

Disponibilidade de fósforo para plantas de milho cultivadas com fertilizante organomineral e fosfato monoamônico

MARIA DO CARMO LANA¹; LEANDRO RAMPIM^{1*}; LOIVO ROGÉRIO SCHULZ¹; JOÃO EDSON KAEFER²; MICHELE A. HARTMANN-SCHMIDT³; VIVIANE RUPPENTHAL⁴

¹Docente, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Rua Pernambuco 1777, Caixa Postal 91, CEP 85.960-000, Marechal Cândido Rondon/PR. E-mail: rampimleandro@yahoo.com.br. *Autor para correspondência

²Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, campus Toledo, Avenida da União 500, Jardim Coopagro, CEP 59020-532, Toledo/PR

³Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR, Estação Experimental de Santa Helena, Linha Santa Helena Velha, Caixa Postal 15, CEP 85892-000, Santa Helena/PR

⁴Universidade Federal do Ceará - UFC, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Av. Mister Hull s/n, Bloco 805, Campus do Pici, CEP 60021-970, Fortaleza/CE

RESUMO

Fertilizantes organominerais podem incrementar o teor de nutrientes do solo e também podem aumentar a eficiência dos fertilizantes minerais. Desta forma, o trabalho teve como objetivo avaliar a disponibilidade de fósforo (P) do fertilizante organomineral Umstart em comparação com fosfato monoamônico para plantas de milho. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação com delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições e com arranjo fatorial 5x2x2. Os tratamentos foram cinco doses de P (0, 75, 150, 225 e 300 mg dm⁻³), duas fontes (Umstart e MAP- fosfato monoamônico) e dois solos, argiloso (LVef) e arenoso (PVd). Aos 30 dias após semeadura, avaliou-se a produção de matéria seca da parte aérea e raízes, além dos teores de N, P e K na parte aérea e teores P e K no solo. No solo argiloso, a produção de matéria seca de raiz foi maior quando adubado com o Umstart em comparação com o MAP. Doses superiores a 200 mg dm⁻³ de P não resultaram em incremento da matéria seca da parte aérea para ambas as fontes. A disponibilidade de P do Umstart foi menor em solo argiloso.

Palavras-chave: adsorção de fósforo, MAP, *Zea mays* L., Umstart.

ABSTRACT

Phosphorus availability in plants of corn grown with monoammonium phosphate and biofertilizer

Biofertilizer can increase the nutrient content of soil and can also increase the efficiency of mineral fertilizers. Thus, this work have the objective to evaluate the availability of phosphorus (P) with the use of biofertilizer Umstart compared with monoammonium phosphate in plants of corn. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design with four replications and a factorial arrangement 5x2x2, testing five P rates (0, 75, 150, 225 and 300 mg dm⁻³), two sources (Umstart and monoammonium phosphate, MAP) and two soils, loamy (LVef) and sandy (PVd). At 30 days after sowing were evaluated mass production, levels of N, P and K in shoot and P and K contents in the soil. In loamy soil, fertilizer Umstart in relation to MAP, produced higher root dry mass. Above 200 mg P dm⁻³ there was no response in mass dry weight of shoots for both sources. The availability of P with Umstart is slower than the MAP in loamy soil.

Keywords: adsorption of phosphorus, MAP, *Zea mays* L., Umstart.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura de milho ocupa o segundo lugar em área entre as culturas graníferas. Na safra 2011/2012, a área cultivada com milho foi de 13,80 milhões de hectares com produção de 67,78 milhões de toneladas, oriundo de 34,87 milhões de toneladas produzidas na primeira safra e 32,91 milhões de toneladas esperadas para a segunda safra, atingindo produtividade média de 4.486 kg ha⁻¹ (CONAB, 2012).

Com relação à exigência nutricional do milho, Fornasieri Filho (1992) verificou que a exportação de nutrientes pela cultura para cada 1.000 kg de grãos é de 16,45 kg de nitrogênio (N), 3,97 kg de fósforo (P) e 5,1 kg de potássio (K). De modo que há crescente demanda por insumos para manter o crescimento em produtividade das culturas com a finalidade de suprir a demanda mundial de produtos agrícolas, visto que, tanto o esgotamento de solos cultivados sem reposição de nutrientes quanto à exploração dos solos de baixa fertilidade necessita de adubações frequentes para fornecer N, P e K (RAIJ, 1991).

Em relação à adubação fosfatada no Brasil, Lopes (1984) relata problemas relacionados às fontes e a eficiência no uso do P e, na década de 90, segundo Mengel (1997), estimava-se que as jazidas de fosfatos naturais conhecidas no mundo durariam por aproximadamente mais quatro séculos. De acordo com Quevedo & Paganini (2011) e Resende & Furtini Neto (2007), a velocidade de exploração de fosfato pode proporcionar um colapso nas fontes disponíveis e conhecidas, com impactos econômicos, sociais e ambientais graves e irreversíveis. No Brasil, os adubos fosfatados mais utilizados são as fontes de fosfatos solúveis como o fosfato monoamônico, termofosfatos, multifosfatos, fosfatos naturais e também os fertilizantes fosfatados parcialmente acidulados (NOVAIS et al., 2007).

