

## Crescimento e Estado Nutricional da Cultura do Milho sob Diferentes Fontes e Modos de Aplicação de Fósforo.

Mário Miyazawa<sup>(1)</sup>; Antônio Costa<sup>(2)</sup>; Iris Tiski<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Pesquisador, Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Londrina, PR, miyazawa@iapar.br; <sup>(2)</sup> IAPAR, Londrina, PR, antcosta@iapar.br; <sup>(3)</sup> Química, Produquímica, São Paulo, SP.

**RESUMO:** A maioria dos solos brasileiros caracteriza-se pela elevada capacidade de adsorção de fósforo e por apresentar baixos teores desse elemento em solução, tornando necessário o estudo de fontes alternativas de fósforo. Os objetivos deste trabalho foram avaliar as fontes de fósforo MAP e MAP revestido por Policote e de modos de aplicação de fósforo. O experimento, conduzido sob delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições, foi formado pelo fatorial 2x3+1, sendo duas fontes de adubo fosfatado (MAP e MAP revestido por Policote), três modos de aplicação do fósforo (i. Aplicação superficial com 30 dias de antecedência à semeadura, ii. Aplicação superficial imediatamente antes da semeadura e iii. Aplicação incorporada na camada de 1-2 cm de profundidade, na semeadura) e um tratamento adicional sem fósforo. Os tratamentos na dose de 700 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg de solo foram aplicados em vasos com capacidade para 4 kg de solo. Aos 40 dias após a emergência das plantas foram avaliados a produção de matéria seca, os teores e acúmulo de P na parte aérea e raiz. A maior produção de matéria seca de raiz, teor de fósforo na parte aérea e raiz foi observada com a fonte MAP+Policote. O MAP revestido com Policote apresentou maiores índices de eficiência agrônoma da adubação fosfatada e de eficiência aparente de recuperação de fósforo que o MAP.

**Termos de indexação:** fertilizante; eficiência, Policote.

### INTRODUÇÃO

A maioria dos solos brasileiros caracteriza-se pela elevada capacidade de adsorção de fósforo e por apresentar baixos teores desse elemento em solução. Em virtude da elevada capacidade de adsorção, a prática de localizar fertilizantes fosfatados solúveis em parte do volume de solo cultivado, no sentido de reduzir a fixação do P e otimizar a sua absorção pelas plantas é necessária (Leite et al., 2009). Entretanto, a prática que tem se tornado comum no Cerrado brasileiro é a aplicação antecipada, em relação à época da semeadura, e superficial do fertilizante fosfatado. Isto tem como objetivo otimizar o uso do maquinário agrícola e agilizar a operação de semeadura, realizada sem a aplicação de fertilizantes. Entretanto, o fósforo, por possuir baixa mobilidade, principalmente em solos ácidos com teores elevados de argila, ferro e

alumínio, caracteriza-se como o nutriente de maior acúmulo no horizonte superficial de solos manejados sob plantio direto. Esse acúmulo de nutrientes promove a concentração de raízes na camada superficial do solo, podendo, via de consequência, limitar a produtividade das culturas em períodos de deficiência hídrica (Kochhann et al., 1999). Além do modo de aplicação, o uso de fertilizantes de eficiência aumentada tem recebido atenção por parte da pesquisa.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a produção de matéria seca, os teores e acúmulos de fósforo na parte aérea e raízes de milho e a eficiência da adubação fosfatada em função de fontes de P e modos de aplicação de fósforo.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação, no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina/PR, utilizando solo com as características abaixo (**Tabela 1**).

**Tabela 1.** Análise química e física do solo.

pH	K	Ca	Mg	Al
4,2	4,7	14,5	5,3	12,4
M.O.	P-melhich	CTC	V(%)	
6,58	2	108	22,6	

K, Ca, Mg, Al e CTC mmolc/dm<sup>3</sup>; M.O. g/dm<sup>3</sup>; P mg/dm<sup>3</sup>

O experimento, conduzido sob delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições, foi formado pelo fatorial 2x3+1, sendo duas fontes de adubo fosfatado (MAP e MAP revestido por Policote), três modos de aplicação do fósforo (i. Aplicação superficial com 30 dias de antecedência à semeadura, ii. Aplicação superficial imediatamente antes da semeadura e iii. Aplicação incorporada na camada de 1-2 cm de profundidade, na semeadura) e um tratamento adicional sem fósforo (**Tabela 2**).

