

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

NÍVEIS CRÍTICOS DE FÓSFORO PARA *Brachiaria brizantha* E SUAS RELAÇÕES COM CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS EM SOLOS DE PERNAMBUCO⁽¹⁾

E. M. S. BONFIM⁽²⁾, F. J. FREIRE⁽³⁾, M. V. F. SANTOS⁽⁴⁾,
T. J. A. SILVA⁽²⁾ & M. B. G. S. FREIRE⁽³⁾

RESUMO

A influência de características físicas e químicas relacionadas com o fator capacidade de P (FCP) na determinação dos níveis críticos de P pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 e na parte aérea de plantas foram estudadas em amostras superficiais de seis solos de Pernambuco cultivadas com *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf. cv Marandu. O estudo foi realizado em casa de vegetação, com amostras de solos de diferentes teores de argila, nas quais foram aplicadas doses de P definidas pelos valores do P remanescente (P-rem). O experimento consistiu de um fatorial 6 x 6 (seis solos e seis doses de P), com os tratamentos distribuídos em blocos ao acaso, com três repetições. O teor de argila não foi tão estreitamente correlacionado com o FCP, com o nível crítico de P no solo, nem com os níveis críticos de P em *B. brizantha*. As características que melhor refletiram o FCP foram a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e o P-rem. Como a CMAP é uma análise de difícil operacionalização, a determinação do P-rem é indicada para estimar o FCP do solo em laboratório de rotina. Dentre os extratores utilizados para quantificar o P disponível, o Bray-1 apresentou a maior recuperação do P aplicado e o Mehlich-1 a menor. Os extratores que melhor se correlacionaram com o P absorvido pelas plantas foram o Mehlich-1 e o Mehlich-3. Os valores dos níveis críticos nos solos variaram de 15,2 a 138,5 mg dm⁻³, no primeiro corte, e de 2,1 a 62,3 mg dm⁻³, no segundo corte. Características químicas como CMAP e P-rem influenciaram os níveis críticos de P nos solos e planta. Os níveis críticos de P no solo e em plantas de *B. brizantha* foram menores em solos com maior CMAP e com menor P-rem.

Termos de indexação: Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1, fator capacidade de fósforo, fósforo remanescente.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Recebido para publicação em agosto de 2002 e aprovado em outubro de 2003.

⁽²⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP. Av. André Vidal de Negreiros 30-A, CEP 55900-000 Goianá (PE). E-mail: embonfim@esalq.usp.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Campus Universitário de Dois Irmãos, CEP 52191-900 Recife (PE). E-mail: ffreire@ufrpe.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Zootecnia, UFRPE. E-mail: rmsantos@elogica.com.br

SUMMARY: *SOIL AND PLANT PHOSPHORUS CRITICAL LEVELS FOR Brachiaria brizantha RELATED TO PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOILS IN THE STATE OF PERNAMBUCO, BRAZIL*

The effects of soil physical and chemical properties related to the soil Phosphorus Buffering Capacity (PBC) on soil P critical levels, by Mehlich-1, Mehlich-3, and Bray-1 extractant solutions were studied in six soil samples of the State of Pernambuco and in plant shoot, for the cultivation of *Brachiaria brizantha* (Hoscht ex A. Rich.) Stapf. cv. Marandu. This research was carried out under greenhouse conditions with surface soil samples with different clay contents, to which P doses, defined by the soil solution equilibrium P (EP), were applied. The treatments were distributed in a factorial scheme (six soils and six P rates), in a complete block design, with three replicates. Clay content did not reflect the PBC, nor relate with the soil P critical level or P the critical levels in the *B. brizantha* plants. The characteristics which best reflected PBC were soil P maximum adsorption capacity (PMAC) and EP. Therefore, since PMAC is not a laboratory routine analysis, and is more difficult to be conducted, EP is the most adequate analysis for estimating the soil PBC. Soil P critical levels varied according to the extracting solution in use, with values ranging from 15.2 to 138.5 mg dm⁻³ at the first cut, and from 2.1 to 62.3 mg dm⁻³ at the second cut. Chemical characteristics such as PMAC and EP influenced the soil P critical levels. P Critical levels are lower in soils and in *B. brizantha* plants with higher PMAC and lower EP levels. The extractant solutions best correlated to P taken up by plants were Mehlich-1 and Mehlich-3.