As características de solubilidade das fontes de P são de grande importância em relação à sua eficiência. Os fosfatos de maior solubilidade são mais prontamente disponíveis e favorecem a absorção e o aproveitamento do nutriente, principalmente pelas culturas de ciclo curto. No entanto, essa rápida liberação do P pode favorecer também o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis pelos componentes do solo, originando compostos fosfatados de baixa solubilidade e indisponibilizando o nutriente para as plantas, sendo, tal fenômeno, tanto mais expressivo quanto maior o teor de argila no solo. Dessa maneira, os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizariam os processos de fixação e poderiam favorecer maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Silva et al. (2011) verificaram que aplicações de superfosfato triplo, biofertilizante de rocha fosfatada e rocha fosfatada apresentaram resultados semelhantes quanto à produção de matéria seca de meloeiro irrigado. Por outro lado, Frandoloso et al. (2010) verificaram que, na cultura do milho, o S elementar incrementou em 20% a eficiência agrônômica do fosfato natural. Estudando fontes alternativas e a otimização das fontes disponíveis de P, Caires et al. (2011) demonstraram a possibilidade da utilização de gesso para proporcionar aumento na disponibilidade do nutriente no solo com incremento de produtividade nas culturas de milho e soja.

Contudo, a escolha destas fontes deve estar atrelada a eficiência em suprir P para as plantas e a relação custo:benefício (GOEDERT et al., 1985), de forma que o emprego de produtos de origem orgânica podem ter diversas vantagens em alterar positivamente os atributos químicos do solo (RODRIGUES et al., 2012). Assim, a mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos resulta nos fertilizantes organominerais, os quais apresentam a finalidade de aumentar o teor de nutrientes dos solos e também aumentar a eficiência dos fertilizantes minerais (KIEHL, 1999). Neste sentido, tem-se realizado diversos trabalhos para avaliar as implicações dos fertilizantes organominerais na produtividade das culturas (PRATISSOLI et al., 2007; ALMEIDA et al., 2008; CASTOLDI et al., 2011), de forma que, recentemente, Ambiel & Viana (2012) encontraram superioridade no número de vagens e produtividade de soja com a adubação organomineral ao compararem com a adubação mineral.

De acordo com a Sipcam Agro (2003), o Umostart super Zn é um fertilizante organomineral microgranulado, acondicionado em matriz orgânica, que eleva os teores de fósforo na solução do solo. Os ácidos húmicos presentes na formulação protegem o fósforo da competição por reações de precipitação e adsorção, disponibilizando-o às plantas mais eficientemente. Entretanto, no Brasil, poucos estudos foram realizados para avaliar o seu efeito na cultura do milho, sobretudo no Estado do Paraná.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de fósforo (P) do fertilizante organomineral Umostart em comparação com fosfato monoamônico (MAP) na cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em outubro de 2010, em casa de vegetação, na UNIOESTE, campus de Marechal Cândido Rondon, Paraná, com as seguintes coordenadas geográficas: 24° 33' 39" S e 54° 02' 44" W.

Na implantação do experimento, foram utilizadas duas classes de solo, sendo o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVD), proveniente da cidade de Umuarama/PR e um Latossolo Vermelho Eutroférrico típico (LVef), proveniente de Marechal Cândido Rondon/PR (EMBRAPA, 2006).

Preliminarmente à implantação do experimento, foram realizadas análises para avaliar as características químicas e granulométricas dos solos, sendo que o LVef apresentou: argila 800 g kg⁻¹; silte 160 g kg⁻¹; areia 40 g kg⁻¹; MO 49,6 g dm⁻³; pH CaCl₂ 5,56; P_{Mehlich-1} 5,55 mg dm⁻³; K 0,39 cmol_c dm⁻³; Ca 10,6 cmol_c dm⁻³; Mg 2,55 cmol_c dm⁻³; Al 0 cmol_c dm⁻³; H+Al 5,36 cmol_c dm⁻³; SB 13,54 cmol_c dm⁻³; CTC 18,90 cmol_c dm⁻³ e V 72%; e o PVD: argila 140 g kg⁻¹; silte 50 g kg⁻¹; areia 810 g kg⁻¹; MO 0,67 g dm⁻³; pH CaCl₂ 4,59; P_{Mehlich-1} 0,39 mg dm⁻³; K 0,01 cmol_c dm⁻³; Ca 2,0 cmol_c dm⁻³; Mg 0,12 cmol_c dm⁻³; Al 0 cmol_c dm⁻³; H+Al 2,74 cmol_c dm⁻³; SB 2,13 cmol_c dm⁻³; CTC 4,87 cmol_c dm⁻³ e V 44%. Os solos coletados foram secos em estufa, peneirados e acondicionados em vasos de polietileno com capacidade de 2,00 dm³, os quais representavam a unidade experimental do presente experimento.

Para o PVD foi necessário o equivalente a 400 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 70%) para elevar a saturação por bases a 50%. Neste caso foi utilizada uma mistura de carbonato de cálcio e de magnésio p.a. na relação molar de 3:1, em seguida as amostras de solo foram umedecidas até atingir a capacidade de campo e incubadas por 15 dias.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial 5x2x2, constituídos dos tratamentos: cinco doses de P (0, 75, 150, 225 e 300 mg dm⁻³), duas fontes de P: Umostart (46% de P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio e 11% de N) e fosfato monoamônico – MAP (48% de P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio e 9% de N) e dois tipos de solos com textura diferente (PVD e LVef), totalizando 20 tratamentos. O Umostart é um fertilizante organomineral microgranulado, com formulação apresentando diâmetro de grânulos de 0,5 mm, enriquecidos com substância húmica natural derivada da leonardita, a qual forma oxidizada de carvão lignito ou linhito (JÚNIOR et al., 2001).

