



## Resposta do milho a doses de fósforo<sup>1</sup>

**Adelmo L. Bastos<sup>2</sup>, José P. V. da Costa<sup>3</sup>, Ivandro de F. da Silva<sup>4</sup>,  
Roberto W. C. Raposo<sup>4</sup>, Francisco de A. Oliveira<sup>4</sup> & Abel W. de Albuquerque<sup>3</sup>**

### RESUMO

Conduziu-se um experimento em casa de vegetação, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes doses de P recomendadas pela capacidade máxima de adsorção de fósforo – CMAP (%), sobre os teores de P e matéria seca da cultura do milho, em solos de Alagoas. Os solos foram classificados como Latossolo Amarelo coeso, Argissolo Acinzentado, Neossolo Flúvico, Neossolo Quartzarênico, Luvisso Crômico órtico e Luvisso Crômico pálico. Retiraram-se subamostras para análises físicas, químicas e mineralógicas. O experimento foi arranjado em esquema fatorial (6 x 4) correspondendo a 6 solos e quatro doses de P (0, 10, 20 e 30% da CMAP), em delineamento em blocos casualizados. A determinação do P remanescente foi feita em solução de equilíbrio. A CMAP foi determinada através do fósforo remanescente. A massa de matéria seca da parte aérea da planta apresentou melhor resultado no Luvisso Crômico pálico, com a dose de 10% da CMAP e o solo que proporcionou os maiores teores de fósforo na planta foi o Neossolo Flúvico na dose de 30% da CMAP.

**Palavras-chave:** CMAP, solos, nutriente na planta

## Response of corn to doses of phosphorus

### ABSTRACT

An experiment was conducted in a greenhouse of the Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – Rio Largo/AL, aiming to evaluate the effect of different doses of P recommended by the maximum adsorption capacity of phosphorus – CMAP (%), on content of P and the production of mass of dry matter in corn. The soils were classified as cohesive Yellow Latosol, Gray Argisol, Fluvic Neosol, Quartzarenic Neosol, ortic Chromic Luvisol and palic Chromic Luvisol. Soil samples were taken for physical, chemical and mineralogical analyses. The experiment was arranged in a factorial design (6 x 4) corresponding to the 6 soils and the 4 doses of P (0, 10, 20 and 30% of the CMAP), in a randomized block design. The determination of the remanent P was made in a equilibrium solution. The CMAP was determined through the remanent phosphorus. As experimental units, plastic pots were used with the capacity of 10 dm<sup>3</sup> containing 7 dm<sup>3</sup> of soil. The mass of dry matter of the aerial part of the plant presented better result in the palic Chromic Luvisol, with the dose of 10% of the CMAP and the Fluvic Neosol provided the highest content of phosphorus in the plant with the dose of 30% of the CMAP.

**Key words:** CMAP, soil, nutrient in the plant

<sup>1</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada a UFPB

<sup>2</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica do Estado de Alagoas – CEFET – Unidade Marechal Deodoro. Rua Lourival Alfredo 176, Poeira, CEP 57160-000, Marechal Deodoro, AL. Fone: (82) 3263-1122. E-mail: adelmo-bastos@bol.com.br

<sup>3</sup> UFAL, CEP 57100-100, Rio Largo, AL. Fone: (82) 3261-2688. E-mail: jpv@fapeal.br; awa@fapeal.br

<sup>4</sup> UFPB, CEP 58397-000, Areia, PB. Fone: (83) 3362-2300. E-mail: ivandro@cca.ufpb.br; rwcraposo@cca.ufpb.br; faoliveira@cca.ufpb.br

## INTRODUÇÃO

Os solos tropicais úmidos se caracterizam pelo elevado grau de intemperismo e pelos baixos teores de fósforo na forma disponível às plantas e o elemento está localizado, preferencialmente, nos horizontes superficiais, decrescendo conforme aumenta a profundidade do solo (Bonser et al., 1996; Rocha et al., 2005). Nesses solos o fósforo é o nutriente mais limitante para a produção agrícola (López-Búcio et al., 2000). Por apresentar baixa mobilidade no solo (Marschner, 2002; Costa et al., 2009), o fósforo é, frequentemente, o fator que restringe o crescimento de plantas (Hinsinger, 2001).

A determinação do fósforo remanescente, Prm (quantidade de P adicionada que fica na solução de equilíbrio depois de definido o tempo de contato com o solo), tem sido utilizada para definir as concentrações de P das soluções a serem colocadas em equilíbrio com o solo, para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos, CMAP.