Index terms: Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1, phosphorus buffering capability, equilibrium phosphorus.

INTRODUÇÃO

As gramíneas do gênero *Brachiaria* ocupam mais de 50 % da área de pastagens cultivadas no Brasil, graças à sua adaptação às variadas condições de clima e a solos de baixa fertilidade natural (Alcântara et al., 1993). Em Pernambuco, os baixos teores de P disponível limitam a produtividade de *B. brizantha*. Nunes et al. (1984) verificaram que a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionou um aumento de 12,0 t ha⁻¹ de matéria seca na produção anual desta gramínea.

A disponibilidade de P para as plantas tem sido avaliada por vários extratores químicos que quantificam o P em solução e uma fração do P-lábil do solo. Para que um extrator seja recomendado, é necessário que os teores de P que extrai do solo correlacionem-se com a absorção desse nutriente pelas plantas (Alvarez V. et al., 2000).

Nos estados do Nordeste, é mais comum a ocorrência de solos menos ácidos do que nas outras regiões do País, o que favorece a formação de compostos pouco solúveis de fosfato de cálcio (P-Ca) e, conseqüentemente, diminui a aplicabilidade do extrator Mehlich-1. Segundo Freire (2001), se, por um lado, o extrator sofre maior desgaste em solos menos ácidos, por outro, a solubilização de P-Ca pode superestimar o disponível, já que o P de compostos dessa natureza pode ser inacessível às plantas.

Em Pernambuco, utiliza-se o extrator Mehlich-1 como método de extração do P, porém não se tem considerado que os valores estimados de nível crítico

com este extrator são variáveis de acordo com o fator capacidade de fósforo (FCP). Assim, as recomendações de adubação fosfatada em Pernambuco (Cavalcanti, 1998) podem estar superestimando as doses recomendadas em solos arenosos, ou subestimando-as em solos argilosos e em solos com maior proporção de P-Ca.

Ao mesmo tempo, verifica-se que correlações entre os níveis críticos de P na planta e características dos solos associadas ao FCP são significativas (Muniz et al., 1985). Isso reforça a importância de se caracterizar melhor o P no solo e na planta, levando-se em consideração o FCP e, conseqüentemente, otimizando as recomendações da adubação fosfatada.

Considerando que os níveis críticos de P no solo e na planta são influenciados por características físicas e, ou, químicas dos solos, realizou-se este trabalho com os objetivos de correlacionar os níveis críticos de P no solo e na planta com o FCP; correlacionar o FCP com características físicas e químicas dos solos, e correlacionar o P absorvido pelas plantas com o P extraído pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionados seis solos da Zona da Mata de Pernambuco, dos quais se coletaram amostras na camada de 0-20 cm de profundidade (Quadro 1).

As amostras dos solos foram secas ao ar e passadas em peneira de 4 mm, para a instalação do experimento, e em peneira de 2 mm, para a realização das análises físicas e químicas, de acordo com a EMBRAPA (1997) (Quadro 2). O P remanescente (P-rem) foi determinado de acordo com Alvarez V. et al. (2000).

Para estimar o FCP dos solos, foram determinados, inicialmente, o fator intensidade (I) e o fator quantidade (Q). Para isso, amostras de cada solo receberam oito doses de P definidas de acordo com os valores do P-rem de cada solo (Alvarez V. et al., 2000). Assim, tomou-se uma amostra de 4 cm³ de terra fina seca ao ar (TFSA) de cada solo em erlenmeyer de 125 mL, acrescentaram-se 40 mL de uma solução de equilíbrio (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, que continha as diferentes doses de P), agitou-se a mistura por uma hora e centrifugou-se por cinco minutos. No sobrenadante, determinou-se a concentração de P que foi transformada em potencial (I).

O fator Q foi calculado pela quantidade de P adsorvida, resultado da subtração entre o P adicionado (doses de P) e o que permaneceu na solução de equilíbrio. Assim, estimou-se uma equação de regressão dos valores de I em função de Q e determinou-se o FCP dos solos.