Em função do adubo Umostart apresentar 2% de Zn e diferente concentração de N quando comparado ao MAP, as doses de Zn e de N foram niveladas para todos os tratamentos de acordo com a quantidade a ser fornecida para a maior dose de P, acrescentando-se também 76 mg dm⁻³ de K em todos os tratamentos. Desta maneira, utilizaram-se o sulfato de zinco, uréia e cloreto de potássio, respectivamente, como fontes.

A semeadura foi realizada manualmente, distribuindo-se cinco sementes de milho do híbrido AG 9010 da Agrocere em cada vaso. Cinco dias após a emergência, foi feito o desbaste, deixando apenas três plantas em cada vaso. Os tratamentos com adubação, anteriormente descritos, foram incorporados em todo o volume de solo antes da semeadura. Vinte dias após a semeadura, foi aplicado em cobertura uma solução contendo 25 mg dm⁻³ de N fornecido como

uréia. Durante a condução do experimento, a umidade do solo foi mantida na capacidade de campo.

A coleta de dados foi realizada 30 dias após semeadura. Primeiramente, as plantas foram cortadas rente ao solo, procedendo-se em seguida à retirada e a lavagem do sistema radicular. Para estimar a produção da matéria seca, a parte aérea e o sistema radicular foram colocados para secar em estufa de circulação forçada por 72 horas, a 65 °C. Posteriormente, uma amostra de 0,2 g da parte aérea foi submetida à digestão sulfúrica para determinação dos teores de N, P e K (EMBRAPA, 1999). Também foram coletadas amostras de solo de cada vaso, sendo realizada na profundidade de 0-5 cm com cilindros volumétricos de 100 cm², para a determinação dos teores de P e K disponíveis (EMBRAPA, 1999).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão utilizando o programa SAEG 8.0 (SAEG, 1999). Os modelos que melhor se ajustaram aos dados de P foram escolhidos com base na significância pelo teste F, considerando os níveis de 5 e 1% de probabilidade e no maior valor do coeficiente de determinação. Para as fontes de adubação fosfatada e tipos de solo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, ressalta-se que a interação tripla entre tipo de solo x tipo de adubo x doses de P e as características avaliadas (matéria seca de parte aérea e raiz, teor de P na folha e no solo, teor de K e N na folha) não foram significativas.

A produção de matéria seca da parte aérea e raízes apresentou interação significativa entre fonte de P e tipo de solo, demonstrando que os solos apresentaram respostas diferentes às fontes de P (Tabela 1). Para o solo argiloso (LVef), não houve diferença significativa entre as fontes de fósforo para a produção de matéria seca da parte aérea. Por outro lado, a menor produção de matéria seca de parte aérea foi obtida no PVd pela fonte Umohart; não obstante, neste solo obteve-se, com aplicação do MAP, maior valor para esta variável.

A menor produção de matéria seca da parte aérea no PVd (arenoso) com o uso do Umohart pode ser devido à liberação lenta de nutrientes por este fertilizante organomineral. Além disso, este solo apresenta menores teores de nutrientes e, desta forma, os teores no solo não foram suficientes para desenvolvimento adequado da parte aérea com este fertilizante. No entanto, o MAP foi capaz de atender à demanda da planta devido a maior eficiência em relação ao Umohart, proporcionando maior produção de massa seca da parte aérea, explicado pela alta solubilidade do MAP.

TABELA 1. Produção de matéria seca da parte aérea e raiz em função da aplicação de fontes de fósforo em solo argiloso (LVef) e arenoso (PVd).

Solo	g/planta		Média
	Umohart	MAP	
Parte aérea			
LVef	2,98 A a	2,84 A a	2,91
PVd	2,57 B b	3,06 A a	2,81
Média	2,77	2,95	2,86
Raiz			
LVef	1,33 A a	0,91 B b	1,12
PVd	1,09 A a	1,15 A a	1,12
Média	1,21	1,03	1,12

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No solo arenoso (PVd), os resultados observados para as duas fontes de fósforo foram semelhantes na matéria seca de raiz. Entretanto, foi observado maior produção de matéria seca

da raiz do milho no solo argiloso (LVef) com o uso do fertilizante organomineral Umostart (Tabela 1). Este resultado evidencia que a associação de fertilizantes orgânicos e minerais pode aumentar a eficiência da parte mineral do fertilizante, conforme vem sendo mencionado na literatura (KIEHL, 1999; NOVAIS et al., 2007). Da mesma forma, Teixeira et al. (2011) verificaram que o fertilizante organomineral 5-15-5 (obtido a partir de resíduo orgânico da Usina Jalles Machado S/A, em Goianésia, GO) proporcionou 20% de aumento na produção de matéria seca do milho em relação a adubação mineral 10-30-10.

De forma semelhante, Scaramuzza et al. (2011) verificaram que as maiores produtividades de matéria verde e matéria seca na cultura da soja foram obtidas com o uso de fertilizante organomineral (base farinha de ossos) quando comparado à superfosfato simples, superfosfato triplo e o formulado 0-20-20, com destaque em solo de textura argilosa.