**Tabela 2 –** Tratamentos

Trat	Fonte	Modos de Aplicação do Fósforo
1	-	-
2	MAP	Superficial, 30 dias antes da semeadura
3	MAP	Superficial, na semeadura
4	MAP	Incorporada, na semeadura
5	MAP+Policote	Superficial, 30 dias antes da semeadura
6	MAP+Policote	Superficial, na semeadura
7	MAP+Policote	Incorporada, na semeadura

MAP → 10% N, 54% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; MAP revestido por Policote → 10% N, 48% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

A unidade experimental foi formada por vaso com capacidade de 4,0 kg de solo. Foi realizada calagem do solo com a aplicação de calcário dolomítico (3,5 g/kg solo). Foi realizada a semeadura do milho híbrido AS 3421. Após a aplicação dos tratamentos, na dose de 700 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg de solo, a umidade da parcela experimental foi mantida a 70% da capacidade de campo sendo realizada por meio do fornecimento de água por capilaridade (colocando-se água na base dos vasos). Após a emergência das plantas foi realizado desbaste, deixando-se três plantas/parcela experimental, seguido de aplicação semanal de 50 mg N + 40 mg K<sub>2</sub>O + 2 mg Zn/vaso sobre a superfície da parcela experimental, utilizando ureia, KCl e sulfato de zinco, respectivamente, como fontes. Aos 40 dias após a emergência das plantas foram avaliados a produção de matéria seca, os teores e acúmulo de P na parte aérea e raiz. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias (Duncan, 5%). Os efeitos de fontes e de modos de aplicação de fósforo somente foram avaliados quando foi constatado efeito estatisticamente significativo do tratamento adicional (resposta à adubação fosfatada). Com os valores médios de tratamentos foram calculados índices de eficiência da adubação fosfatada, com as fontes avaliadas neste trabalho, utilizando as equações descritas por Fageria (2005):

Eficiência Agronômica

$$= \frac{(\text{MSP com Fósforo (g/vaso)} - \text{MSP sem Fósforo (g/vaso)})}{\text{Dose aplicada de Fósforo (2,8 g P/vaso)}}$$

EARP

$$= \frac{\text{Pacum com Fósforo (mg/vaso)} - \text{Pacum sem Fósforo (mg/vaso)}}{\text{Dose aplicada de Fósforo (2800 mg/vaso)}}$$

Legenda:

MSP – Matéria seca de planta

Pacum – Quantidade de fósforo acumulada na planta

Eficiência agronômica – g de Matéria Seca de Planta/mg de P

EARP (Eficiência aparente de recuperação de fósforo) – mg de P acumulado/mg de P adubado, expresso em %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produções de matéria seca, os teores e os acúmulos de fósforo na parte aérea e na raiz responderam significativamente à adubação fosfatada ( $p < 0,01$ ). A **tabela 3** ilustra os aumentos observados para estas variáveis.

A matéria seca de parte aérea não foi significativamente influenciada pelas fontes de fósforo, tampouco pelos modos de aplicação de fósforo, apresentando média entre estas variáveis de 31,58 g/pl.

**Tabela 3** – Produção de matéria seca de parte aérea e raiz (MSPA e MSR, respectivamente), teores de fósforo na parte aérea e raiz (TPPA e TPR, respectivamente) e acúmulos de fósforo na parte aérea e raiz (AcPpa e AcPr, respectivamente) em função da adubação fosfatada (ausência vs presença da adubação fosfatada).

	Controle	Adubação Fosfatada	Valor de F <sup>1/</sup>	CV (%)
MSPA (g/pl)	0,69	31,58	196,8**	15,01
MSR (g/pl)	0,37	16,05	123,33**	18,93
TPPA (g/kg)	0,76	2,27	273**	8,25
TPR (g/kg)	0,63	1,86	61,1**	17,30
AcPpa (mg/pl)	0,52	71,55	189**	15,56
AcPr (mg/pl)	0,23	30,52	94,6**	22,01

<sup>1/</sup>Tratamento adicional – comparação entre a ausência (Controle) e presença (média do fatorial 2x3) da adubação nitrogenada. \*\* significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

A matéria seca de raiz (MSR) foi significativamente influenciada pelas fontes ( $p < 0,05$ ) e pelos modos de aplicação do fósforo ( $p < 0,01$ ), havendo interação significativa entre fontes de fósforo e manejos de adubação ( $p < 0,01$ ). A **Tabela 4** ilustra o comportamento da MSR entre as fontes e modos de aplicação de fósforo. As maiores MSR foram observadas com a fonte MAP+Policote e com a aplicação superficial do fósforo aos 30 dias de antecedência à semeadura (DAS).

