



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO ASSOCIADAS À INOCULAÇÃO COM *PSEUDOMONAS FLUORESCENS* NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DO MILHO

Danilo Pinceli Chaves⁽¹⁾, Claudemir Zucareli⁽²⁾, Adilson de Oliveira Junior⁽³⁾, Lucas Costa Balan⁽⁴⁾, Lenon Augusto Prado⁽⁴⁾, Luiz Tadeu Jordão⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Engº agrônomo, Msc., Nidera Sementes, Supervisor Desenvolvimento Produtos, Lucas do Rio Verde-MT; ⁽²⁾ Prof. Dr. Adjunto do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 Km 380, Caixa Postal: 6001 CEP: 86051-990, Londrina-PR. ⁽³⁾ Pesquisador Dr., Embrapa Soja, Rod. Carlos João Strass, km 5, Caixa Postal: 231 CEP 86001-970, Londrina-PR. ⁽⁴⁾ Graduandos do curso de Agronomia pela Universidade Filadélfia, Londrina-PR; ⁽⁵⁾ Graduando do curso de Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR.

Resumo – Visando a melhor eficiência agronômica relativa (EAR) do uso dos fertilizantes fosfatados, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de fontes de P associados à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* via sementes na produtividade de grãos de plantas de milho. O experimento foi conduzido a campo, em esquema fatorial 6x2, em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram aplicados 120 kg ha⁻¹ de P via solo por meio de cinco fontes: Superfosfato Triplo (SFT), Gafsa, Itafós, SFT+Gafsa e SFT+Itafós, além do controle (sem P). As sementes foram submetidas a dois níveis de inoculação (com e sem) com *Pseudomonas fluorescens* da Estirpe 1008. Realizou-se a avaliação da EAR da produtividade de grãos. A inoculação de *P. fluorescens* no controle resultou em 87% de EAR. As aplicações de SFT+Itafós e SFT+Gafsa podem ser uma alternativa para os sistemas agrícolas, visando a menor utilização de fosfatos acidulados. O desempenho produtivo do milho não foi alterado pelas fontes de P e níveis de inoculação com *P. fluorescens*.

Palavras-Chave: *Zea mays* L., rizobactérias, promotores de crescimento, componentes de produção.

INTRODUÇÃO

O P é um elemento requerido durante todo o ciclo da cultura do milho, fundamental para o crescimento e desenvolvimento vegetal (Sousa e Lobato, 2003). Os teores deste macronutriente na solução do solo são, em geral, baixos, em decorrência da baixa solubilidade dos compostos de P existente no solo, e da alta capacidade de fixação do elemento pelas partículas presentes no meio em solos tropicais (Fornasier Filho, 2007). Devido à isto, as respostas à aplicação de P em milho têm sido altas e frequentes devido ao baixo teor de P “disponível” na maioria dos solos brasileiros (Coelho e França, 1995).

Como alternativa ao uso dos superfosfatos, os fosfatos naturais têm sido amplamente estudados nos últimos anos, em decorrência do aumento da oferta no mercado brasileiro (Horowitz e Meurer, 2004). Esses fosfatos, quando reativos (de origem sedimentar), apresentam em sua estrutura alto grau de substituições

isomórficas do fosfato por carbonato na apatita, resultando num cristal imperfeito, poroso, podendo ser mais facilmente solubilizados que os fosfatos não reativos (Kaminski e Peruzzo, 1997).

Fosfatos naturais de maior reatividade como o Gafsa, tem mostrado eficiência equivalente ou superior para suprir P para plantas de ciclo curto quanto às formas mais solúveis, como os superfosfatos (Horowitz e Meurer, 2004). Tratando-se de um produto nacional, o fosfato Itafós é um fertilizante de origem sedimentar não reativo (Brasil, 2007), podendo ser competitivo no mercado para as áreas que se localizarem próximo às jazidas, sendo que o preço imbutido no transporte onera o preço final do produto (Goedert e Lobato, 1980).

As misturas de fontes de P, utilizando fosfatos naturais com solúveis constituem uma alternativa agronômica e economicamente viável no fornecimento deste elemento (Franzini et al., 2009). Nestas combinações, a eficiência destes fosfatos é elevada devido à concentração de P solúvel presente nos fosfatos acidulados, gerando maior potencial em disponibilizar o P do solo às plantas (Goedert e Lobato, 1980).

A eficiência agronômica relativa (EAR) dos fosfatos de rocha é dependente de fatores como: pH, textura e outras propriedades do solo (teor Ca trocável e de matéria orgânica, capacidade de adsorção de P), fonte de P utilizada, tamanho das partículas do fertilizante e tempo de reação no solo, que envolvem clima e cultura (Barnes e Kamprath, 1975).