O MAP, por ser um fertilizante de rápida disponibilidade, pode aumentar o grau de salinidade próximo às raízes e assim afetar a produção de matéria seca de raiz no LVef que apresenta teor mais elevado de P no solo, prejudicando o desenvolvimento de raízes. A atuação diferenciada de fontes de fósforo em solos distintos também foi verificada por Correa et al. (2008) ao avaliarem a disponibilidade e os níveis críticos de fósforo para plantas de milho em dois solos (Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo), nos quais foi constatado que o superfosfato triplo proporcionou elevação dos teores de fósforo na matéria seca da parte aérea, além de ter sido mais eficiente que o fosfato de Gafsa na produção de matéria seca no Latossolo Amarelo.

Para a produção de matéria seca da parte aérea, observa-se que houve interação significativa ($p < 0,05$) apenas entre as doses e fontes de P utilizadas (Figura 1A). O resultado de produção de matéria seca da parte aérea foi semelhante para as duas fontes, verificando-se ajuste ao modelo quadrático para ambas as fontes, com incremento desta variável até a dose de 204 mg dm^{-3} de Umostart, obtendo o máximo de 4,02 g.planta⁻¹ de matéria seca, enquanto que para o MAP foi de 4,15 g planta⁻¹ com a dose de 210 mg dm^{-3} .

No solo argiloso, o uso do Umostart proporcionou incremento da produção de matéria seca de raiz até a dose de 255,3 mg dm^{-3} , obtendo-se a produção máxima de 1,76 g por planta (Figura 1B). Para o MAP, o resultado obtido para matéria seca de raiz foi menor, atingindo o ponto de máximo de 1,14 g por planta com a dose de 185 mg dm^{-3} . Em trabalho realizado por Barreto & Fernandes (2002), foi detectado que a utilização de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo aplicados a lanço resultou em maior acúmulo de matéria seca radicular e em melhor distribuição das raízes de milho.

Para o solo arenoso, o incremento de matéria seca de raiz ocorreu até a dose de 170 mg dm^{-3} de P com aplicação de Umostart atingindo produção máxima de 1,71 g planta⁻¹. Para o MAP, a dose que proporcionou a produção máxima de 1,73 g planta⁻¹ foi 186 mg dm^{-3} de P; portanto, foram obtidos valores semelhantes para este solo.

As diferenças na produção de matéria seca da parte aérea e raiz podem estar relacionadas ao diferente comportamento das fontes em cada solo em relação às características químicas e físicas, pois segundo Machado et al. (2011), a disponibilidade de P pode ser influenciada pela textura, dose do fertilizante fosfatado e pelo tempo de contato como solo. De maneira geral, quanto maior o teor de argila presente no solo, maior a adsorção do P e menor sua disponibilidade e, quanto maior o tempo que o P permanecer no solo, menor será sua disponibilidade. Contudo, em função do Umostart ser um produto organomineral, os ácidos húmicos de sua parte orgânica podem ter proporcionado menor adsorção de P ao solo (Sipcam Agro, 2003) e, portanto, maior produção da matéria seca de raiz no solo argiloso (Figura 1B). No entanto, o comportamento das doses e fontes de P no solo arenoso foi semelhante (Figura 1C).