No Brasil, a cultura do milho possui alto potencial produtivo, alcançando 10 t ha<sup>-1</sup> de grãos em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas (Carvalho et al., 2004). No entanto, o que se observa na prática são produtividades muito baixas e irregulares, cerca de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de grãos (CNA, 2003).

Embora as exigências do milho em fósforo sejam em quantidades bem menores que as em nitrogênio e as em potássio, as doses normalmente recomendadas são altas, em função da baixa eficiência (20 a 30%) de aproveitamento desse nutriente pela cultura (Fancelli, 2004) decorrente da

alta capacidade de adsorção do fósforo adicionado ao solo, reduzindo sua disponibilidade às plantas (Corrêa et al., 2008). Outro fator que deve ser levado em conta é a demanda de fósforo pela cultura. Plantas de desenvolvimento intenso e de ciclo curto, como o milho, requerem maior nível de fósforo em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido que as plantas de culturas perenes.

O trabalho teve como objetivo verificar os efeitos de diferentes doses de P recomendadas em função da capacidade máxima de adsorção de fósforo – CMAP (%), no crescimento vegetativo e na nutrição mineral da cultura do milho, em seis diferentes tipos de solo do Estado de Alagoas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus Delza Gitai, BR 104 Norte, km 85, município de Rio Largo, AL, com temperatura média da casa de vegetação em torno de 35 °C.

Os solos foram classificados, de acordo com EMBRAPA (1999) como Latossolo Amarelo coeso – LAx, textura franco-argilo-arenosa e Argissolo Acinzentado – PAC, textura franco-argilo-arenosa, ambos coletados na região dos tabuleiros de Maceió; Neossolo Flúvico – RU, textura franco-arenosa, coletado no município de Capela; Neossolo Quartzarênico – RQ, textura franco-arenosa; Luvisso Crômico órtico – TCo, textura franco-argilo-arenosa e Luvisso Crômico pálico – TCp,

Tabela 1. Atributos químicos e físicos das amostras dos solos

Atributos	Solos					
	LAX	PAC	RU	RQ	TCo	TCp
pH em H <sub>2</sub> O (1:2,5) <sup>(1)</sup>	5,60	5,80	6,00	6,00	5,60	6,10
P - Mehlich (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	2,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00
Ca + Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	3,60	2,90	2,50	6,10	5,30	11,30
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	37,00	28,00	38,00	116,00	220,00	220,00
Na (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	4,00	8,00	10,00	35,00	18,00	37,00
Carbono orgânico (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	2,05	1,75	2,38	2,55	1,92	2,05
P - remanescente (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>	4,67	5,31	14,53	14,21	6,00	6,0
CMAP (mg dm <sup>-3</sup> P) <sup>(3)</sup>	1.541,66	1.520,55	1.355,08	1.358,74	1.500,46	1.489,86
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,04	0,01	0,16	0,05	0,15	0,10
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	3,00	2,50	2,30	2,25	3,45	3,75
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,69	5,47	4,89	8,80	9,39	15,77
V (%)	55,19	54,31	53,04	74,00	63,00	76,00
M (%)	1,07	0,33	5,80	1,00	2,00	1,00
PST (%)	0,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	480,00	580,00	420,00	300,00	280,00	330,00
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	80,00	200,00	320,00	240,00	240,00	220,00
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	150,00	20,00	150,00	350,00	180,00	260,00
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	290,00	200,00	110,00	110,00	300,00	190,00
Silte/Argila	0,52	0,10	1,36	3,18	0,60	1,37
Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	1,28	1,39	1,58	1,42	1,34	1,38
Densidade de partícula (g cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
Porosidade Total (%)	52,00	47,00	40,00	46,00	49,00	48,00
Umidade a - 33 kPa % base de massa	16,20	9,60	10,10	10,60	17,90	13,90
Umidade a - 1500 kPa % base de massa	11,90	7,00	4,10	5,10	11,40	8,60
Classificação textural (SBCS)	franco-argilo-arenosa	franco-argilo-arenosa	franco-arenosa	franco-arenosa	franco-argilo-arenosa	franco-argilo-arenosa