Buscando o melhor aproveitamento de fosfatos insolúveis, a inoculação com Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCPs) é uma opção para a promoção de crescimento e da solubilização de fosfatos inorgânicos, mediante excreção de ácidos orgânicos e colonização rizosférica (Bolan et al., 1997). A interação entre microrganismos e fontes de P é também uma forma de reduzir custos. Os microrganismos podem ser usados na forma de inoculantes visando o aumento da disponibilidade de P para as plantas, por meio da solubilização e mineralização do P de fontes inorgânicas e orgânicas, respectivamente (Richardson, 2001). O principal efeito da solubilização de fosfato na promoção de crescimento de plantas está no aumento da biomassa e no teor de P das plantas (Bashan e Bashan, 2004).

Com o intuito de aumentar a eficiência da utilização de P nos sistemas agrícolas, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica relativa da produtividade de plantas de milho, em resposta à aplicação de fontes naturais e solúveis de P associadas ou não à inoculação com *Pseudomonas fluorescens*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina – UEL, localizada à 23°20'23.45" S 51°12'32.28" W, 532 m de altitude, no município de Londrina-PR. O experimento seguiu um esquema fatorial 6x2 em blocos casualizados, com 12 tratamentos e quatro repetições, totalizando 48 parcelas.

Foram avaliadas seis fontes de P, constituídos pelo controle (sem P), Superfosfato triplo - SFT (P-solúvel), fosfato de Gafsa (fosfato natural de origem sedimentar reativa), fosfato Itafós (fosfato natural de origem sedimentar não reativa), SFT+Gafsa e SFT+Itafós, associadas a dois níveis de inoculação com *Pseudomonas fluorescens* da Estirpe 1008 via sementes (sem e com). O P foi aplicado na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via solo, sendo que nas combinações (SFT+Gafsa e SFT+Itafós), utilizou-se 60 kg de P ha⁻¹ para cada fonte do nutriente.

Para a fonte de P solúvel (SFT), a aplicação foi realizada diretamente no sulco de semeadura, e para as fontes naturais (Gafsa e Itafós), utilizou-se aplicação a lanço na superfície, sem incorporação. Assim, quando houve a aplicação conjunta das fontes, as mesmas foram aplicadas separadamente. Junto aos tratamentos fosfatados, aplicou-se 60 kg ha⁻¹ de KCl, no sulco.

As parcelas foram constituídas por seis linhas de cinco metros de comprimento espaçadas em 0,9 m entre elas. Foram desconsideradas as duas linhas laterais e 0,5 m das extremidades das mesmas, sendo 14,4 m² a área útil de cada parcela.

O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho eutroférico (Embrapa, 2006) constituído por 80% de argila, cujas características químicas são apresentadas na Tabela 1. Não foi realizada calagem antes da instalação do experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tratando-se da produtividade de grãos (PROD), é provável que os fatores estudados não tenham exercido efeito devido ao teor de P no solo encontrar-se em um nível adequado. O P presente no solo na ausência de adubação fosfatada supriu a necessidade de P da planta, a qual obteve a produção de 6190 kg ha⁻¹ de grãos, estatisticamente igual à maior produtividade (7296,28 kg ha⁻¹) obtida com o SFT. Como a lixiviação de P no solo não é uma realidade em condições tropicais, ele tende a se acumular no solo (Coelho e França, 1995), de modo que, o efeito da adubação corretiva perdura por vários anos, principalmente quando se utilizam fosfatos de liberação lenta, como os fosfatos naturais não reativos

(Goedert e Lobato, 1984). Não houve efeito significativo para PROD (Tabela 2).

Tabela 2. Dados médios da produtividade de grãos (PROD) em plantas de milho em função de diferentes fontes de P, com e sem a inoculação de *Pseudomonas fluorescens*.

CAUSA DE VARIAÇÃO	PROD
Fontes de P	
CONTROLE (sem P)	6190,43
SFT	7296,28
GAFSA	6418,51
ITAFÓS	6428,19
SFT+GAFSA	6603,75
SFT+ITAFÓS	6665,16
Níveis de Inoculação	
Sem inoculante	6381,46
Com inoculante	6819,31
VALOR DE F	
Fonte	0,80 ^{ns}
Inoculante	1,60 ^{ns}
Fonte X Inoculante	0,54 ^{ns}
CV(%)	18,18

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a p<0,05.

* e ^{ns}: significativo a 5% e não significativo.

Pauletti et al. (2010), com a aplicação do fosfato Carolina do Norte e Gafsa em relação ao SFT, encontraram resultados semelhantes de produção de grãos em vários cultivos seqüentes. No presente trabalho, os fosfatos reativos Gafsa e Itafós, tanto quanto as combinações SFT+Gafsa e SFT+Itafós, inclusive o controle, foram estatisticamente iguais ao SFT isolado.

