

DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO ASSOCIADO A MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATOS

DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY OF CORN CROPS AS A FUNCTION OF DOSES OF
PHOSPHORUS ASSOCIATED WITH PHOSPHATE SOLUBILIZING MICROORGANISMS

Debora Curado Jardim¹
Ismail Teodoro Souza Júnior¹
Carlos Eduardo Souza Bezerra²
Davi Schneider Caporossi³
Luiz Victor Silva Ruiz³
Matheus Ferreira Senra³

RESUMO

Nos últimos anos grandes quantidades de fertilizantes fosfatados vêm sendo aplicados nas culturas, incluindo a cultura do milho, gerando um alto custo de produção para o produtor. Uma estratégia para minimizar os custos com fertilizantes e maximizar a absorção e liberação de P do solo é o uso de microrganismos capazes de formar associações e solubilizar formas menos lábeis de P no solo. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desenvolvimento e produtividade da cultura do milho em função de doses de fósforo associado a microrganismos solubilizadores de fosfato. O experimento foi realizado no campo experimental do UNIVAG, no município de Várzea Grande – MT, no período de julho a novembro de 2023. Foi utilizado delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de adubação fosfatada (0, 60, 80, 100, 120 kg/ha) com e sem a inoculação do BiomaPhos® via tratamento de sementes, com três repetições, totalizando 30 parcelas. Foi avaliado os parâmetros morfológicos como, a altura da planta (m), altura de inserção da primeira espiga (cm) e diâmetro do caule (mm), já os parâmetros produtivos, foi avaliado a produtividade (kg/ha) e o peso de mil grãos (g). Não houve efeito significativo das doses e do inoculante isolados, bem como da interação, nos parâmetros morfológicos e produtivos da cultura do milho. A adição das bactérias solubilizadoras de fósforo (*Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*), independentemente da dose de fósforo testada, não interferiu no desenvolvimento e na produtividade do milho nas condições edafoclimáticas em que o experimento foi realizado.

Palavras-Chave: *Zea mays* L.; *Bacillus megaterium*; *Bacillus subtilis*; Inoculante.

1 - Docente do curso de Agronomia do Univag Centro Universitário

2 - Docente e coordenado do curso de Agronomia do Univag Centro Universitário

3 - Discentes do curso de Agronomia do Univag Centro Universitário

ABSTRACT

In recent years, large quantities of phosphate fertilizers have been applied to crops, including corn, generating high production costs for the producer. One strategy to minimize fertilizer costs and maximize the absorption and release of P from the soil is the use of microorganisms capable of forming associations and solubilizing less labile forms of P in the soil. Therefore, the objective of the present work was to evaluate the development and productivity of corn crops as a function of doses of phosphorus associated with phosphate-solubilizing microorganisms. The experiment was carried out in the UNIVAG experimental field, in the municipality of Várzea Grande – MT, from July to November 2023. An experimental design was used in randomized blocks, in a 5x2 factorial scheme, with five doses of phosphate fertilizer (0, 60, 80, 100, 120 kg/ha) with and without BiomaPhos® inoculation via seed treatment, with three replications, totaling 30 plots. Morphological parameters were evaluated, such as plant height (m), height of insertion of the first ear (cm) and stem diameter (mm), while productive parameters were evaluated: productivity (kg/ha) and seed weight. thousand grains (g). There was no significant effect of the isolated doses and inoculant, as well as the interaction, on the morphological and productive parameters of the corn crop. The addition of phosphorus-solubilizing bacteria (*Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium*), regardless of the phosphorus dose tested, did not interfere with the development and productivity of corn under the soil and climatic conditions in which the experiment was carried out.

Keywords: *Zea mays* L.; *Bacillus megaterium*; *Bacillus subtilis*; Inoculant.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma importante cultura na economia do país, sendo o Brasil terceiro maior produtor com uma área plantada de aproximadamente 78,5 milhões de hectares e uma produção de 322,8 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023). Grande parte dessa produção se concentra na região dos Cerrados, com destaque o estado de Mato Grosso, atualmente o maior produtor nacional do grão em segunda safra (safrinha), produzindo na safra 2022/2023 cerca de 44,8 milhões de toneladas em uma área de 7,2 milhões de hectares (IMEA, 2023).

