milho cultivar BR 106, e aos 15 dias após o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso, realizou-se uma adubação com 60; 1,2; 0,8; 1,5; 3,5; 0,15; e 4 mg dm<sup>-3</sup> de S, Cu, B, Fe, Mn, Mo e Zn, respectivamente. Durante todo o período de cultivo, a umidade dos solos foi mantida a 80% da capacidade de campo (Embrapa, 1997) por meio da pesagem diária dos vasos com o objetivo de repor a água perdida por evapotranspiração.

A colheita da parte aérea foi realizada aos 35 dias após a semeadura. O material colhido foi seco em estufa a 60 °C por 72 horas, sendo a massa da matéria seca pesada, tritura e mineralizada por uma mistura nítrico-perclórica (Bataglia *et al.*, 1983), obtendo-se extratos nos quais foram determinados os teores de P por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando o efeito dos tratamentos foi significativo, ajustaram-se equações polinomiais entre o teor de P extraído do solo e a produção de matéria seca como variáveis dependentes das doses aplicadas e dos tempos de incubação. A partir de modelos de regressão, foram estimadas doses para obtenção de 90% da produção máxima de massa de matéria seca da parte aérea. Com base nas doses estimadas e na regressão P extraído em função do aplicado, foram definidos os teores críticos nos solos. Correlacionou-se o P extraído pelos extratores com o P absorvido e acumulado pelas plantas de milho para cada solo. O programa estatístico utilizado foi o SAEG (1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que as menores taxas de recuperação do P foram obtidas para o NVdf (Tabela 2), condizente com seu baixo valor de P-rem e sua alta CMAP (Tabela 1). Especificamente no caso do VEO, o P extraído apresentou valores elevados (Tabela 2), provavelmente pelos altos valores de P ligado a Ca (P-Ca), em consequência dos

altos teores de Ca + Mg apresentados por esse solo (Tabela 1) e pela capacidade do Mehlich-1 (pH 1,2) em solubilizar esses compostos.

O relacionamento entre a produção de massa de matéria seca e as doses de P aplicadas nos solos mostrou que, independentemente do tempo de incubação, o NVdf produziu mais massa de matéria seca do que o VEO (Tabela 3). A produção de massa de matéria seca da parte aérea do milho aumentou com o tempo de incubação no NVdf e manteve-se praticamente constante no VEO (Tabela 3). No NVdf, mesmo havendo diminuição no valor do P extraído por Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 (Tabela 2) com o aumento do tempo de incubação, houve aumento na produção de massa de matéria seca (Tabela 3), provavelmente pela maior eficiência na utilização do P absorvido. Essa eficiência nutricional pode ser calculada pela razão entre a produção de massa de matéria seca e o conteúdo de P. Segundo Novais & Smyth (1999), as plantas se ajustam na utilização do P em solo com elevada CMAP.

As correlações entre o P extraído e o P absorvido pelo milho foram positivas e significativas para os três extra-

**Tabela 2** - Equações de regressão ajustadas para os teores de fósforo no solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) recuperados pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1, como variável dependente das doses de fósforo aplicadas ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em diferentes tempos de incubação

Tempo (dias)	Solo			
	NVdf		VEo	
Mehlich-1				
0,5	$\hat{y} = -60,0019 + 0,329644^{**}x$	$R^2 = 0,884$	$\hat{y} = 318,684 + 1,30294^{**}x$	$R^2 = 0,930$
15	$\hat{y} = -62,1401 + 0,538923^{**}x$	$R^2 = 0,890$	$\hat{y} = 573,539 + 0,738812^{**}x$	$R^2 = 0,930$
30	$\hat{y} = -90,5948 + 0,405231^{**}x$	$R^2 = 0,969$	$\hat{y} = 484,299 + 0,529157^{\otimes}x$	$R^2 = 0,418$
60	$\hat{y} = -64,0953 + 0,390145^{**}x$	$R^2 = 0,960$	$\hat{y} = 480,095 + 0,337939^{\otimes}x$	$R^2 = 0,571$
90	$\hat{y} = -106,594 + 0,330878^{**}x$	$R^2 = 0,926$	$\hat{y} = 401,958 + 0,257352^{\otimes}x$	$R^2 = 0,422$
Mehlich-3				
0,5	$\hat{y} = -59,2299 + 0,280801^{**}x$	$R^2 = 0,936$	$\hat{y} = -19,1555 + 1,56088^{**}x$	$R^2 = 0,914$
15	$\hat{y} = -45,7229 + 0,269964^{**}x$	$R^2 = 0,885$	$\hat{y} = 16,3171 + 0,562068^{***}x$	$R^2 = 0,993$
30	$\hat{y} = -61,4246 + 0,237040^{**}x$	$R^2 = 0,951$	$\hat{y} = 23,5025 + 0,685503^{*}x$	$R^2 = 0,754$
60	$\hat{y} = -52,1349 + 0,240336^{**}x$	$R^2 = 0,962$	$\hat{y} = 24,2023 + 0,340468^{**}x$	$R^2 = 0,951$
90	$\hat{y} = -82,5138 + 0,238515^{**}x$	$R^2 = 0,911$	$\hat{y} = 26,7703 + 0,452378^{***}x$	$R^2 = 0,996$
Bray-1				
0,5	$\hat{y} = -104,567 + 0,519683^{**}x$	$R^2 = 0,937$	$\hat{y} = -30,0398 + 1,82718^{*}x$	$R^2 = 0,920$
15	$\hat{y} = -81,2109 + 0,410593^{*}x$	$R^2 = 0,856$	$\hat{y} = -4,74542 + 0,523834^{*}x$	$R^2 = 0,840$
30	$\hat{y} = -105,925 + 0,400045^{**}x$	$R^2 = 0,958$	$\hat{y} = 18,1786 + 0,735904^{*}x$	$R^2 = 0,670$
60	$\hat{y} = -129,401 + 0,438119^{**}x$	$R^2 = 0,916$	$\hat{y} = 23,1548 + 0,451280^{**}x$	$R^2 = 0,956$
90	$\hat{y} = -130,426 + 0,351076^{**}x$	$R^2 = 0,905$	$\hat{y} = 14,6853 + 0,474977^{***}x$	$R^2 = 0,999$