Para avaliar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), amostras de cada solo receberam 11 doses de P (Alvarez V. et al., 2000). Tomou-se uma amostra de 2,5 cm³ de TFSA de cada solo em erlenmeyer de 125 mL, acrescentaram-se 25 mL de uma solução de equilíbrio (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, que continha as diferentes doses de P), agitou-se a solução por 24 h e centrifugou-se por 5 min, determinando-se a concentração de P no sobrenadante. Utilizou-se a isoterma de Langmuir linearizada ($C/q = 1/ab + (1/b)C$), para estimar a CMAP (b), em mg g⁻¹ de solo, e a constante (a) relacionada com a energia de adsorção de fósforo (EA), expressa em L mg⁻¹ (Fonseca et al., 1988).

Quadro 1. Identificação, classe e procedência das amostras de solo estudadas

Identificação	Classe de solo	Procedência
PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico A proeminente	Itambé
PAd	Argissolo Amarelo distrófico abrupto latossólico	Itapirema
EKo	Espodosolo Cárstico órtico arênico	Itapirema
LAx	Latossolo Amarelo coeso distrófico típico	Ipojuca
MTo	Chernossolo Argilúvico órtico saprolítico	Nazaré da Mata
PVe	Argissolo Vermelho eutrófico típico	Camutanga

Quadro 2. Caracterização física e química das amostras dos solos estudadas

Característica	Solo					
	PVAd	PAd	EKo	LAx	MTo	PVe
Areia (%)	58,8	87,8	91,8	43,6	55,6	42,2
Silte (%)	11,8	4,0	3,1	6,0	16,0	27,4
Argila (%)	29,4	8,2	5,1	50,4	28,4	30,4
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,19	1,42	1,49	1,38	1,54	1,35
Capacidade de campo (dag kg ⁻¹)	17,10	3,92	4,01	22,42	14,81	16,87
Ponto de murcha permanente (dag kg ⁻¹)	13,43	2,90	2,33	17,59	6,92	10,15
pH (H ₂ O)	4,7	5,1	5,4	4,9	5,7	5,9
pH (H ₂ O) após correção	6,0	5,8	6,3	6,1	6,0	5,8
P (mg dm ⁻³)	0,85	0,84	2,08	2,32	6,67	3,07
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,09	0,07	0,04	0,16	0,13	0,87
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,4	1,7	0,7	2,0	10,7	5,3
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,9	0,3	0,5	0,7	0,1	0,1
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	10,48	4,43	5,22	6,41	4,95	4,95
C em forma orgânica (g kg ⁻¹)	24,80	7,10	7,51	12,48	13,15	12,93
P-rem (mg L ⁻¹) ⁽¹⁾	14,0	55,0	33,0	21,0	43,0	51,0
CMAP (mg g ⁻¹) ⁽²⁾	0,63	0,11	0,42	0,80	0,33	0,22
FCP (mmol cm ⁻³ /(upF) ⁽³⁾	87,7	43,3	14,3	86,2	15,5	59,1

⁽¹⁾ P-rem - Fósforo remanescente. ⁽²⁾ CMAP - Capacidade máxima de adsorção de fósforo. ⁽³⁾ FCP - Fator capacidade de fósforo; upF - unidade de potencial de fosfato.

Para correção da acidez, os solos foram incubados com uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 numa relação molar de 4:1 por um período de 40 dias, em que a quantidade de corretivo foi estimada pela acidez potencial (H + Al) dos solos (Freire, 2001).

O experimento consistiu de um arranjo fatorial 6 x 6 (seis solos e seis doses de P), com os tratamentos distribuídos em blocos ao acaso, com três repetições.

Após a correção da acidez, os solos foram incubados com P, utilizando como fontes KH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ e $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, e mantidos com uma umidade correspondente a 60 % do volume total de poros. As doses de P para determinação das curvas de resposta foram estimadas de acordo com Alvarez V. & Fonseca (1990) (Quadro 3).