<sup>(1)</sup> EMBRAPA (1997). <sup>(2)</sup> Fósforo em equilíbrio após agitação por 1 hora com solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> com 60 mg L<sup>-1</sup> de P (Alvarez et al., 2000). <sup>(3)</sup> Capacidade máxima de adsorção de fósforo (Novais & Kamprath, 1979). Latossolo Amarelo coeso – Lax; Argissolo Acinzentado – PAC; Neossolo Flúvico – RU; Neossolo Quartzarênico – RQ; Luvisso Crômico pálico – TCp e Luvisso Crômico órtico – TCo

textura franco-argilo-arenosa, os três últimos coletados no município de Campo Grande. As amostras foram secadas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de malha de 2 mm de abertura e homogêneas retirando-se, em seguida, subamostras para caracterização química, física (EMBRAPA, 1997) e mineralógica, por difração de raios X, montagem em pó, de acordo com o método adaptado de Moore & Reynolds Jr. (1989) (Tabela 1 e Figura 1). Após as análises as amostras receberam corretivo ( $\text{CaCO}_3$  p.a.) pelo método de saturação por bases e foram incubadas em sacos plásticos durante 30 dias; a umidade foi mantida em torno de 80% da capacidade de campo.

Realizou-se, também, adubação em cobertura com nitrogênio (uréia) e micronutrientes (Ácido bórico –  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , Sulfato manganoso –  $\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , Sulfato cúprico pentai-

dratado –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , Sulfato férrico –  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , Molibdato de amônio –  $(\text{NH}_4)_6\text{MoO}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  e Sulfato de zinco –  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). A CMAP das amostras de solo foi determinada de acordo com Novais & Kamprath (1979).

O milho (*Zea mays* L), cv Nordestino – Embrapa, foi cultivado em amostras de seis solos, semeadas quatro sementes por vaso e, após a emergência, realizou-se o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso. Durante o cultivo a umidade dos solos foi mantida em 80% da capacidade de campo com água destilada, através de pesagens diárias dos vasos.

Durante o cultivo se realizaram tratos culturais, de acordo com a necessidade da cultura; aos 45 dias do plantio foi colhida uma planta para análise dos teores de fósforo na parte