\*\*\*, \*\*, \*, e  $\otimes$  significativo a 0,1; 1; 5; e 10% de probabilidade, respectivamente.



**Tabela 3** - Equações de regressão ajustadas para produção de matéria seca de milho (g/vaso) como variável dependente das doses de fósforo aplicadas (mg dm<sup>-3</sup>) nos diferentes tempos de incubação

Solo	Tempo (dias)	Equações	R <sup>2</sup>
NVdf	0,5	$\hat{y} = 0,0482273 + 0,842514^* \sqrt{x} - 0,0117178^* x$	0,975
	15	$\hat{y} = 0,278724 + 1,31281^* \sqrt{x} - 0,0206760^* x$	0,946
	30	$\hat{y} = 0,272156 + 1,50182^{**} \sqrt{x} - 0,0218980^* x$	0,984
	60	$\hat{y} = -0,360764 + 1,17116^* \sqrt{x} - 0,0130313^* x$	0,974
	90	$\hat{y} = 0,326052 + 1,00556^* \sqrt{x} - 0,0101482^* x$	0,982
VEo	0,5	$\hat{y} = 3,78661 + 0,131233^* x - 0,000377277^* x^2$	0,927
	15	$\hat{y} = 5,40402 + 1,35663^* \sqrt{x} - 0,0503847^{\otimes} x$	0,894
	30	$\hat{y} = 5,36449 + 0,842577^{\otimes} \sqrt{x} - 0,0325416^{ns} x$	0,712
	60	$\hat{y} = 5,37314 + 0,0701190^* x - 0,000182315^* x^2$	0,953
	90	$\hat{y} = 3,2419 + 1,48516^{\otimes} \sqrt{x} - 0,0597997^{ns} x$	0,822

\*\*, \*, e <sup>⊗</sup> significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente e <sup>ns</sup> não significativo.

tores testados e para os dois solos (Tabela 4). No NVdf o extrator Mehlich-1 apresentou o maior coeficiente e significância da correlação ( $r = 0,9906^{***}$ ), mostrando sua eficiência na predição do P disponível em solos hematíticos

**Tabela 4.** Coeficiente de correlação linear simples entre o P absorvido e o acumulado pelas plantas de milho com o P extraído pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1

Fósforo extraído (mg dm <sup>-3</sup> )	Fósforo absorvido e acumulado (mg/vaso)
	NVdf
Mehlich-1	0,9906***
Mehlich-3	0,9846**
Bray-1	0,9834**
	VEo
Mehlich-1	0,7839 <sup>⊗</sup>
Mehlich-3	0,9015*
Bray-1	0,9109*

\*\*\*, \*\*, \* e <sup>⊗</sup> significativos a 0,1; 1; 5; e 10% de probabilidade, respectivamente.

em que predominam formas de P ligado a Fe (P-Fe). No entanto, no VEo a capacidade de predição do P disponível pelo Mehlich-1 diminuiu significativamente ( $r = 0,7839^{\otimes}$ ), mostrando que esse extrator, pelos baixos valores de pH, responsáveis pela maior solubilização do P ligado a Ca (P-Ca), não foi adequado a solos ricos em Ca e, ou, para avaliar solos tratados com fosfato natural (Braga *et al.*, 1991; Silva & Raij, 1999).

Correlacionando-se os extratores, constatou-se significativo e elevado coeficiente de correlação entre o Mehlich-3 e Bray-1 ( $r = 0,977^{***}$ ), o que permite recomendar um ou outro como extrator do P disponível. No entanto, pela praticidade e baixo custo do Bray-1, sugere-se a utilização deste extrator como referencial para futuras pesquisas com extratores para predição do P disponível em solos com predominância de Ca, inclusive com a utilização do Olsen, apesar de sua pequena solubilidade, o que dificulta sua operacionalização em laboratórios de rotina.