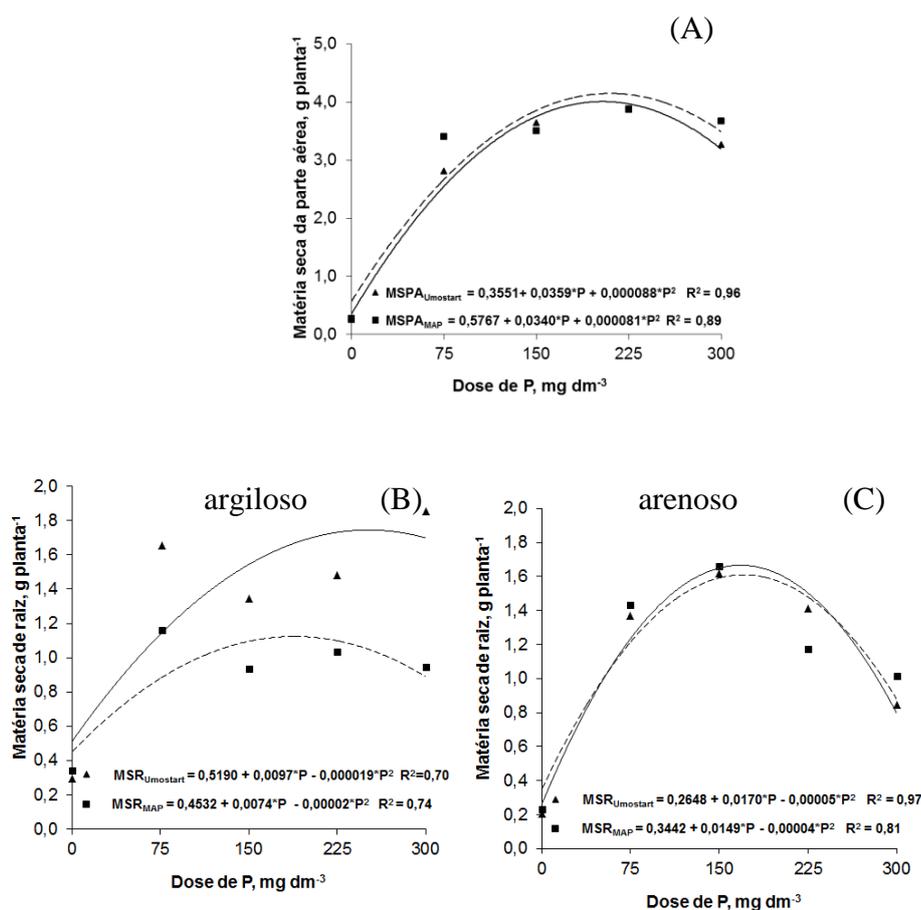


FIGURA 1 - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) (A) e produção de matéria seca de raiz (MSR) para o solo argiloso (LVef) (B) e arenoso (PVd) (C) em função das doses de fósforo e em relação às fontes Umstart e MAP.

Foi verificada interação significativa apenas entre fontes de P e tipos de solo para o teor de P, indicando que as fontes de P apresentam disponibilidade diferente de acordo com a textura do solo. Contudo, ambos fertilizantes mostraram-se eficientes na liberação gradativa de P para a solução do solo (Figura 2B e 2C), refletindo em aumento do teor de P na parte aérea para ambos os solos (Figura 2A).

Com relação à fonte Umstart, as doses de P proporcionaram efeito linear crescente para o teor de P disponível para o solo argiloso (Figura 2B) e quadrático para o solo arenoso (Figura 2C). Isto se deve ao fato de que a demanda de P nas adubações depende da textura do solo, uma vez que o tamponamento, diretamente relacionado ao teor de argila, vai modular a fração de P que permanece disponível para a planta. Assim, comparativamente com os solos arenosos, os solos argilosos requerem quantidades mais elevadas de fosfato para atender à demanda de uma dada cultura (NOVAIS & SMYTH, 1999; SOUSA et al., 2004).

Como o Umstart apresenta menor solubilidade quando comparado ao MAP, para que haja solubilização é necessário que as forças de dreno de P favoreçam a solubilização assim como a própria adsorção de P, fato relatado por Novais & Smith (1999), que no caso do solo arenoso é menos acentuada, reduzindo a solubilização desta fonte e consequentemente apresentando comportamento quadrático (Figura 2C).

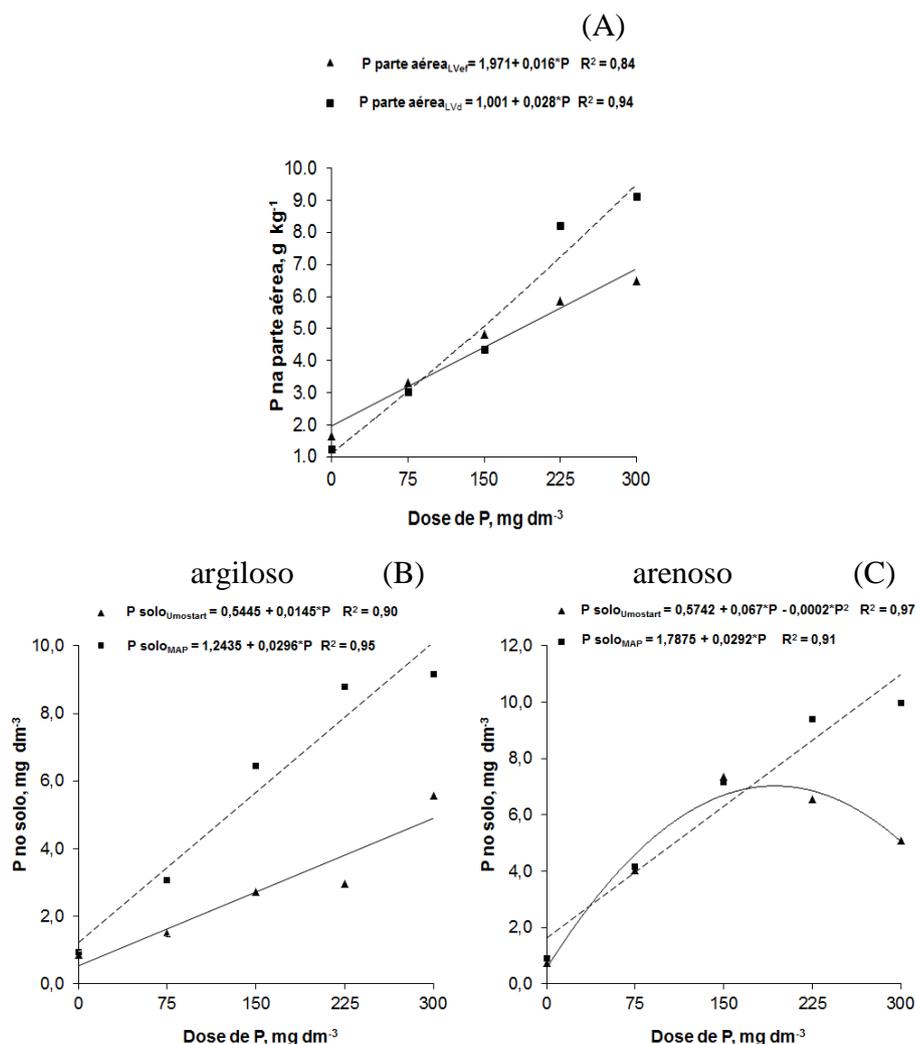


FIGURA 2 - Teor de fósforo da parte aérea de plantas de milho (A), teor de fósforo em solo argiloso (L_{Ve}f) (B) e arenoso (P_Vd) (C) em função das doses de fósforo e em relação às fontes Umstart e MAP.