O fósforo (P) está entre os nutrientes mais requeridos pela cultura do milho, todavia, a maior parte deste elemento presente nos solos brasileiros se encontra adsorvido, ou seja, aderido à argila e óxidos de Fe e Al (SOUZA e LOBATO, 2004). Desta forma, para garantir a produção das culturas, deve-se aplicar doses elevadas de fertilizantes fosfatados solúveis, o que elevam os custos de produção, além de promover a dependência da importação de fertilizantes minerais fosfatados (OLIVEIRA PAIVA et al., 2021).

Pavinato e colaboradores. (2020), relatam que aplicações excessivas de fertilizantes fosfatados solúveis têm proporcionado um acúmulo de P no solo, formas menos lábeis, isto é, não prontamente disponíveis para as plantas. Uma estratégia alternativa para disponibilizar esse P residual para as plantas é a utilização de microrganismos solubilizadores de fosfatos, esses são capazes de formar associações com as raízes das plantas e solubilizar as formas de P menos lábeis do solo, estratégia que pode reduzir a demanda por fertilizantes minerais (PAVINATO et al., 2021).

O inoculante líquido BiomaPhos® desenvolvido a partir da parceria entre a Embrapa Milho e Sorgo e a empresa privada BIOMA, utiliza as cepas de microrganismos solubilizadores de P (*Bacillus subtilis* B2084 e o *Bacillus megaterium* B119), esses microrganismos utilizam dois processos conhecidos, o primeiro seria a liberação de P em compostos de alumínio (Al), cálcio (Ca) e ferro (Fe) presentes no solo, o segundo processo se dá pela mineralização de P por meio das enzimas fitase e fosfatases, que estão presentes na matéria orgânica do solo (OWEN et al., 2015; BINI e LOPEZ, 2016).

O inoculante BiomaPhos®, têm sido recomendados para as culturas da soja, milho e trigo, com a finalidade de aumentar a produtividade das culturas e diminuir o custo de produção, uma vez que as bactérias presentes no inoculante são capazes de solubilizar (liberar) o P retido no solo, disponibilizando-o para as plantas, economizando assim em futuras adubações e evitando o acúmulo, que pode causar impactos econômicos e ambientais (PAVINATO et al., 2020).

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desenvolvimento e a produtividade da cultura do milho em função de doses de fósforo associado a microrganismos solubilizadores de fosfato.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no campo experimental do Centro Universitário de Várzea Grande (UNIVAG), localizado no município de Várzea Grande – MT, no período de julho a novembro de 2023.

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de adubação fosfatada (0, 60, 80, 100, 120 kg/ha) com e sem a inoculação do BiomaPhos® via tratamento de sementes, com três repetições, totalizando 30 parcelas. Cada parcela tendo a dimensão de 3,0 m de comprimento por 2,0 m de largura, totalizando uma área de 6 m².

Antes da implantação do experimento, foi realizada uma análise química do solo, para isso, foram coletadas 15 amostras simples de forma aleatória em toda a área experimental, com o auxílio do trato holandês, essas amostras foram homogeneizadas e, em seguida, retiradas uma amostra composta de 500 g, está por sua vez, encaminhadas para o laboratório para realização da análise química (Tabela 1). Com base nos resultados da análise química foi realizada somente a adubação de manutenção para uma expectativa de produção de 12 t/ha. Já para os micronutrientes foram realizadas aplicações via foliar de boro, cobre e zinco.

Tabela 1. Análise química do solo experimental do Centro Universitário de Várzea Grande – UNIVAG, na profundidade de 0 a 20 cm.