O teor crítico de P no NVdf foi, em média, menor do que no VEo (Tabela 5) pelo menor valor de P-rem e pela

**Tabela 5** - Níveis críticos de fósforo nos solos pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 nos diferentes tempos de incubação

Solo	Extrator	Níveis críticos de fósforo no solo (mg dm <sup>-3</sup> )				
		Tempo de incubação (dias)				
		0,5	15	30	60	90
NVdf	Mehlich-1	140	190	130	307	271
	Mehlich-3	111	81	68	176	190
	Bray-1	211	111	112	366	271
VEo	Mehlich-1	467,60	620,80	513,00	517,30	417,70
	Mehlich-3	159,25	52,30	60,50	61,65	54,40
	Bray-1	178,80	28,80	58,00	72,80	43,70

elevada CMAP daquele solo (Tabela 1), corroborando com outros pesquisadores (Bahia Filho *et al.*, 1982; Novais & Smyth, 1999; Silva *et al.*, 2004). Os teores críticos de P no NVdf foram decrescentes com o aumento do tempo de incubação. Entretanto, a partir dos 60 dias esses níveis críticos se elevaram (Tabela 5). É provável que a partir daí, os sítios de adsorção tenham se saturado, fazendo com que o NVdf apresentasse comportamento semelhante a solos arenosos. Loganathan & Fernando (1980) e Singh *et al.* (1983) mostraram que quando se aplica uma fonte solúvel de P num solo, frequentemente grande parte do aplicado é adsorvido rapidamente, com consequente saturação dos sítios de adsorção. Segundo Gonçalves *et al.* (1985), a velocidade de adsorção é maior em solos com maior CMAP, e quanto maior a saturação dos sítios de adsorção menor a velocidade de transformação de P lábil em P não lábil.

## CONCLUSÕES

A capacidade de predição do P disponível pelo método de Mehlich-1 não é adequada para solos com predomínio de argilominerais 2:1 ricos em Ca, como o Vertissolo Ebânico órtico.

Os teores críticos de P no solo para o milho apresentaram-se decrescentes com o aumento do tempo de incubação, independentemente dos solos.

## REFERÊNCIAS

- Alvarez V VH (1996) Correlação e calibração de métodos de análises de solo. In: Alvarez V VH, Fontes LEF & Fontes MPF (Eds.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.615-646.
- Alvarez V VH, Novais RF, Dias LE & Oliveira JA (2000) Determinação e uso do fósforo remanescente. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.27-32 (Boletim Informativo, 25).
- Bahia Filho AFC, Vasconcelos CA, Santos HL, Mendes JP, Pita GVE & Oliveira AC (1982) Formas de fósforo inorgânico e fósforo “disponível” em um Latossolo Vermelho-Escuro, fertilizado com diferentes fosfatos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 6:99-104.
- Bataglia OC, Furlani AMC, Teixeira JPF, Furlani PR & Gallo JR (1983) Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico. 20p. (Boletim técnico, 78).
- Braga JM & Defelipo BV (1974) Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. Revista Ceres, 21:73-85.
- Braga NR, Mascarenhas HAA, Bulisani EA, Raij B van, Feitosa CT & Hirose R (1991) Eficiência agronômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 15:315-319.
- Cantarutti RB, Barros NF, Martinez HEP & Novais RF (2007) Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB & Neves JCL (Eds.) Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.769-850.
- EMBRAPA (1997) Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, CNPS. 212p.
- Fonseca DM, Gomide JA, Alvarez V VH & Novais RF (1997) Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras: I. Casa de vegetação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 21:27-34.
- Freire FJ (2001) Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 144p.
- Gonçalves JLM, Firme DJ, Novais RF & Ribeiro AC (1985) Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 9:107-111.
- Loganathan P & Fernando WT (1980) Phosphorus sorption by some coconut-growing acid soils of Sri Lanka and its relationship to selected soil properties. Journal Science Food Agriculture, 31:709-717.
- Mesquita Filho MV & Torrent J (1993) Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). Geoderma, 58:107-123.
- Novais RF & Smyth TJ (1999) Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, UFV. 399p.
- Quaggio JA, Cantarella H, Abreu CA & Raij BV (2001) Registro e preparo de amostras. In: Raij BV, Andrade JC, Cantarella H & Quaggio JA (Eds.) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico. p.136-141.
- SAEG (1999) Sistema para Análises Estatísticas. Viçosa, Fundação Arthur Bernardes. CD-ROM.
- Silva EMB, Freire FJ, Santos MVF, Silva TJA & Freire MBGS (2004) Níveis críticos de fósforo para *Brachiaria brizantha* e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:281-288.
- Silva FC & Raij B van (1999) Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 34:267-288.
- Singh R, Möller MRF & Ferreira WA (1983) Cinética da sorção de fósforo em solos dos trópicos úmidos da Amazônia. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 7:227-231.