Posteriormente, os solos foram secos ao ar, destorroados, transferidos para vasos de polietileno com capacidade para 2 dm^3 de solo. Foram retiradas subamostras para a determinação do P recuperado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 de acordo com o aplicado, após a incubação e após o primeiro corte das plantas. O P disponível foi determinado pelos extratores Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1}), Mehlich-3 (NH_4F 0,015 mol L^{-1} + CH_3COOH 0,2 mol L^{-1} + NH_4NO_3 0,25 mol L^{-1} + HNO_3 0,013 mol L^{-1} + EDTA 0,001 mol L^{-1}) e Bray-1 (HCl 0,025 mol L^{-1} + NH_4F 0,03 mol L^{-1}), numa relação solo:extrator de 1:10 [5 cm^3 de TFSA e 50 mL da solução extratora]. A dosagem de P no extrato foi realizada de acordo com Braga & Defelipo (1974).

Em seguida, realizou-se adubação básica de sementeira, aplicando-se 200 mg dm^{-3} de K (KCl p.a.), 100 mg dm^{-3} de N [NH_4NO_3 e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ p.a.], 40 mg dm^{-3} de S [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ p.a.], 1,2 mg dm^{-3} de Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ p.a.), 0,8 mg dm^{-3} de B (H_3BO_3 p.a.), 1,5 mg dm^{-3} de Fe ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ p.a.), 3,5 mg dm^{-3} de Mn ($\text{MnCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ p.a.), 0,15 mg dm^{-3} de Mo ($\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ p.a.) e 4 mg dm^{-3} de Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ p.a.). Em cobertura, foram aplicados 50 mg dm^{-3} de N e 20 mg dm^{-3} de S [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ p.a.], e, no segundo

corte, 50 mg dm^{-3} de N em cobertura [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ p.a.] e 100 mg dm^{-3} de K (KCl p.a.).

Foram colocadas para germinar 40 sementes de *B. brizantha* por vaso. Após a emergência das plântulas, foi realizado desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. Realizaram-se dois cortes da parte aérea em intervalos de 35 dias a 5 cm da superfície do solo.

O material vegetal (parte aérea) de cada corte foi seco em estufa com circulação de ar a 65-70 °C, até atingir peso constante, sendo, em seguida, pesado. Posteriormente, o material foi triturado em moinho tipo Wiley. O teor de P na matéria seca da parte aérea das plantas em cada corte foi determinado após digestão nitroperclórica (Bataglia et al., 1983) e dosado no extrato por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974).

Com os dados de teores de P no solo, nas plantas e produção de matéria seca nos dois cortes, foram realizadas análises de variância e as fontes de variação testadas a 0,1, 1 e 5 % de probabilidade.

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e de regressão. Ajustaram-se equações do teor de P recuperado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 de acordo com o P aplicado. Foram também ajustadas equações de regressão da produção de matéria seca e do teor de P nas plantas conforme o P aplicado. Os níveis críticos de P no solo e na planta foram estimados a partir dessas regressões (Guss et al., 1990).

Os coeficientes dos componentes de cada modelo foram testados a 10 %, escolhendo-se os modelos significativos, com maior coeficiente de determinação.

Foram obtidas correlações lineares simples entre FCP, níveis críticos de P no solo e na planta e características do solo, como argila, P-rem, CMAP, energia de adsorção (EA), capacidade de campo (CC) e teor de carbono (C). Correlacionou-se também a quantidade de P absorvido pelas plantas e o teor de P recuperado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1.

Quadro 3. Fósforo remanescente, intervalo experimental e doses de fósforo aplicadas aos solos

Solo	P-rem ⁽¹⁾	Intervalo experimental para amplitude da dose de P	Dose de P
	mg L^{-1}	mg dm^{-3}	mg dm^{-3}
PVAd	14	0-770	0; 77; 154; 308; 462; 770
PAd	55	0-370	0; 37; 74; 148; 222; 370
EKo	33	0-370	0; 37; 74; 148; 222; 370
LAX	21	0-640	0; 64; 128; 256; 384; 640
MTo	43	0-370	0; 37; 74; 148; 222; 370
PVe	51	0-370	0; 37; 74; 148; 222; 370

⁽¹⁾ P-rem - Fósforo remanescente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimativa do fator capacidade de fósforo dos solos

Os valores do fator I, em potencial de fosfato dos solos, foram maiores do que 7,0 (Quadro 4), ou seja, compatíveis com a baixa disponibilidade de P desses solos (Novais & Smyth, 1999).