Prof.	pH	pH	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³				g dm ⁻³	g kg ⁻¹		
0 a 20 cm	H ₂ O	CaCl ₂	P	K	Ca	Mg	Al	H	H + Al	M.O.	Areia	Silte	Argila
	6,5	5,8	30,5	60,8	1,07	0,59	0,0	0,9	0,9	4,71	826	66	108
	Zn	Cu	Fe			Mn			B	S			
	mg dm ⁻³												
	3,90	1,30	93,10			27,58			0,36	9,42			

O preparo do solo foi constituído de uma aração seguida de gradagem na profundidade de 20 cm. Em seguida, realizado a semeadura manual da cultivar 20A12 vip3 utilizando o espaçamento entre linhas de 0,45 m. Para os tratamentos com inoculação do BiomaPhos® via tratamento de sementes, foi utilizada a dosagem de 100 mL para cada 50 kg de sementes.

Os tratos culturais referentes ao controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizadas conforme o monitoramento da área, e quando foi necessário o controle, o mesmo foi realizado através do controle químico (herbicidas, inseticidas e fungicidas). A irrigação foi realizada duas vezes ao dia através do pivô central.

No início do florescimento da cultura foram realizadas as seguintes avaliações: altura de plantas (m), utilizando-se uma trena tomando-se como medida o nível do solo até a inserção do pendão floral; altura de inserção da primeira espiga (m), tomando-se como medida o nível do solo até a inserção da espiga e, o diâmetro do caule (mm) utilizando-se um paquímetro digital, tomando-se como medida o segundo internódio a partir do nível do solo, ambas avaliações sendo realizadas em 10 plantas por parcela.

No estágio de maturação fisiológica da cultura foi determinado a produtividade (kg/ha) e o peso de 1000 grãos, sendo a produtividade avaliada por meio da coleta das espigas das plantas da área útil, onde a área útil de cada parcela foi constituída pelas linhas centrais, desprezando 0,50 m em ambas as extremidades, em seguida, debulhadas, pesadas e corrigida a umidade para 13%. O peso de 1000 grãos foi obtido pela pesagem dos grãos em duplicata.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, submetidos ao Teste de Scott Knot a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito significativo ($p < 0,05$) das doses e do inoculante isolados, bem como da interação, nos parâmetros morfológicos e produtivos da cultura do milho (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de F calculados pela análise de variância para altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira espiga (AIPE), diâmetro do caule (DC), produtividade e peso de 1000 grãos (P1000) em função de doses de fósforo com e sem inoculação de solubilizadores de fosfato na cultura do milho.

Fator de variação	AP	AIPE cm	DC	Produtividade kg/ha	P1000 g
Dose	1,326 ^{ns}	0,758 ^{ns}	1,021 ^{ns}	0,926 ^{ns}	1,592 ^{ns}
Inoculação	0,317 ^{ns}	0,265 ^{ns}	0,879 ^{ns}	0,355 ^{ns}	1,508 ^{ns}
D x I	0,969 ^{ns}	1,022 ^{ns}	1,422 ^{ns}	0,777 ^{ns}	2,145 ^{ns}
Repetição	6,626 ^{ns}	4,888 ^{ns}	1,430 ^{ns}	6,325 ^{ns}	2,321 ^{ns}
Média Geral	215,97	94,65	24,15	7.799,81	154,29
CV%	4,77	8,13	6,9	13,08	8,25

ns – não significativo pelo Teste F a nível de 5% de probabilidade.

O efeito não significativo pode estar relacionado a concentração inicial de P no solo que se encontrava em nível adequado (Tabela 1), ou seja, não havia restrição no fornecimento desse elemento para as plantas, sendo as adubações fosfatadas realizadas no experimento somente de manutenção, baseado na expectativa de produção de 12 t/ha. Segundo Souza e Lobato (2004), para o teor argila <15%, o teor de P adequado é de 25,1 a 40,0 mg dm⁻³ solo, o qual se enquadra em tal resultado, apresentando 10,8% de argila e 30,52 mg dm⁻³ de P. Esses mesmos autores relatam ainda que a intensidade do aproveitamento do fertilizante fosfatado aplicado ao solo depende da espécie cultivada, textura, mineral de argila e acidez do solo.

Assim como, a dose, fonte, granulometria e forma de aplicação do fertilizante fosfatado também influenciam neste processo.