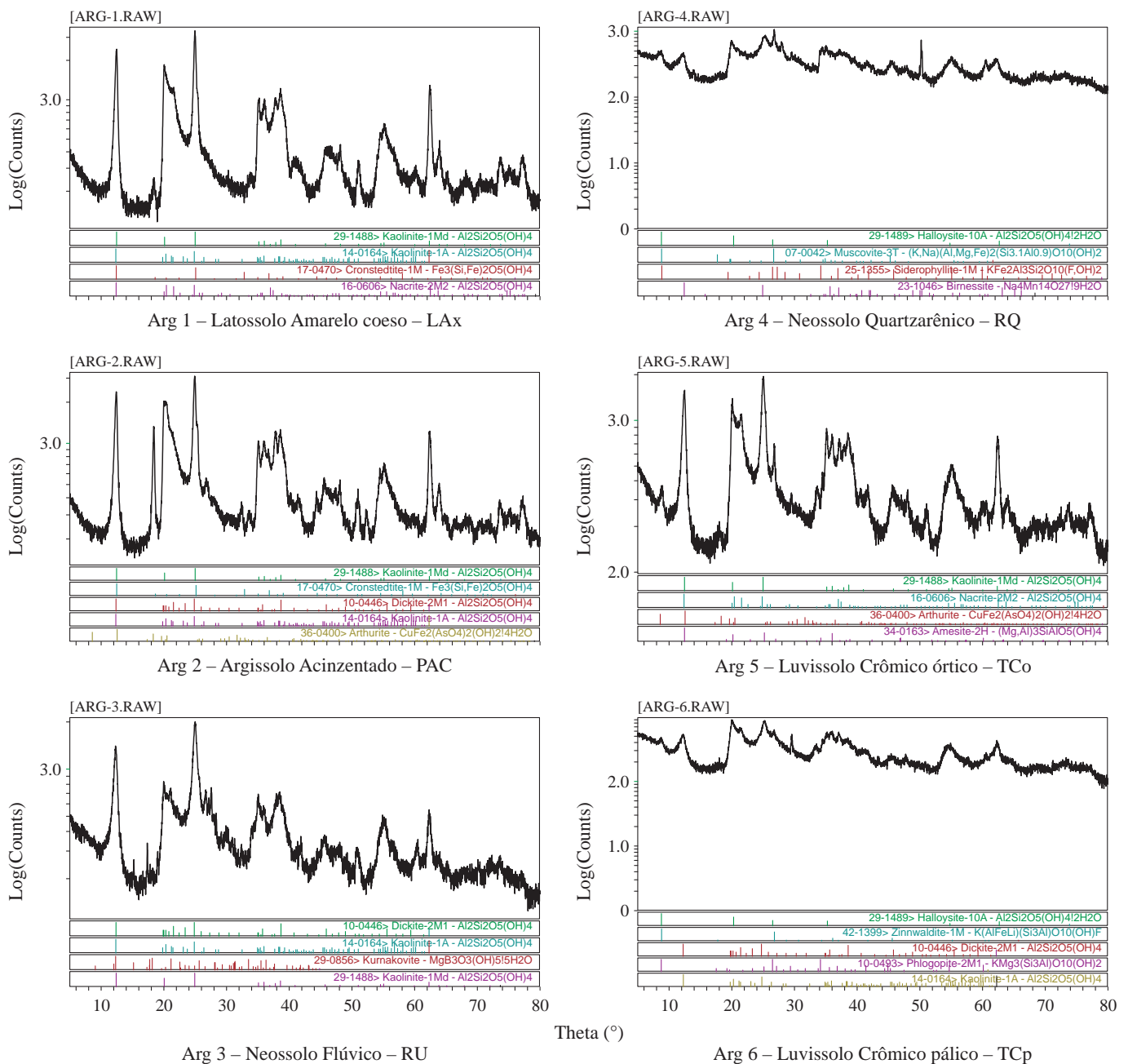


Figura 1. Difratogramas de raios-X da fração argila (Arg) das amostras dos seis solos estudados (montagem em pó)

aérea; ao final de 60 dias, colheu-se a 2ª planta e se determinou a massa de matéria seca da parte aérea. Os materiais colhidos referentes à matéria fresca foram colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar (65 a 70 °C) até peso constante.

O fósforo na parte aérea da planta foi determinado após digestão nítrico-perclórica da matéria seca por colorimetria do metavanadato (Malavolta et al., 1989).

O ensaio consistiu de um arranjo fatorial (6 x 4), correspondendo, respectivamente, a seis solos e quatro doses de fósforo recomendadas pela capacidade máxima de adsorção do fósforo (0, 10, 20 e 30% da CMAP), com quatro repetições, perfazendo o total de 24 tratamentos, com 96 parcelas, em blocos casualizados. Além da análise de variância para as doses, solos e interação solos x doses, realizaram-se testes de média (Tukey) para as variáveis massa de matéria seca da parte aérea e fósforo na parte aérea, além de análises de regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se, na Tabela 2, que os resultados do teste de média para a variável massa de matéria seca da parte aérea do milho – MMSPAM, não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade nas doses equivalentes a 10, 20 e 30% da CMAP ocorrendo diferença significativa apenas em relação à dose 0% da CMAP. Esses resultados são importantes visto que, através deles, se pode observar que a dose de 10% da CMAP produz o mesmo efeito da dose de 30% da CMAP proporcionando, assim, uma eficiência maior da adubação fosfatada.

**Tabela 2.** Massa de matéria seca da parte aérea do milho (g vaso<sup>-1</sup>) em função de doses de P, recomendadas pela CMAP\*, em solos distintos

Solos	Doses de fósforo recomendadas em função da CMAP (%)			
	0	10	20	30
LAX	3,46 cB	38,06 aA	39,21 abA	39,32 aA
PAC	5,99 cB	41,21 aA	40,15 aA	38,57 aA
RU	21,95 aB	31,43 bA	34,40 bcA	31,53 bA
RQ	12,12 bB	27,77 bA	29,53 cdA	29,43 bA
TCO	21,22 aB	32,52 bA	28,73 dA	31,61 bA
TCp	21,66 aB	40,55 aA	44,06 aA	39,75 aA

\* Capacidade máxima de adsorção de fósforo  
Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Comparando-se os incrementos de matéria seca na parte aérea nos níveis 0 e 10% da CMAP (menores e maiores massa de matéria seca, estatisticamente), observou-se aumento médio de aproximadamente 87% para o LCp e 43% para o RU, quando se aplicou a dose 10% da CMAP, levando-se a acreditar que o TCp respondeu melhor à adubação fosfatada. Esses resultados confirmam aqueles observados por outros pesquisadores, entre eles Silva et al. (1993).