Na Figura 1, são apresentados os dados da eficiência agrônômica relativa (EAR) dos tratamentos, calculada com base nas respostas das plantas quanto à produtividade de grãos, sendo o SFT (sem inoculação), a fonte padrão (100%). A aplicação das fontes naturais de P (Gafsa e Itafós) apresentou baixos valores de EAR. A fonte SFT+Gafsa (sem inoculação) resultou em 56% de EAR.

Na inoculação de *P. fluorescens* para o controle (sem adição de P), houve 83% de EAR. Na fonte SFT+Gafsa, a inoculação da rizobactéria partiu de 56%, resultando em 87%. As *P. fluorescens* pode ter maximizado a disponibilidade de P para as plantas pelo mecanismo da produção de ácidos orgânicos produzidos pelos microrganismos e pela raiz (Jeon et al., 2003), mesmo não havendo limitação deste nutriente no solo. Para as fontes insolúveis e SFT+Itafós, não houve diferença na inoculação com *P. fluorescens*. Os menores valores de EAR das fontes de Gafsa e Itafós estão relacionadas com a fração não-solúvel, quando se reduz o contato entre o solo e o fertilizante (Khasawneh e Doll, 1978).

A fonte SFT+Itafós (sem e com inoculação) foi semelhante ao controle (sem inoculação). Este resultado pode ter ocorrido devido à condição deste solo (argiloso com teor intermediário de P), a qual pode ter fixado todo o P solúvel (SFT) devido aos altos teores de óxidos de ferro e alumínio que este solo contém, e não solubilizado o P

insolúvel (Itafós) devido à esta fonte fosfatada ser natural não reativa.

Considerando a boa distribuição de chuvas ocorrida na safra 2009/10 há uma tendência para a proliferação microbiana no solo, tornando uma melhor condição para o crescimento e desenvolvimento das plantas devido à maior decomposição de resíduos vegetais e ciclagem dos nutrientes no solo (Osaki, 2008). Desta forma, a condição imposta neste experimento, com um teor adequado de P no solo e elevada precipitação distribuída durante o ciclo da cultura, não caracteriza limitação para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Pode-se afirmar que estes fatores não foram favoráveis para *P. fluorescens* na solubilização de fosfato inorgânico e na promoção de crescimento.

Com a inoculação de *P. fluorescens*, o controle (sem adição de P) não apresentou diferenças significativas para produtividade de grãos. Entretanto, esta aplicação proporcionou um aumento de 1105,05 kg ha⁻¹, equivalente à 18,4 sacos por hectare. Assim, para esta condição a inoculação de *P. fluorescens* mostrou ser uma alternativa economicamente viável em relação aos outros tratamentos, principalmente às fontes que envolviam fontes solúveis e insolúveis.

Tratando-se das fontes fosfatadas, pode-se realizar o manejo da adubação fosfatada aplicando-se os fosfatos naturais e acidulados, mantendo o nível tecnológico utilizado. Assim, o teor adequado de P no solo é mantido com a disponibilidade imediata do mesmo com os acidulados, e liberado gradualmente com os naturais. Salienta-se a importância do estudo continuado dos fosfatos naturais reativos, principalmente associados com fontes solúveis, e também das rizobactérias promotoras de crescimento de plantas.

CONCLUSÕES

1. Os níveis de inoculação e as fontes de P não apresentaram efeito para a produtividade de grãos. Entretanto, no controle (sem adição de P), a inoculação desta rizobactéria produziu 87% de EAR.
2. A combinação de fosfatos naturais com P solúvel pode ser uma nova opção para o manejo da fertilidade do solo.

REFERÊNCIAS

- BARNES, J. S.; KAMPRATH, E. J. Availability of North Carolina rock phosphate applied to soil. Agricultural Station. North Carolina. 1975. 23p. (Technical Bulletin, 229)
- BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. Plant growth promoting bacteria. In: Encyclopaedia of Soils in the Environment. v.1 (Ed. Hillel, D.), p.103-115. Oxford, UK: Elsevier. 2004