Com relação a textura do solo, Vinha et al. (2021) destacam que a adsorção/retenção de fósforo é maior em solos de textura argilosa, principalmente os mais intemperizados, com presença de óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Além disso, esses mesmos autores ressaltam que a intensidade de adsorção está relacionada com a quantidade em que ele está presente ou é adicionado ao solo. Além disso, Fontana et al. (2021), expõem que a baixa capacidade tampão dos solos arenosos favorece as correções por fertilizantes e corretivos. O que se pode inferir que a maior disponibilidade de P para as plantas no presente experimento, pode ter sido favorecido também pela textura do solo, uma vez que, o teor de argila no solo utilizado é de 10,8%, o que caracteriza um solo de textura arenosa (<15% de argila).

Sampaio et al. (2022), destacam que solos com diferentes características relacionadas a granulometria, textura e presença prévia de P podem apresentar respostas distintas à aplicação de solubilizadores de P. Este fato deve-se à resposta fisiológica das bactérias frente as condições de solo impostas a ela. Fagotti (2023) avaliando o efeito de bactérias com potencial solubilizador de P em solos com baixo e alto teor de fósforo verificaram que, para que haja efeito das bactérias promotoras de crescimento, faz-se necessário haver uma quantidade mínima de P no solo, bem como boas condições de solo para que ela consiga se desenvolver e desempenhar seu papel. O fato da baixa resposta a inoculação em solos com baixa disponibilidade de P pode estar associado as bactérias precisarem inicialmente do P para seu metabolismo, e somente em um segundo momento desempenharem seu papel como promotoras de crescimento (RICHARDSON e SIMPSON, 2020).

Outra possível explicação, é a falta de especificidade entre os microrganismos solubilizadores e as plantas, que podem limitar o sucesso da inoculação (KUECY et al., 1989; RICHARDSON, 1994), uma vez que há diferença na especificidade entre as cultivares e os microrganismos. Mendes e Reis Júnior (2003), relatam que para minimizar essas limitações deve-se utilizar microrganismos que sejam capazes de estabelecerem-se rapidamente com a rizosfera da planta e inoculantes com alto número de células viáveis.

Fagotti (2023) destaca também que diversas interações ocorrem a nível de rizosfera, e que estas são muito afetadas pelas condições do ambiente. Desta forma, pode haver competição entre as bactérias presentes no solo por recursos e/ou mesmo antagonismo entre as mesmas. Mendes e Reis Júnior (2003), destacam ainda que mesmo com a presença desses

microrganismos capazes de solubilizar o fósforo, geralmente, seus números não são altos o suficiente para competir com outros organismos presentes na rizosfera. Desta forma, o P liberado por esses microrganismos não será o suficiente para uma promoção do crescimento da planta.

Além disso, Cook (1994) destaca que a definição do tipo de inoculante (líquido ou sólido), o modo de aplicação do inoculante (via sementes e/ou no sulco de semeadura) e técnicas de manejo que otimizem a eficiência do inoculante podem influenciar na interação das bactérias solubilizadoras com as plantas. Van Veen et al. (1997) expõem que o solo, por ser um ambiente heterogêneo e complexo pode apresentar uma resistência a introdução de novos organismos, essa resistência deve-se a vários fatores, como por exemplo, a textura, a mineralogia, temperatura, pH e matéria orgânica do solo. Silva e Pires (2017) afirmam que o efeito dos microrganismos e substâncias promotoras de crescimento é mais proeminente em condições ambientais adversas e restritas, principalmente sobre estresse hídrico e nutricional.

Contudo, independente das doses de fósforo, com e sem inoculação, testadas no experimento, quando se analisa a média geral da produtividade, observa-se que a produtividade foi superior à média nacional (5.954 kg/ha) e regional (7.367 kg/ha) (CONAB, 2023), o que demonstra que além da disponibilidade de P para as plantas não ter sido uma limitação, às condições climáticas também foram favoráveis para o bom desenvolvimento das plantas.