Apesar das doses 10, 20 e 30% da CMAP não diferirem

estatisticamente (Tabela 2), houve tendência de crescimento da massa de matéria seca da parte aérea do milho com essas doses fato que, talvez, esteja relacionado a que, quanto menos fósforo no solo menor a produção de matéria seca. A dose 10% da CMAP apresentou resposta melhor para o LAX, PAC e TCp, assim como as doses de 20 e 30%, que não diferiram estatisticamente. Prado et al. (2001) notaram que a aplicação de doses crescentes de P aumentou a produção de grãos de milho. Novais & Smyth (1999) relataram que, em solos com valores de FCP elevado, como é o caso do TCp, TCo, LAX e PAC, a planta otimiza o P absorvido, produzindo mais biomassa por unidade de P que solos com menor FCP.

Segundo Heckrath et al. (1995), a mobilidade de P em um solo deverá aumentar com a saturação da superfície de adsorção, com a consequente diminuição da energia de ligação, o que proporciona maior dessorção de P do solo e o teor de argila é um dos componentes que interferem na adsorção (Novais & Smyth, 1999; Simões Neto et al., 2009); acredita-se, porém, que esses fatos não contribuíram para influenciar a massa de matéria seca da parte aérea do milho desta pesquisa; os TCp, TCo, LAX e PAC, apesar de serem classificados como de textura franco-argilo-arenosa (Tabela 1) não influenciaram, de maneira negativa, essa variável, e os RU e RQ, que foram classificados como de textura franco-arenosa, nem por isso tiveram maior teor de matéria seca. Acreditava-se que seriam necessárias maiores doses para o TCp, TCo, LAX e PAC para se obter maior massa de matéria seca, em virtude de maior poder tampão desses solos, fato que não ocorreu; nesse sentido, os RU e RQ deveriam obter maior valor dessa variável com menores doses, visto que o processo de adsorção ocorreria de forma menos intensa. Esses resultados indicam que outros fatores interferiram na resposta da planta à adubação fosfatada.

Apresentam-se, na Tabela 3, as equações de regressão para MMSPAM em função das doses de P recomendadas pela CMAP aplicadas nos solos.

**Tabela 3.** Equações de regressão relacionando-se a massa de matéria seca da parte aérea do milho (g vaso<sup>-1</sup>), e as doses de fósforo dentro dos solos utilizados

Solo*	Equações de regressão	R <sup>2</sup>
LAX	$y = 5,078 + 3,6737 x - 0,0862 x^2$	0,94
PAC	$y = 7,778 + 3,7268 x - 0,092 x^2$	0,93
RU	$y = 21,984 + 1,243 x - 0,0309 x^2$	0,99
RQ	$y = 12,72 + 1,7178 x - 0,0394 x^2$	0,96
TCO	$y = 22,308 + 0,9056 x - 0,0211 x^2$	0,70
TCp	$y = 22,034 + 2,3178 x - 0,058 x^2$	0,99

\* LAX – Latossolo Amarelo coeso; PAC – Argissolo Acinzentado; RU – Neossolo Flúvico; RQ – Neossolo Quartzarênico; TCo – Luvisolo Crômico órtico; TCp – Luvisolo Crômico pálido

Verifica-se que os dados da massa de matéria seca da parte aérea do milho se ajustaram a uma equação de regressão quadrática, cujo coeficiente de determinação explica o efeito das doses de P recomendadas pela CMAP, sobre a variável analisada (94, 93, 99, 96, 70 e 99%, respectivamente, para o LAX, PAC, RU, RQ, TCo, e TCp) sendo as doses de máxima eficiência técnica de 21,31, 20,25, 20,11, 21,79, 21,46 e 19,89% da CMAP para a massa de matéria seca da parte aérea

da planta máxima (44,22, 45,52, 34,48, 49,29 32,02 e 45,19 g vaso<sup>-1</sup>), respectivamente, para o LAX, PAC, RU, RQ, TCo, e TCp. Todos os solos apresentaram equações de regressão quadráticas, tais como os de Correia et al. (2004). Miola et al. (1999) constataram aumento linear na massa de matéria seca da parte aérea do milho com o aumento das doses e indicaram que esta tendência de aumento pouco se relaciona com outros fatores do solo, tais como textura e tipo de argila, corroborando com os resultados desta pesquisa.