O MAP apresentou maior liberação de P no solo, indicando ser uma fonte de maior solubilidade que o Umstart, no período estudado de 30 dias após a aplicação dos fertilizantes (Figura 2B e 2C). Fontes de P de alta solubilidade não são desejáveis em condições de solo muito argiloso, em função de maior intensidade de reações de adsorção (VALLADARES et al., 2003; RESENDE et al., 2007), pois os óxidos de ferro e alumínio nestes solos apresentam cargas elétricas positivas, responsáveis pela adsorção de ânions, adsorvendo P (RAIJ, 2008). Desta maneira, em trabalho conduzido em vasos por Bastos et al. (2006) e Bastos et al. (2010), foi demonstrada a possibilidade de utilizar o P-rem, correlacionando com a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) para recomendar adubação para a cultura de milho, pois no solo Neossolo Flúvico com a dose de 406,5 mg dm⁻³ de P correspondente a 30% da CMAP, proporcionou maior teor foliar de P.

O teor de P na parte aérea em função das doses aplicadas, para as diferentes fontes, apresentou efeito linear (Figura 2A). Entretanto, a máxima produção de matéria seca da parte aérea ocorreu, para ambos os fertilizantes, em torno de 200 mg dm⁻³ de P (Figura 1A). A partir da dose de 80 mg dm⁻³ de P, o solo arenoso apresentou maior teor de P na parte aérea do que o solo argiloso. Tal fato, segundo Marschner & Wilczynski (1991), está relacionado ao direcionamento de P ao vacúolo quando este elemento encontra-se mais disponível, enquanto que, em baixa concentração é metabolizado em compostos orgânicos.

No solo argiloso, apesar da fonte Umoplast proporcionar menor teor de P disponível no solo e menor teor de P para a planta quando comparado ao MAP (Tabela 2), os resultados mostram que não há diferença entre estas fontes na produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 1). No solo arenoso, não houve diferença entre as fontes para o teor de P na parte aérea, mesmo com a concentração de P no solo sendo menor para o Umoplast (Tabela 2), indicando que pode ser um fertilizante de liberação mais lenta do que o MAP. Os resultados estão de acordo com Sousa et al. (2011), os quais verificaram maior eficiência do fertilizante organomineral com liberação lenta de nutrientes e consequentemente reduzindo as perdas. Estes autores observaram que a adubação com fertilizante organomineral superou a adubação mineral na cultura do milho, proporcionando incremento na produtividade com a aplicação de 288 kg ha⁻¹ de fertilizante organomineral 7-18-00 e aplicação de 400 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral 13-33-00. Desta forma, para recomendar a utilização de fertilizantes organomineral é necessário conhecer seu comportamento no solo, assim como as curvas de respostas.

TABELA 2. Teor de fósforo na parte aérea de plantas de milho e concentração de fósforo no solo em função de fontes de fósforo para o solo argiloso (LVef) e arenoso (PVd).

Solo	Fonte		Média
	Umoplast	MAP	
P na parte aérea			
----- g kg ⁻¹ -----			
LVef	3,80 B b	5,04 A a	4,42
PVd	5,06 A a	5,33 A a	5,19
Média	4,43	5,18	
P no solo			
----- mg dm ⁻³ -----			
LVef	2,72 B b	5,68 A a	4,20
PVd	4,76 B a	6,16 A a	5,46
Média	3,74	5,92	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de P no solo e no tecido foliar foi maior com o uso de MAP no solo argiloso quando comparado ao Umoplast, demonstrando a interação significativa entre P no solo e no tecido foliar e tipos de solo (Tabela 2). Tal fato também pode estar relacionado à maior solubilidade e rápida disponibilidade de P pelo emprego desse fertilizante, o qual reduz o fluxo difusivo ao longo do tempo. Em trabalho realizado por Machado et al. (2011) com o uso de MAP, foi verificado que a disponibilidade de P diminui ao longo do tempo, sendo mais pronunciado em solos de textura argilosa devido a sua maior adsorção de P, principalmente devido aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (COSTA et al., 2009). Resultados semelhantes foram observados por Costa et al. (2006) e Silva et al. (2008) ao observarem incremento do fluxo difusivo com a diminuição do teor de argila dos solos, explicado pela maior capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) dos solos argilosos. Contudo, o fertilizante organomineral Umoplast proporcionou os menores teores de P no solo, de maneira que se destaca pela possibilidade de manter o fluxo difusivo de P durante maior período de tempo quando comparado ao MAP, ou seja, no momento da análise do P no solo, o nutriente oriundo do Umoplast não havia sido disponibilizado com tanta intensidade como o MAP.