Mesmo que estatisticamente, o uso do inoculante não tenha proporcionado diferenças estatísticas para as variáveis analisadas, os tratamentos que receberam a inoculação produziram em média 4,4 sacas ha⁻¹ a mais que os demais tratamentos sem inoculação e, considerando que o custo do inoculante aplicado via tratamento de sementes fica em torno de R\$ 97,50 para cada 60.000 sementes (considerando o valor do produto de R\$ 1.950,00 recipiente de 2L e, a dose a ser aplicada de 100 ml para cada 60.000 sementes), o produto mostra-se economicamente viável para o incremento no rendimento da cultura e, consequentemente, de renda para o produtor.

Portanto, pesquisas futuras devem ser realizadas para compreender melhor a ação desses microrganismos uma vez que a ação dos microrganismos solubilizadores de fosfato pode proporcionar diferentes respostas de acordo com a cultura (variedades e cultivares), características químicas e físicas do solo, assim como, do próprio inoculante.

4. CONCLUSÃO

A adição das bactérias solubilizadoras de fósforo (*Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*), independentemente da dose de fósforo testada, não interferiu no desenvolvimento e na produtividade do milho nas condições edafoclimáticas em que o experimento foi realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BINI, D.; LOPEZ, M. V. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. (ed.). **Microbiologia do solo**. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 149-166.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira safra 2022/2023**. 12º Levantamento, v. 10, n. 12, 2023.

COOK, R.J. Introduction of soil organisms to control root diseases. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (Ed.). **Soil biota management in sustainable farming systems**. Melbourne:CSIRO, 1994. p. 13-22.

FAGOTTI, L.A. **Bactérias solubilizadoras de fósforo na cultura do milho (*Zea mays*) em solos com baixo e alto teor de fósforo**. 2023. 34f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2023.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; SANTOS, J.J.S.; DONAGEMMA, G.K.; SANTOS, O.A.Q. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de textura arenosa com fertilidade construída. **Revista Agrogeoambiental**, v. 13, n. 3, p. 606-614, 2021.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA (IMEA). **2ª Estimativa da Safra de milho – 2022/23**, outubro, 2022. Disponível em: <https://imea.com.br/imea-site/arquivo-externo?categoria=relatorio-de-mercado/22-23&arquivo=esf-milho&numeropublicacao=69>.

KUCEY, R.M.N.; JANZEN, H.H.; LEGGET, M.E. Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. **Advances in Agronomy**, v.42, p.199-228, 1989.

MENDES, I.C.; REIS JÚNIOR, F.B. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 26p. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111;85).

OLIVEIRA-PAIVA; C. A. et al. **Validação da recomendação para o uso do inoculante BiomaPhos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) na cultura de soja**. Sete Lagoas -MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021a. 19 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 279).

OWEN, D.; WILLIAMS, A.; GRIFFITH, G.; WITHERS, P. Use of comercial bioinoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 41-54, 2015.

PAVINATO, P. S et al. **Acúmulo de fosforo no solo em áreas Agrícolas no Brasil: Diagnostico Atual e Potencialidades Futuras**. NPCT (Nutrição De Planta Ciências E Tecnologia), COMUNICADO TÉCNICO N° 9, Piracicaba, SP- março, 2021.

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, 15615, 2020.

RICHARDSON, A.E. Soil microorganisms and phosphorus availability. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (Ed.). **Soil biota management in sustainable farming systems**. Melbourne:CSIRO, 1994. p. 50-62.

RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R.J. Soil microorganisms mediating phosphorus underexploited benefits for plants. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, n. 7, p. 94-102, 2020.

SILVA, S. R.; PIRES, J. L. F. Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de Azospirillum, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, p. 631-638, 2017.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 416 p.

VAN VEEN, H.A.; OPPERBEEK, L.S.; VAN ELSAS, J.D. Fate and activity of microorganisms introduced into soil. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v.61, p. 121-135, 1997.

VINHA, A.P.C.; CARRARA, B.H.; SOUZA, E.F.S.; SANTOS, J.A.F.; ARANTES, S.A.C.M. Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 30-35, 2021.