As características dos solos que melhor refletiram o FCP foram a CMAP e o P-rem (Quadro 5). O teor de argila apresentou correlação com o FCP do solo. Assim, sugere-se a determinação do P-rem para estimar o FCP do solo, por ser de fácil avaliação em laboratório de rotina.

Níveis críticos de fósforo nos solos

Os níveis críticos de P no solo variaram entre os extratores estudados: Bray-1 > Mehlich-3 > Mehlich-1, para o primeiro corte, e Mehlich-3 > Bray-1 > Mehlich-1, para o segundo corte (Quadro 6), considerando as diferentes taxas de recuperação dos extratores (Quadro 7). A amplitude de variação foi de 15,2 a 138,5 mg dm⁻³, no primeiro corte, e de 2,1 a 62,3 mg dm⁻³, no segundo corte, sendo o menor

valor obtido no solo LAx e o maior no PAd. A diminuição dos níveis críticos de P do primeiro para o segundo corte está de acordo com Neves (1983), que obteve valores de níveis críticos no solo mais altos para o estabelecimento do que para manutenção em culturas perenes.

Em média, os menores níveis críticos de P no solo com a utilização do Mehlich-1 devem-se ao fato de serem tais amostras provenientes do Litoral e Zona da Mata do Estado, onde os solos apresentam, provavelmente, pouco P-Ca.

O PVAd, apesar de apresentar alto FCP (87,7 mmol cm⁻³/upF) (Quadro 2), também apresentou elevados níveis críticos (Quadro 6), graças, provavelmente, às altas doses estimadas para 90 % da produção máxima (376,5 mg dm⁻³) e baixas taxas de recuperação do P aplicado (26,4, 24,6 e 33 % para os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1, respectivamente) (Quadro 7). Este solo apresenta intenso caráter drenado de P, coletado sob mata, sem histórico de adubação fosfatada, fazendo com que haja uma competição entre planta e solo pelo P aplicado (Novais & Smyth, 1999) e, conseqüentemente, exigindo elevadas doses de P para 90 % da produção máxima. Ao mesmo tempo,

Quadro 4. Fator intensidade, em potencial de fosfato (0,5 pCa + pH₂PO₄), de solos de Pernambuco

Solo	Fator intensidade (I)
	upF ⁽¹⁾
PVAd	7,19
PAd	7,13
EKo	7,87
LAx	7,43
MTo	7,36
PVe	7,63

⁽¹⁾ upF - Unidades de potencial de fosfato.

Quadro 5. Coeficientes de correlação linear simples entre valores do fator capacidade de fósforo (FCP) e características físicas e químicas de solos de Pernambuco

Característica	FCP
Argila (%)	0,672***
P-rem (mg L ⁻¹) ⁽¹⁾	-0,919***
CMAP (mg g ⁻¹) ⁽²⁾	0,923***
“Energia de adsorção” (L mg ⁻¹)	0,638***
Capacidade de Campo (dag kg ⁻¹)	0,670***
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	0,695***

⁽¹⁾ P-rem - Fósforo remanescente. ⁽²⁾ CMAP - Capacidade máxima de adsorção de fósforo. *** Significativo a 0,1%.

Quadro 6. Níveis críticos de fósforo em solos de Pernambuco para obtenção de 90 % da produção máxima em *B. brizantha*, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1, no primeiro e no segundo corte

Solo	Mehlich-1		Mehlich-3		Bray-1	
	1º corte	2º corte	1º corte	2º corte	1º corte	2º corte
	mg dm ⁻³					
PVAd	92,5	44,9	85,1	40,8	109,9	50,4
PAd	109,2	47,2	138,5	59,1	125,4	54,8
EKo	45,7	20,5	38,8	20,0	48,2	19,1
LAx	15,2	2,1	21,4	6,9	19,5	5,8
MTo	45,4	35,4	47,3	38,2	44,1	35,0
PVe	36,2	62,3	33,7	57,6	29,1	51,0
Média	57,4	35,4	60,8	37,1	62,7	35,9

