

Sete Lagoas, MG /Dezembro, 2024

Efeitos de métodos de aplicação do inoculante composto por bactérias solubilizadoras de fosfato na produção e nutrição do milho

Felipe Campos Silva⁽¹⁾, Victor Alef Rodrigues⁽¹⁾, Bianca Resende Santos⁽¹⁾, Vitoria Palhares Ribeiro⁽¹⁾, Daniel Bini⁽¹⁾, Fabiane Ferreira de Souza⁽²⁾, Flávia Cristina dos Santos⁽³⁾, Ivanildo Evódio Marriel⁽³⁾ e Christiane Abreu de Oliveira-Paiva⁽³⁾.

⁽¹⁾ Bolsista, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽²⁾ Analista, Embrapa Milho e Sorgo, Sete lagoas, MG. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – O Brasil é o terceiro maior produtor de milho, com exportações em crescimento, impulsionadas pelo mercado chinês. Avanços tecnológicos e de manejo têm permitido uma produção mais eficiente e sustentável. No entanto, ainda há desafios, como a necessidade de melhorar a eficiência no uso de nutrientes, especialmente o fósforo (P). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes métodos de aplicação do inoculante BiomaPhos sobre a produtividade, massa seca e acúmulo de nutrientes da cultura do milho, bem como sua compatibilidade com produtos químicos com quatro princípios ativos químicos comumente utilizados no tratamento de sementes. Foi utilizado o inoculante comercial BiomaPhos, composto por duas cepas de *Bacillus* (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119). Os tratamentos foram dispostos em delineamento de parcelas subdivididas, sendo alocados nas parcelas as doses de P e nas subparcelas as formas de aplicação do inoculante. Foi avaliada a produtividade de grãos e massa seca da parte aérea do milho. Avaliou-se também, na primeira safra, os teores de nitrogênio (N), P e potássio (K) dos grãos colhidos para se estimar o acúmulo de nutrientes em kg ha⁻¹. Os métodos de aplicação do BiomaPhos no sulco e via tratamento de sementes são os mais recomendados para maior produtividade e qualidade nutricional dos grãos, com destaque para o tratamento de sementes como a estratégia mais eficiente e econômica. A redução da dose de P é possível, mas deve ser feita com cautela, considerando as condições específicas de cada solo. A combinação do inoculante com os produtos químicos testados não apresentou incompatibilidade.

Termos para indexação: Métodos de Inoculação. BiomaPhos. Sustentabilidade.

Embrapa Milho e Sorgo
Rodovia MG 424, KM 65
Caixa Postal 151
35701-098 Sete Lagoas, MG
www.embrapa.br/milho-e-sorgo
www.embrapa.br/fale-conosco/
sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Maria Marta Pastina

Secretário-executivo

Antônio Carlos de Oliveira

Membros

Cláudia Teixeira Guimarães,

Mônica Matoso Campanha,

Roberto dos Santos Trindade e

Maria Cristina Dias Paes

Edição executiva

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro
(CRB-6/2749)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Effects of application methods of inoculant composed of phosphate-solubilizing bacteria on corn production and nutrition

Abstract – Brazil is the third-largest producer of corn globally, with increasing exports driven by demand from the Chinese market. Advances in technology and management practices have enabled more efficient and sustainable production. However, significant challenges remain, particularly in improving nutrient use efficiency, especially phosphorus (P). This study aimed to evaluate the effects of different application methods of the BiomaPhos inoculant on corn yield, dry mass, and nutrient accumulation, as well as its compatibility with four commonly used seed treatment chemicals. The commercial inoculant BiomaPhos, composed of two *Bacillus* strains (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 and *Bacillus megaterium* CNPMS B119), was utilized. Treatments were arranged in a split-plot design, with P doses assigned to the main plots and inoculant application methods to the subplots. Grain yield and shoot dry mass were evaluated. In the first season, nitrogen (N), P, and potassium (K) contents in harvested grains were measured to estimate nutrient accumulation (kg ha^{-1}). Furrow and seed treatment applications of BiomaPhos were the most effective methods for enhancing grain yield and nutritional quality, with seed treatment emerging as the most efficient and economical strategy. Reducing P doses is feasible but should be approached cautiously, taking into account specific soil conditions. The combination of the inoculant with the tested chemical products showed no evidence of incompatibility.