- BOLAN, N. S. et al. Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere. *Biology and Fertility of Soils*, New York, v.24, p.169-174, 1997.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura. Instrução Normativa nº 5, Brasília, 2007.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. Nutrição e adubação. In: POTAFOS. Seja doutor do seu milho. 2 ed. Piracicaba, 1995. p.1-9. (Arquivo do Agrônomo, 2).
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- FORNASIERI FILHO, D. Manual da cultura do milho. Jaboticabal: Funep, 2007. 576p.
- GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.18, p.119-24, 1984.
- GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.15, n.3, p.311-318, 1980.
- FRANZINI, V. I.; MURAOKA, T.; MENDES, F. L. Ratio and rate effects of ³²P-triple superphosphate and phosphate rock mixtures on corn growth. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.66, n.1, p.71-76, 2009.
- HOROWITZ, N. M.; MEURER, E. J. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais. In: SIMPÓSIO SOBRE P NA AGRICULTURA BRASILEIRA. Piracicaba, 2004. Anais. Piracicaba, Potafos/Anda, 2004. 24p.
- JEON, J. S. et al. Plant growth promotion in soil by some inoculated microorganisms. *Journal of Microbiology*, Seoul, v.41, n.4, p.271-276, 2003.
- KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria, Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim Técnico No.3)
- KHASAWNEH, F. E.; DOLL, E. C. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.30, p.159-207, 1978.
- OSAKI, F. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MICRORGANISMOS E FERTILIDADE EM SOLOS DE DOIS ECOSISTEMAS FLORESTAIS: FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM COM *Pinus taeda* L. EM TIJUCAS DO SUL-PR. 2008. 281f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- PAULETTI, V. et al. Yield response to fertilization strategies in no-tillage soybean, corn and common bean crops. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v.53, n.3, p.563-574, 2010.
- RICHARDSON, A. E. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, Collingwood, v.28, p.897-906, 2001.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. Potafós - Piracicaba-SP, n.102, 2003, 16p. (Encarte Técnico – Informações Agrônômicas)

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental na profundidade 0-20 cm.

pH CaCl ₂	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³	H+Al	CTC	V%	P*	Zn	B	C
	----- cmol _c dm ⁻³ -----							----- mg dm ⁻³ -----			g dm ⁻³
4,90	3,51	0,69	0,32	0,12	4,61	9,12	49,50	6,61	1,35	0,72	13,40

*Mehlich-1

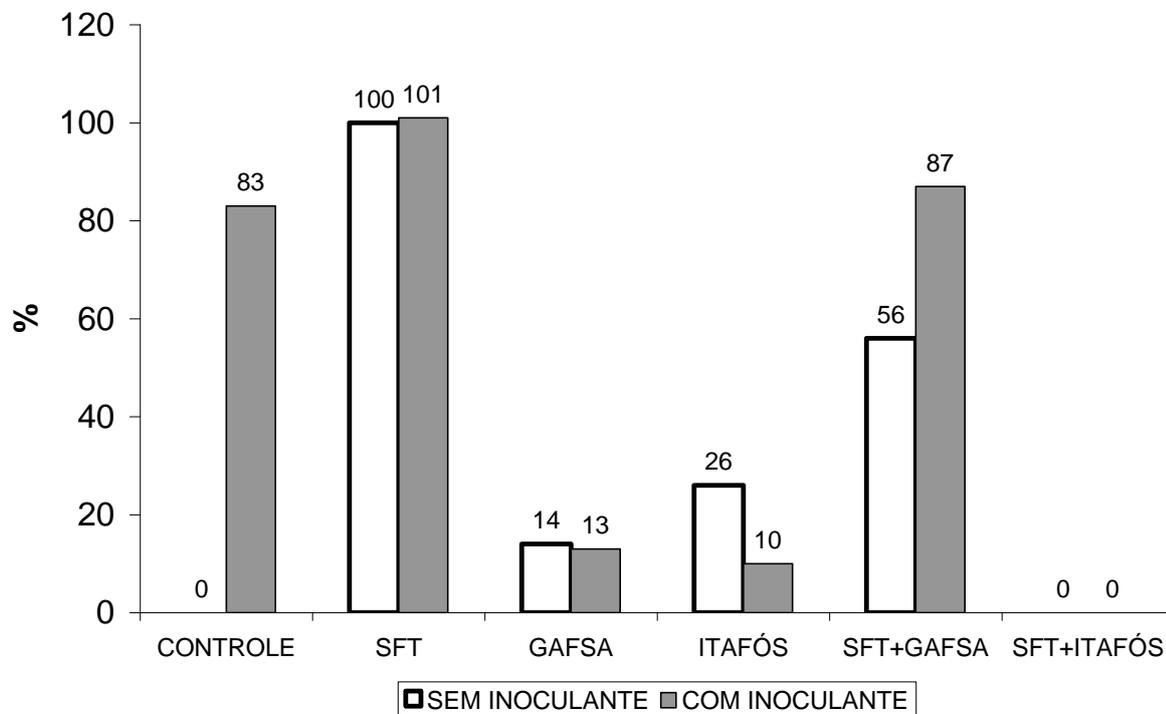


Figura 1. Eficiência Agronômica Relativa (EAR) para produtividade de grãos.