Quadro 7. Doses de fósforo recomendadas para 90 % da produção máxima em *B. brizantha* no primeiro corte e taxas de recuperação do fósforo aplicado aos solos pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1

Solo	Dose recomendada mg dm ⁻³	Mehlich-1 Mehlich-3 Bray-1		
		mg dm ⁻³ /mg dm ⁻³		
PVAd	376,5	0,2638	0,2456	0,3298
PAd	313,0	0,3616	0,4628	0,4114
EKo	145,0	0,2710	0,2022	0,3130
LAX	94,0	0,1716	0,1919	0,1904
MTo	134,5	0,2826	0,2596	0,2590
PVe	148,5	0,2238	0,2048	0,1882

a elevada capacidade de adsorção desse solo é a causa para as baixas taxas de recuperação obtidas.

Por outro lado, Novais & Smyth (1999) relataram que, em solos com valores de FCP elevado, como é o caso do LAX, a planta otimiza o P absorvido, produzindo mais biomassa por unidade de P do que solos com menor FCP.

Ao correlacionar os valores de níveis críticos de P no solo pelos extratores com as características físicas e químicas (Quadro 8), observou-se que os valores da CMAP e P-rem refletiram os níveis críticos de P nos solos, principalmente quando o extrator foi o Mehlich-3, graças, provavelmente, à maior sensibilidade desse extrator ao FCP, refletindo uma melhor correlação com o absorvido pelas plantas (Quadro 11). Essas correlações evidenciaram que os níveis críticos de P são menores em solos de maior valor de CMAP e de menor valor de P-rem. Mesmo sendo significativos, os coeficientes de correlação linear entre nível crítico e teor de argila foram baixos. Bahia Filho et al. (1983b) demonstraram que se deve levar em consideração não só a quantidade, mas também a qualidade da fração argila, ou seja, sua mineralogia, explicando a baixa relação entre teor de argila e níveis críticos de P no solo (Quadro 8).

Níveis críticos de fósforo em *Brachiaria brizantha*

Os níveis críticos de P nas plantas apresentaram a mesma tendência dos níveis críticos de P nos solos, ou seja, em solos com maior FCP, como o LAX (Quadro 2), os níveis críticos foram menores, enquanto em solos com menor FCP, como o PAd, os níveis críticos foram maiores (Quadro 9). Segundo Novais & Smyth (1999), a competição entre planta e solo pelo P aplicado como fertilizante faz com que a planta se ajuste e utilize mais eficientemente o P disponível. Guss et al. (1990) verificaram que os níveis críticos de P na parte aérea de plantas de *B. brizantha* cultivadas em Latossolos variaram de 0,13 a 0,25 dag kg⁻¹, para valores de CMAP de 1,10 e 0,78 mg g⁻¹, respectivamente.

Uma matriz de correlação entre os níveis críticos de P em *B. brizantha* e características dos solos

Quadro 8. Coeficientes de correlação linear simples entre os níveis críticos de fósforo no solo no segundo corte e características físicas e químicas de solos de Pernambuco

Característica	Mehlich-1	Mehlich-3	Bray-1
Argila (%)	-0,315*	-0,388**	-0,371*
P-rem (mg L ⁻¹) ⁽¹⁾	0,548***	0,682***	0,467**
CMAP ⁽²⁾	-0,715***	-0,817***	-0,672***
EA (L mg ⁻¹) ⁽³⁾	0,223 [⊕]	0,097 ^{ns}	0,361*
CC (dag kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	0,204 ^{ns}	0,033 ^{ns}	0,258 [⊕]
CO (g kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	-0,177 ^{ns}	-0,300*	-0,255 [⊕]

⁽¹⁾ P-rem - Fósforo remanescente. ⁽²⁾ CMAP - Capacidade máxima de adsorção de fósforo. ⁽³⁾ EA - "Energia de adsorção". ⁽⁴⁾ CC - Capacidade de campo. ⁽⁵⁾ CO - Carbono orgânico. ns, ⊕, *, ** e *** Não-significativo, significativos a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente.

estudados indicou correlação negativa e significativa com a CMAP e correlação positiva e significativa com o P-rem (Quadro 10). Isto indica que a planta foi mais eficiente em utilizar o P disponível em solos com maior CMAP e menor valor de P-rem. Outros trabalhos têm, também, demonstrado a relação entre níveis críticos de P na planta e características dos solos relacionadas com o FCP (Bahia Filho et al., 1983a,b; Muniz et al., 1985; Neves et al., 1987; Fonseca et al., 1988).