**Tabela 4** – Produção de matéria seca de raiz (MSR) (g/pl) em função das fontes e modos de aplicação do fósforo.

	MAP	MAP+Policote	Média
Superficial, 30 dias antes da semeadura	17,9 bA	26,3 aA	22,1A
Superficial, na semeadura	14,6 aAB	13,9 aB	14,2B
Incorporado, na semeadura	12,1 aB	11,1 aB	11,6B
Média	14,8b	17,1a	

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%).

O teor de fósforo na parte aérea (PPA) foi significativamente influenciado pelas fontes ( $p < 0,01$ ) e pelos modos de aplicação do fósforo ( $p < 0,01$ ), havendo interação significativa entre fontes e modos de aplicação de fósforo ( $p < 0,01$ ). Ao utilizar o MAP como fonte, a aplicação do fósforo superficialmente na semeadura apresentou os maiores PPA, enquanto que ao utilizar o MAP+Policote como fonte os PPA observados quando a aplicação de fósforo foi realizada na semeadura (independente se em superfície ou incorporado) foram superiores àquele observado quando a aplicação foi realizada aos 30 DAS (**Tabela 5**).

**Tabela 5** – Teor de fósforo (g/kg) na parte aérea das plantas, em função das fontes e modos de aplicação do fósforo.

	MAP	MAP+Policote	Média
Superficial, 30 dias antes da semeadura	1,93aB	2,07aB	2,00C
Superficial, na semeadura	2,60aA	2,53aA	2,56A
Incorporado, na semeadura	1,97bB	2,56aA	2,26B
Média	2,16b	2,38a	

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%).

Os teores de fósforo nas raízes (PR) foram significativamente influenciados pelas fontes ( $p < 0,05$ ) e modos de aplicação de fósforo ( $p < 0,01$ ), mas não houve interação estatisticamente significativa entre estas variáveis independentes. A **Tabela 6** ilustra as médias de PR observados entre as fontes e os modos de aplicação de fósforo. Nota-se que a aplicação superficial na semeadura resultou em maior PR, quando comparada aos outros modos de aplicação de fósforo. Entre as fontes de fósforo, o MAP revestido com Policote resultou em maiores PR.

**Tabela 6** – Teor de fósforo na raiz das plantas (PR), em função das fontes e modos de aplicação do fósforo.

	PR (g/kg)	PR (g/kg)
Superficial, 30 dias antes da semeadura	1,85b	MAP 1,69b
Superficial, na semeadura	2,30a	MAP+Policote 2,03a
Incorporado, na semeadura	1,42c	

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%).

O acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas (AcPpa) somente foi influenciado pelos modos de aplicação de fósforo ( $p < 0,01$ ). A **Tabela 7** ilustra as médias de AcPpa observado entre os modos de aplicação de fósforo, onde nota-se que a aplicação superficial do fósforo na semeadura resultou em maiores AcPpa.

O acúmulo de fósforo nas raízes (AcPr) foi significativamente influenciado pelas fontes ( $p < 0,01$ ) e formas de aplicação ( $p < 0,01$ ) de fósforo, havendo interação significativa entre estas variáveis independentes ( $p < 0,01$ ). A **Tabela 8** ilustra os resultados observados de AcPr entre as fontes e os modos de aplicação de fósforo, onde nota-se que os maiores AcPr foram observados ao utilizar MAP revestido com Policote, aplicado superficialmente aos 30 DAS.

**Tabela 7** – Acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas (AcPpa), em função de modos de aplicação do fósforo.

	AcPpa (mg/pl)
Superficial, 30 dias antes da semeadura	65,90b
Superficial, na semeadura	84,85a
Incorporado, na semeadura	63,91b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%).

**Tabela 8** – Acúmulo de fósforo (mg/pl) na raiz das plantas, em função das fontes e modos de aplicação do fósforo.

	MAP	MAP+Policote	Média
Superficial, 30 dias antes da semeadura	28,57bA	55,70 aA	42,13A
Superficial, na semeadura	32,69aA	32,81aB	32,75B
Incorporado, na semeadura	15,18aB	18,21aC	16,69C
Média	25,48b	35,57a	

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%).