Com relação ao teor de K disponível no solo, foi observada redução do teor para os dois solos à medida que aumentou as doses de P, de forma que a equação de regressão para o comportamento do K em cmol_c dm⁻³ no solo com a aplicação das doses de P é a seguinte: para o LVef ($K_{\text{argiloso}} = 0,2712 - 0,0014 * P + 0,000003 * P^2$ com $R^2 = 0,93$) e para o PVd ($K_{\text{arenoso}} = 0,2208 - 0,0011 * P + 0,000003 * P^2$ com $R^2 = 0,68$). A partir da dose de 200 kg ha⁻¹ de P, há tendência de redução na produção de matéria da parte aérea (Figura 1A), visto que o acúmulo de

K diminui, atingindo teores mínimos de K disponíveis no solo, fato observado com a aplicação de 233 mg dm^{-3} de P para o solo argiloso e 183 mg dm^{-3} de P para o solo arenoso.

O teor de K da parte aérea foi reduzido com o incremento das doses de P tanto para o solo argiloso como para o solo arenoso. A equação de regressão para o comportamento do K (g.kg^{-1} na parte aérea) com a aplicação das doses de P é a seguinte: para o L_{Vef} $K_{\text{Umostart}} = 41,0993 - 0,3043*P + 0,00075*P^2$ com $R^2 = 0,93$ para o Umostart e $K_{\text{MAP}} = 40,0057 - 0,2339*P + 0,0006*P^2$ com $R^2 = 0,88$ para o MAP e para o L_{Vd} $K_{\text{Umostart}} = 36,4843 - 0,2844*P + 0,00072*P^2$ com $R^2 = 0,82$ para o Umostart e $K_{\text{MAP}} = 38,545 - 0,3213*P + 0,0008*P^2$ com $R^2 = 0,82$ para o MAP. Este decréscimo no teor de K provavelmente ocorreu em virtude de efeito de diluição, visto que a adubação com P proporcionou incremento na produção de matéria seca da parte aérea (Figura 1A), resultando em menor teor de K na parte aérea da cultura de milho.

Para o teor de N na parte aérea, houve interação significativa entre o tipo de solo e doses de P, ou seja, em função das doses os resultados observados nos solos foram diferentes quanto ao teor de N. Assim, a equação de regressão para o comportamento do N em g kg^{-1} na parte aérea com a aplicação das doses de P no L_{Vef} foi o seguinte: N foliar $_{\text{Umostart}} = 24,1714 + 0,096*P - 0,000174*P^2$ com $R^2 = 0,77$ para o Umostart e não apresentou efeito em função das doses de P para o MAP com teor médio de $32,72 \text{ g kg}^{-1}$. Para o P_{Vd} foi possível ajustar as seguintes equações: N foliar $_{\text{Umostart}} = 27,6805 + 0,1211*P - 0,0009*P^2$ com $R^2 = 0,72$ para o Umostart e N foliar $_{\text{MAP}} = 27,1125 + 0,489*P$ com $R^2 = 0,82$ para o MAP, o que provavelmente está relacionado com a alta solubilidade desta fonte. No solo argiloso (L_{Vef}), houve aumento do teor de N até a dose 276 mg dm^{-3} de P com aplicação do Umostart, visto que neste solo a CTC é maior proporcionando condições para menores perdas de N por lixiviação. Novais & Smyth (1999) também constataram que o incremento do P disponível no solo aumentou a absorção de N por plantas de milho.

O teor de N na parte aérea foi inferior com aplicação do Umostart, indicando menor liberação de N e que o fertilizante organomineral libera mais lentamente os nutrientes (KIEHL et al., 1999). Esse fato demonstra a utilização da parte mineral no fertilizante organomineral, pois aumenta a eficiência desta fonte, principalmente no caso do N.

Ao analisar o cultivo de milho, observa-se o dinamismo existente neste sistema de produção, de forma que a geração de informações é necessária na busca do manejo de adubação mais próximo do ideal, pela qual, segundo Resende & Furtini Neto (2007), a maximização da eficiência de uso de nutrientes nos sistemas agrícolas é obtida minimizando-se as quantidades do nutriente requeridas para manter um nível economicamente ótimo de fertilidade do solo e que a eficiência definitiva é alcançada em sistemas em que a quantidade do nutriente demandada na adubação de manutenção seja igual à quantidade exportada com as colheitas.

Não obstante, a dose para atingir o máximo de resposta para cada variável, difere para a utilização de MAP e Umostart, a qual pode ser atingida com dose maior ou menor, dependendo da composição de cada fertilizante organomineral.

CONCLUSÕES

A produção de matéria seca de raiz da cultura de milho é superior em solo argiloso adubado com o Umostart em comparação ao MAP.

A resposta na produção de matéria seca da parte aérea na cultura do milho independe da fonte Umostart ou MAP.

O adubo organomineral Umostart na cultura de milho apresenta menor disponibilidade de P em solo argiloso ao comparar com o MAP, e comportamento semelhante em solo arenoso.

O máximo de resposta da cultura de milho pode ser atingido com dose maior ou menor, dependendo da composição de cada fertilizante organomineral.

AGRADECIMENTOS

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná (FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA), pela concessão de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G.D.; PRATISSOLI, A.M.H.; VICENTINI, V.B. Fertilizante organomineral como indutor de resistência contra a colonização da mosca branca no feijoeiro. **Idesia**, Chile, v.26, n.1, p.29-32, 2008.