Na Tabela 4 verificam-se os resultados do teste de média para a variável teor de P na parte aérea do milho – TPPAM e se observa que o teor de fósforo apresentou, em cada solo, diferença significativa a 5% nas doses equivalentes a 0, 10, 20 e 30% da CMAP, sendo que a dose equivalente a 30% da CMAP mostrou os maiores resultados entre os seis solos estudados enquanto a dose 0, os menores valores; em todos os solos se constatou que, à medida em que se aumentava a dose de P maior era o teor do elemento na planta. Segundo Novais & Smyth (1999) quanto mais fósforo disponível no solo maior será o gradiente de concentração deste elemento ocasionando, portanto, aumento no teor de P na parte aérea. Quando se aumentou a dose de fósforo no solo, ocorreu aumento do coeficiente de difusão do elemento devido à saturação progressiva da superfície da adsorção, o que resultou no aumento da concentração de fósforo na parte aérea, semelhante às observações de Miola et al. (1999), indicando que outros fatores do solo pouco interferiram na resposta das plantas à adubação fosfatada.

**Tabela 4.** Teor de fósforo na parte aérea do milho em função de doses de P recomendadas pela CMAP\*, em solos distintos

Solos	Doses de fósforo recomendadas pela CMAP (%)			
	0	10	20	30
	dag kg <sup>-1</sup>			
LAX	0,02 aD	0,39 cC	0,67 dB	0,82 dA
PAC	0,03 aD	0,50 bC	0,85 abB	1,00 cA
RU	0,04 aD	0,65 aC	0,90 aB	1,47 aA
RQ	0,04 aD	0,64 aC	0,84 bcB	1,19 bA
TCo	0,02 aD	0,49 bC	0,81 cB	0,99 cA
TCp	0,03 aD	0,61 aC	0,85 bcB	0,96 cA

\* Capacidade máxima de adsorção de fósforo  
Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

A dose 0% da CMAP proporcionou, em todos os solos, teores muito baixos. Para a dose de 30% da CMAP, quando os teores de P se encontram com os maiores valores, o maior teor de P foi no solo RU e o menor valor, no solo LAX. Sempre que se aumentou a dose do elemento notou-se um aumento do seu teor na planta. Correia et al. (2004) também verificaram que a concentração de P na parte aérea foi maior com as maiores doses de P, concordando com os resultados desta pesquisa.

Nas condições em que se obtiveram os difratogramas de raios-X da fração argila para este trabalho (Figura 1), quando se usou radiação de cobre, a linha de perfil do difratograma é muito peculiar. Manifestou-se a presença da caulinita como mineral preponderante, exceção apenas do RQ, que

apresentou a haloisita, que é um mineral do grupo da caulinita, bem como as nacrita (LAX e TCo) e dicrita (PAC e RU). A participação da caulinita no processo de adsorção de P é secundária, em comparação com os componentes óxidos. Ker (1995) verificou que o aumento do caráter caulinitico em diversos Latossolos do Brasil ocasionava diminuição da capacidade de adsorção de fósforo. O material caulinitico apresenta variações entre os vários solos, no que se refere ao grau de cristalinidade ou ao tamanho da partícula (Resende et al., 2005). Um dado relevante foi citado por Valladares et al. (2003) quando afirmaram que o grau de cristalinidade está inversamente proporcional à presença de Fe no sistema. Observou-se que o TCo e TCp apresentaram baixos teores de fósforo, comparados com o RU fato que pode estar associado ao grau de cristalinidade dos minerais.

Os teores de fósforo encontrados nas plantas estão abaixo do considerado ideal para a cultura na fase do aparecimento da inflorescência feminina, que variam de 1,9 a 3,5 g kg<sup>-1</sup> (Fernandes, 2006). Este fato pode ser justificado tendo em vista que a coleta das plantas ocorreu antes do aparecimento da inflorescência feminina; exceção a este fenômeno ocorreu com o RU e RQ na dose de 30% da CMAP; provavelmente, a explicação para este fato esteja em que referidos solos apresentam teor de argila bem menor, o que diminuiu a adsorção do elemento no solo, favorecendo os processos de difusão e influxo (Novais & Smyth, 1999; Costa et al., 2006).

Para que o fósforo chegue às raízes das plantas e ocorra o processo de influxo, é necessário que o fluxo difusivo também ocorra. O fluxo difusivo aumenta com o gradiente de concentração e depende da ocorrência de obstáculos entre o P-solução e o P-solução entre as raízes. Os solos têm influência direta no processo do FDP. O problema da difusão de P nos solos com maior adsorção fica mais evidente quando se verifica, com a adição de 30% da CMAP no LAX, comparadas ao RU, um aumento do teor de P de 55,78%. O transporte de fósforo para as plantas depende, primeiro, do coeficiente de difusão determinado, entre outros fatores, principalmente pelo poder tampão do solo (Horst et al., 2001), caracterizado pelo RU e RQ.