Avaliação da disponibilidade de fósforo

Para avaliar a disponibilidade de P em solos do estado de Pernambuco, correlacionou-se a quantidade de P absorvido por plantas de *B. brizantha* no primeiro e no segundo corte, com o teor de P recuperado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 (Quadro 11). Freire (2001) já alertava para a necessidade de pesquisas de correlação de métodos de extração do P disponível pelos extratores Bray-1 e Mehlich-3 em solos do Nordeste do Brasil.

As correlações obtidas foram positivas e significativas para os três extratores utilizados. No entanto, os maiores coeficientes de correlação foram

Quadro 9. Equações de regressão ajustadas entre teores de fósforo na parte aérea, em dag kg⁻¹, como variável dependente (y) das doses de fósforo aplicadas (x), em mg dm⁻³, e os níveis críticos de fósforo em *B. brizantha* para 90 % da produção máxima, no primeiro e no segundo corte

Solo	Corte	Equação	R ²	Nível crítico dag kg ⁻¹
PVAd	1 ^a corte	$\hat{y} = 0,05 + 0,001375^{***} x - 0,000000972^{***} x^2$	0,997	0,43
	2 ^a corte	$\hat{y} = 0,08 + 0,000721^{***} x - 0,000000408^{**} x^2$	0,994	0,20
PAd	1 ^a corte	$\hat{y} = 0,10 + 0,001743^{***} x - 0,000001264^* x^2$	0,997	0,52
	2 ^a corte	$\hat{y} = 0,09 + 0,001269^{***} x$	0,991	0,27
EKo	1 ^a corte	$\hat{y} = 0,08 + 0,000860^{***} x$	0,984	0,20
	2 ^a corte	$\hat{y} = 0,08 + 0,000703^{***} x$	0,936	0,12
LAX	1 ^a corte	$\hat{y} = 0,14 + 0,000408^{***} x$	0,966	0,18
	2 ^a corte	$\hat{y} = 0,07 + 0,000686^{**} x - 0,000000608^* x^2$	0,973	0,08
MTo	1 ^a corte	$\hat{y} = 0,13 + 0,002014^{**} x - 0,000003034^{**} x^2$	0,990	0,34
	2 ^a corte	$\hat{y} = 0,16 + 0,001306^* x - 0,00000179^* x^2$	0,918	0,27
PVe	1 ^a corte	$\hat{y} = 0,11 + 0,000691^{***} x$	0,991	0,21
	2 ^a corte	$\hat{y} = 0,08 + 0,001184^{**} x - 0,00000179^* x^2$	0,979	0,27

*, ** e *** Significativos a 5, 1 e 0,1%, respectivamente.

Quadro 10. Coeficientes de correlação linear simples entre os níveis críticos de fósforo em *B. brizantha* com características físicas e químicas de solos de Pernambuco

Característica do solo	Nível crítico
Argila (%)	-0,288*
P-rem (mg L ⁻¹) ⁽¹⁾	0,708***
CMAP (mg g ⁻¹) ⁽²⁾	-0,806***
EA (L mg ⁻¹) ⁽³⁾	-0,008 ^{ns}
CC (dag kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	-0,204 ^{ns}
CO (g kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	-0,035 ^{ns}

⁽¹⁾ P-rem - Fósforo remanescente. ⁽²⁾ CMAP - Capacidade máxima de adsorção de fósforo. ⁽³⁾ EA - "Energia de adsorção"; ⁽⁴⁾ CC - Capacidade de campo. ⁽⁵⁾ CO - Carbono orgânico. ns, * e *** Não-significativo, significativo a 5 e 0,1%, respectivamente.

obtidos para Mehlich-1, no primeiro corte, e Mehlich-3, no segundo corte. Como Mehlich-1 foi, em média, o extrator que menos recuperou P (Quadro 7), é possível que os solos do Litoral e Zona da Mata do estado de Pernambuco, local em que as amostras foram coletadas (Quadro 1), apresentem baixo teor de P-Ca, fazendo com que o P extraído pelo Mehlich-1 tenha-se correlacionado com o P absorvido e acumulado pelas plantas (Quadro 11).