As **Tabelas 9 e 10** ilustram os índices de eficiência agrônômica da adubação fosfatada (IEAP) e de Eficiência Aparente de Recuperação de Fósforo, onde nota-se que os maiores valores foram observados com a aplicação do MAP revestido por Policote superficialmente aos 30 DAS. Os baixos índices de Eficiência Aparente de Recuperação de Fósforo são, em parte, devido à natural baixa eficiência da adubação fosfatada e ao fato de que as plantas não completaram seu ciclo biológico, pois as mesmas foram colhidas aos 40 dias após a emergência.

**Tabela 9** – Índices de eficiência agrônômica da adubação fosfatada (IEAP) para as fontes e modos de aplicação de fósforo.

IEAP (g matéria seca de planta/mg P)	MAP	MAP+Policote	Média
Superficial, 30 dias antes da semeadura	52,09	64,09	58,09
Superficial, na semeadura	47,79	51,25	49,52
Incorporado, na semeadura	45,77	38,62	42,19
Média	48,55	51,32	

A aplicação superficial do fósforo apresentou, de modo geral, melhores resultados do que quando incorporado na camada de solo de 1 – 2 cm de profundidade. Os piores resultados de MSR, PR, AcPpa, AcPr, IEAP e Ef.Ap.Rec.P, observados quando o fósforo foi incorporado, possivelmente são explicados pelo fato que neste modo de aplicação, proporciona-se maior superfície de contato entre os íons de fosfato e os colóides do solo, reduzindo a disponibilidade de fósforo às plantas, devido à ação dos mecanismos que causam a retenção de fósforo



no solo. Também ressalta-se que durante a condução do experimento não ocorreu déficit hídrico, o que poderia comprometer o desenvolvimento de plantas sob condições de desenvolvimento superficial de raízes, comum de se observar em situações de aplicação superficial de fósforo (Kochhann et al., 1999).

**Tabela 10** – Índices de eficiência aparente de recuperação de fósforo (Ef.Ap.Rec.P) em função das fontes e modos de aplicação de fósforo.

Ef.Ap.Rec.P	MAP	MAP+Policote	Média
Superficial, 30 dias antes da semeadura	9,50%	13,49%	11,49%
Superficial, na semeadura	12,14%	12,90%	12,52%
Incorporado, na semeadura	8,24%	8,87%	8,56%
Média	9,96%	11,75%	

Embora a aplicação do MAP incorporado na semeadura tenha resultado em maior IEAP, a utilização do MAP revestido com Policote neste modo de aplicação resultou em maiores teores de fósforo na parte aérea e nas raízes e maior Eficiência Aparente de Recuperação de Fósforo quando comparado ao MAP.

## CONCLUSÕES

As produções de matéria seca, os teores e os acúmulos de fósforo na parte aérea e na raiz responderam significativamente à adubação fosfatada.

A matéria seca de parte aérea não foi significativamente influenciada pelas fontes de fósforo, tampouco pelos modos de aplicação de fósforo. A matéria seca de raiz, os teores de fósforo na parte aérea e nas raízes e o acúmulo de fósforo nas raízes foram significativamente influenciados pelas fontes e pelos modos de aplicação do fósforo. O acúmulo de fósforo na parte aérea somente foi influenciado pelos modos de aplicação do fósforo.

A maior produção de matéria seca de raiz, teor de fósforo na parte aérea e raiz foi observada com a fonte MAP+Policote.

O MAP revestido com Policote apresentou maiores índices de eficiência agrônômica da adubação fosfatada e de eficiência aparente de recuperação de fósforo que o MAP.

## REFERÊNCIAS

FAGERIA N. K. Soil fertility and plant nutrition research under controlled conditions: basic principles and methodology. Journal of plant nutrition, 28: 1975 – 1999. 2005.

LEITE, P. B.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; GUARÇONI M., A.; ZANÃO JR, L. A. Níveis críticos de fósforo, para eucalipto, Em casa de vegetação, em função da sua Localização no solo. Revista Brasileira de Ciências de Solo, 33:1311-1322, 2009.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. & FAGANELLO, A. Adubação profunda no sistema plantio direto. In: FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO. Resumos de palestras do III Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto. Passo Fundo, RS. 1999. p.67-69.