AMBIEL, J.C.; VIANA, O.H. Variações na produção da cultura da soja em relação à adubação mineral e organomineral. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 5, n. 1, p. 146-157, 2012.

BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v.26, p.151-156, 2002.

BASTOS, A.L.; COSTA, J.P.V.; SILVA, I.F.; RAPOSO, R.W.C.; OLIVEIRA, F.A.; ALBUQUERQUE, A.W. Resposta do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.5, p.485-491, 2010.

BASTOS, A.L. **Fluxo difusivo, desenvolvimento de milho e atributos do solo influenciados por doses de fósforo em solos do Estado de Alagoas**. 125f.: il. 2006. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Paraíba, Areia.

CAIRES, E.F.; MASCHIETTO, E.H.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; JORIS, H.A.W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.68, n.2, p.209-216, 2011.

COSTA, J.P.V.; BARROS, N.F.; ALBUQUERQUE, A.W.; MOURA FILHO, G. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, p.828-835, 2006.

CASTOLDI, G.; COSTA, M.S.S.M.; COSTA, L.A.M.; PIVETTA, L.A.; STEINER, F. Sistemas de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem e grãos de milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.33, n.1, p.139-146, 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira: grãos, oitavo levantamento junho 2012/** Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília: Conab, 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_0_05_09_50_17_boletim_safra_-_junho-2012.pdf>http://www.abiove.com.br/balanco_br.html>. Acesso em 05 de junho de 2012.

CORREA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; FREIRE, F.J.; SOUZA, S.K.S.; SILVA, G.B. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.3, p.218-224, 2008.

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**, Mossoró, v.22, n.3, p.229-235, 2009.

COSTA, S.E.V.G.A.; NETO, A.E.F.; RESENDE, A.V.; SILVA, T.O.; SILVA, T.R. Crescimento e nutrição de braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p.1419-1427, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informação, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FORNASIERI FILHO, D.A **cultura do milho**. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 273p.

FRANDOLOSO, J.F.; LANA, M.C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, R.V. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.5, p.686-694, 2010.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1985. p.129-163.

JÚNIOR, A.J.P.; DUDLEY, J.B.; TOLER, J.E. Leonardite and fertilizer levels influence tomato seedling growth. **Hort Science**, v.36, n.5, p.913-915, 2001.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes Organominerais**. Piracicaba, São Paulo: Ed. Do autor, 1999. 146p.

LOPES, A. S., **Solos sob “cerrado”: Características, propriedades e manejo**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo: Potafos, 2.º Edição, 1984. 162p.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E.; ANDRADE, B.B.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G.H.; Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.70-76, 2011.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARSCHNER, B.; WILCZYNSKI, A.W. The effect of liming on quantity, and chemical composition of soil organic matter in a pine forest in Berlin, Germany. **Plant Soil**, v.137, p.229-236, 1991.

MENGEL, K. Agronomic measures for better utilization of soil and fertilizer phosphates. **Europe Journal Agronomic**, v.7, p.221-233, 1997.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

- PRATISSOLI, D.; ALMEIDA, G.D.; JÚNIOR, W.C.J.; VICENTINI, V.B.; HOLTZ, A.M.; COCHETO, J.G. Fertilizante organomineral e argila silicatada como indutores de resistência à varíola do mamoeiro. **Idesia**, Chile, v.25, n.2, p.63-67, 2007.
- QUEVEDO, C.M.; PAGANINI, W.S. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.6, n.8, p.3529-3539, 2011.
- RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343p.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**, UFLA: Lavras, 2007.
- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do Cerrado**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2007. 32p.
- RODRIGUES, T.R.D.; BROETTO, L.; OLIVEIRA, P.S.R.; RUBIO, F. Desenvolvimento da cultura do milho submetida a fertilizantes orgânicos e minerais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.4, p.509-514, 2012.
- SAEG. **Sistema para análises estatísticas**. Versão 8.0. Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- SCARAMUZZA, J.F.; CHIG, L.A.; CASONATTO, R. Efeito de fertilizante organomineral comparado a diferentes fontes de fósforo em soja. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, CD Resumos expandidos, Uberlândia/MG, agosto de 2011.
- SILVA, M.O.; STAMFORD, N.P.; AMORIM, L.B.; ALMEIDA JÚNIOR, A.B.; SILVA, M.O. Diferentes fontes de P no desenvolvimento do meloeiro e disponibilidade de fósforo no solo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.42, n.2, p.268-277, 2011.
- SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; SOUZA, C.M. Fluxo difusivo de fósforo e zinco influenciado pela compactação de dois latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.55, n.6, p.619-624, 2008.
- SIPCAM AGRO. **Manual técnico de produtos**. MG, setembro, 2003.133p.
- SOUSA, R.T.X.; HENRIQUE, H.M.; KORNDORFER, G.H. Efeito de fertilizante organomineral sobre a produtividade de híbridos de milho. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, CD Resumos expandidos, Uberlândia/MG, agosto de 2011.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.147-168.
- TEIXEIRA, W.G.; SOUSA, R.T.; HENRIQUE, H.M.; KORNDORFER, G.H. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de nutrientes em plantas de milho submetidas à adubação mineral e organomineral, In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, CD Resumos expandidos, Uberlândia/MG, agosto de 2011.
- VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.111-118, 2003.