É notório que a dependência da concentração de P nas plantas está relacionada ao fator capacidade do solo, sendo as menores concentrações verificadas em solos de maior capacidade de P, como demonstram o LAX, TCo, TCp e PAC. Por outro lado, os solos com menor fator capacidade de fósforo (RU e RQ), apresentaram os maiores teores de P; este maior acúmulo de P pelas plantas pode ser importante para a manutenção do seu crescimento, quando a disponibilidade de P do solo for baixa.

Na Tabela 5 se apresentam as equações de regressão para os teores de fósforo na parte aérea da planta em função das doses de P recomendadas pela CMAP aplicadas nos solos. Verifica-se que os dados do teor de fósforo na parte aérea do milho se ajustaram à equação de regressão linear (LAX, PAC, RU e RQ) e equação de regressão quadrática (TCo e TCp) com boa capacidade preditiva, cujo coeficiente de determinação explica o efeito das doses de P recomendadas pela CMAP, sobre a variável analisada (0,97, 0,95, 0,98, 0,95, 0,99 e 0,99%), respectivamente, para os LAX, PAC, RU, RQ, TCo e TCp, sendo a dose de máxima eficiência técnica de 38,92 e

27,58% da CMAP para o máximo teor de fósforo na parte aérea da planta (1,08 e 0,95 dag kg<sup>-1</sup>) respectivamente, para os TCo e TCp. Notou-se que os teores de fósforo na parte aérea aumentaram com o acréscimo das doses de P (CMAP). Barreto et al. (2002) e Bastos et al. (2008) também chegaram a resultados semelhantes, em que o teor de P na parte aérea do milho está relacionado com as doses utilizadas.

**Tabela 5.** Equações de regressão relacionando o teor de fósforo (dag kg<sup>-1</sup>) na parte aérea do milho, com as doses de fósforo dentro dos solos utilizados

Solo*	Equações de regressão	R <sup>2</sup>
LAX	$y = 0,0743 + 0,0267 x$	0,97
PAC	$y = 0,1027 + 0,0327 x$	0,95
RU	$y = 0,0813 + 0,0455 x$	0,98
RQ	$y = 0,1281 + 0,0366 x$	0,95
TCo	$y = 0,0166 + 0,0545 x - 0,0007 x^2$	0,99
TCp	$y = 0,036 + 0,0662 x - 0,0012 x^2$	0,99

\* LAX – Latossolo Amarelo coeso; PAC – Argissolo Acinzentado; RU – Neossolo Flúvico; RQ – Neossolo Quartzarênico; TCo – Luvisso Crômico órtico; TCp – Luvisso Crômico pálico

Observa-se que o RU forneceu uma resposta maior no teor de fósforo na parte aérea do milho, seguido do RQ, sendo o LAX o que apresentou os menores resultados. A maior absorção de P foi, provavelmente, consequência do aumento da difusão do P no solo em direção às raízes, decorrente do aumento da concentração do P na solução (Cox & Barber, 1992). Acredita-se que o fator capacidade do P, FCP, dos solos estudados está diretamente relacionado com esses resultados.

O teor de fósforo nas plantas também depende do fator capacidade de P do solo (poder tampão), entendido como a resistência dos solos às mudanças da concentração de P no solo, fator quantidade – Q (Novais & Smyth, 1999). Segundo os pesquisadores, o fator capacidade de P (Q/I) é definido pelo equilíbrio entre as variações de Q e de I. O teor de P na parte aérea sofreu influência direta das doses de P.

Miola et al. (1999) constataram aumento linear no teor de fósforo na parte aérea do milho e indicaram que esta tendência de aumento pouco se relaciona com outros fatores do solo, tais como textura e tipos de argila, concordando com os resultados desta pesquisa.

## CONCLUSÕES

1. A massa de matéria seca da parte aérea da planta apresentou um resultado melhor no Luvisso Crômico pálico, com a dose de 10% da CMAP.
2. O solo que proporcionou os maiores teores de fósforo na planta foi o Neossolo Flúvico, com a dose de 30% da CMAP.
3. A CMAP pode ser usada como referência nas recomendações de adubações fosfatadas.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL pelo apoio financeiro concedido a esta pesquisa; à UFAL e UFPB, pela condução do experimento.