Por outro lado, Mehlich-3 e Bray-1 foram os extratores que, em média, mais recuperaram P. A presença de NH₄F na composição desses extratores indica que, provavelmente, grande parte do P

Quadro 11. Coeficientes de correlação linear simples entre o teor de fósforo recuperado (mg dm⁻³) pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 e o fósforo absorvido pelas plantas (mg vaso⁻¹)

Extrator	1 ^o Corte	2 ^o Corte
Mehlich-1	0,750***	0,804***
Mehlich-3	0,745***	0,831***
Bray-1	0,658***	0,761***

*** Significativo a 0,1%.

disponível desses solos esteja ligada ao Al (P-Al), porém, apenas parte dele se correlacionou bem com o absorvido e acumulado pelas plantas, como o extraído pelo Mehlich-3 (Quadro 11). A maior concentração de NH₄F (0,03 mol L⁻¹) pode ter causado maior extração de P de compostos de Al que as plantas não tiveram acesso durante o cultivo, fazendo com que não fosse possível encontrar-se correlação mais estreita (Quadro 11) entre o P recuperado pelo Bray-1 e o P absorvido.

CONCLUSÕES

1. As características que melhor refletiram o fator capacidade de P (FCP) foram a capacidade máxima de adsorção de P e o P remanescente.

2. Os níveis críticos de P nos solos e nas plantas foram influenciados pelo FCP. Em solos com maior FCP, os níveis críticos foram menores.

4. Os extratores que melhor correlacionaram-se com o P absorvido pelas plantas foram o Mehlich-1 e o Mehlich-3.

LITERATURA CITADA

- ALCÂNTARA, P.B.; PEDRO JUNIOR, M.J. & DONZELLI, P.L. Zoneamento edafoclimático de plantas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMA DE PASTAGENS, 2., Jaboticabal, 1993. Anais. Jaboticabal, FUNEP, 1993. p.1-16.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v.25, p.27-33. (Boletim Informativo)
- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Determinação de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 14:49-55, 1990.
- 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 Latossolo do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas. R. Bras. Ci. Solo, 7:221-226, 1983a.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C. & NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade-tampão de fósforo. R. Bras. Ci. Solo, 7:243-249, 1983b.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78)
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- CAVALCANTI, F.J.A. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (2ª aproximação), CAVALCANTI, F.J.A., coord., 2.ed. Recife, Instituto de Pesquisa Agropecuária, 1998. 198p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 214p.
- FONSECA, D.M.; ALVAREZ V., V.H.; NEVES, J.C.L.; GOMIDE, J.A.; NOVAIS, R.F. & BARROS, N.F. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. R. Bras. Ci. Solo, 12:49-58, 1988.
- FREIRE, F.J. Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana de açúcar. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 144p. (Tese de Doutorado)
- GUSS, A.; GOMIDE, J.A. & NOVAIS, R.F. Exigência de fósforo para o estabelecimento de quatro espécies de *Brachiaria* em solos com características físico-químicas distintas. R. Soc. Bras. Zoot., 19:278-289, 1990.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 9:237-243, 1985.
- NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & MUNIZ, A.S. Níveis críticos de fósforo em diferentes solos e extratores químicos para o crescimento de mudas de eucalipto. Acta For. Bras., 2:64-80, 1987.
- NEVES, J.C.L. Aspectos nutricionais em mudas de *Eucalyptus* spp. – tolerância ao alumínio e níveis críticos de fósforo no solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 87p. (Tese de Mestrado)
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NUNES, S.G.; BOOK, A.; PENTEADO, M.I.O. & GOMES, D.T. *Brachiaria brizantha* cv Marandu. Campo Grande, EMBRAPA-CNPQC, 1984. 31p. (Documento, 21)