## LITERATURA CITADA

- 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. p.27-33. Boletim Informativo, 25
- Barreto, A. C.; Fernandes, M. F. Produtividade e absorção de P por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado no solo de Tabuleiro Costeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.148-156, 2002.
- Bastos, A. L.; Costa, J. P. V.; Silva, I. F.; Raposo, R. W. C.; Souto, J. S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.2, p.136-142, 2008.
- Bonser, A. M.; Lych, J. P.; Sieglind, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. New Phytologist, v.132, p.281-288, 1996.
- Carvalho, M. A. C. de; Soratto, R. P.; Athyde, M. L. F.; Arf, O.; Sá, M. E. de. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.1, p.47-53, 2004.
- CNA – Conselho Nacional de Abastecimento (Brasília, DF). Comparativo da área, produção e produtividade: Safras 2001/2002 e 2002/2003. <http://www.conab.gov.br/safras.asp>. 23 Set. 2003.
- Corrêa, R. M.; Nascimento, C. W. A.; Freire, F. J.; Souza, S. K. S. C.; Ferraz, G. B. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.3, p.218-224, 2008.
- Correia, J. C.; Mauad, M.; Rosolem, C. A. Fósforo no solo influenciado pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.12, p.1231-1237, 2004.
- Costa, J. P. V.; Barros, N. F.; Albuquerque, A. W.; Moura Filho, G.; Santos, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.4, p.828-835, 2006.
- Costa, J. P. V.; Bastos, A. L.; Reis, L. S.; Martins, G. O.; Santos, A. F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. Revista Caatinga, v.22, n.3, p.229-235, 2009.
- Cox, M. S.; Barber, S. A. Soil phosphorus level four equal P uptake from four soil whit different water contents at the same water potencial. Plant Soil, v.143 p.93-98, 1992.
- EMBRAPA – Empresa de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997. 212p.
- EMBRAPA – Empresa de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1999. 412p.
- Fancelli, A. L. Fenologia do milho. <http://www.faec.com.br>. 15 Mai 2004.
- Fernandes, M. F. Nutrição mineral de plantas. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. v.1, 432p.
- Heckrath, G.; Brookes, P. C.; Poulton, P. R.; Gouding, K. W. T. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. Journal Environment Quality, v.24, p.904-910, 1995.
- Hinsinger, P. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. Plant and Soil, v.237, p.173-195, 2001.

- Horst, W. J.; Kamh, M.; Jibrin, J. M.; Chude, V. O. Agronomic measurements for increasing P availability to crops. *Plant and Soil*, v.237, p.211-223, 2001.
- Ker, J. C. Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. Viçosa: UFV, 1995. 181p. Tese Doutorado
- López-Bucio, J. L.; M. de la Veja, O.M. de la; Guevara-García, A.; Herrera-Estrella L. Enhance phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. *Natural Biotechnology*, v.18, p.450-453, 2000.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 2002. 889p.
- Miola, G. R.; Tedesco, M. J.; Bissane, C. A.; Gianello, C.; Camargo, F. A. de O. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para a cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.5, p.813-819, 1999.
- Moore, D. M.; Reynolds Jr., R. C. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. New York: Oxford University Press, 1989. 332p.
- Novais, R. F.; Kamprath, E. J. Parâmetros das isotermas de adsorção do fósforo como critério de recomendação de adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.3, p.37-41, 1979.
- Novais, R. F.; Smyth, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.
- Prado, R. M.; Fernandes, F. M.; Que, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicações e doses de fósforo adubação de manutenção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.83-90, 2001.
- Resende, M.; Curi, N.; Ker, J. C.; Rezende de, S. B. Mineralogia de solos brasileiros. Interpretações e aplicações. Lavras: UFLA, 2005. 192p.
- Rocha, A. T.; Duda, G. P.; Nascimento, C. W. A.; Ribeiro, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.2, p.178-184, 2005.
- Silva, A. E. da; Gabelman, W. H.; Coors, J.G. Inheritance studies of low-phosphorus tolerance in maize (*Zea mays* L.), grown in a sand-alumina culture medium. Madison: Winsconsin, 1993. p.241-249.
- Simões Neto, D. E.; Oliveira, A. C.; Freire, F. J.; Freire, M. B. G. S.; Nascimento, C. W. A.; Rocha, A. T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.6, p.840-848, 2009.
- Valladares, G. S.; Pereira, M. G.; Anjos, L. H. C. dos. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. *Bragantia*, v.62, p.111-118, 2003.