Index terms: inoculation methods, BiomaPhos, sustainability.

Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho (*Zea mays*) do mundo. As exportações de milho na safra 2023/2024 alcançaram 54,6 milhões de toneladas entre fevereiro de 2023 e janeiro de 2024, representando um aumento de 17,2% em relação ao mesmo período da safra anterior. A abertura do mercado chinês ao milho brasileiro transformou a China no principal destino das exportações brasileiras em 2023, correspondendo a 28,8% do total (Conab, 2024).

Os avanços da agricultura são reflexos do constante investimento em tecnologia, em genética das plantas, em métodos de manejo e na compreensão dos sistemas agrícolas como um todo. Esses avanços permitem uma produção eficiente, sustentável e resiliente, atendendo às demandas crescentes por alimentos, fibras e biocombustíveis em escala global (Costa, 2023).

Entretanto, alguns desafios na agricultura brasileira ainda permanecem, com destaque para a necessidade de se buscar maior eficiência no uso de nutrientes e, principalmente, do fósforo (P), pois, para garantir maior sustentabilidade, é preciso reduzir as perdas e os custos de produção (Szopa et al., 2022).

O fósforo desempenha um papel essencial no crescimento e no desenvolvimento da cultura. No entanto, apresenta de 20 a 30% de aproveitamento pelas culturas de ciclo anual, sendo facilmente adsorvido e retido nos colóides dos solos do Brasil que, predominantemente, apresentam características ácidas e predomínio de minerais de argila 1:1 e óxidos de ferro e alumínio. Portanto, como estratégia de manejo, doses elevadas do fertilizante são aplicadas na intenção de atender a demanda das plantas (Pereira, 2009).

O fósforo é encontrado nas formas orgânica e inorgânica no solo, sendo a forma inorgânica representada por compostos como fosfatos de cálcio, ferro e alumínio, conhecidos como fosfatos de baixa mobilidade (Pavinato et al., 2020). Para que as plantas possam absorver eficientemente o fósforo, é necessário que os fosfatos inorgânicos sejam solubilizados, um processo mediado por microrganismos que produzem ácidos orgânicos e outras substâncias que liberam o fósforo para a solução do solo, tornando-o disponível para a absorção pelas plantas (Oliveira-Paiva et al., 2024). Além disso, o fósforo associado à matéria orgânica, conhecido como P-orgânico, também precisa ser convertido em P-inorgânico por meio da mineralização, que é mediada por enzimas como fitases e fosfatases, produzidas por microrganismos. Esse processo é essencial, pois o P-orgânico pode representar entre 30% e 70% do fósforo total no solo (Stevenson, 1986; Khan et al., 2007; Kalayu, 2019; Pavinato et al., 2020). A combinação de solubilização de fosfatos inorgânicos e a mineralização do P-orgânico é fundamental para a disponibilidade do fósforo para as plantas.

Os microrganismos edáficos são importantes ferramentas de transformação do P no solo (Alori et al., 2017). Gêneros como *Pseudomonas* e *Bacillus* são comumente relacionados à solubilização

e mineralização de P no solo e à promoção de crescimento de plantas, tornando-se alternativas importantes para aumentar a produtividade e reduzir custos de produção de muitas culturas (Alori et al., 2017; Oliveira-Paiva et al., 2024).

O inoculante BiomaPhos, lançado por uma parceria público-privada entre a Embrapa e a empresa Bioma, em 2019, surgiu como uma alternativa promissora, desempenhando um papel fundamental ao promover um melhor aproveitamento desse nutriente para a cultura do milho. Composto por duas cepas de *Bacillus* (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119), esse bioproduto possui a capacidade de solubilizar e mineralizar o P retido no sistema solo por meio da produção de fosfatase, sideróforos, biofilme, ácido glucônico e enzima fitase, além de produzir compostos que promovem o crescimento da planta (Oliveira-Paiva et al., 2020, 2024). Em contrapartida, sua eficácia está diretamente ligada à precisão na aplicação, implicando um manejo criterioso por parte dos agricultores.

No Brasil, o uso predominante de inoculantes via tratamento de sementes levanta preocupações sobre a compatibilidade com tratamentos químicos e biológicos e, conseqüentemente, a viabilidade das cepas contidas no produto (Hungria et al., 2015). Por isso, métodos de aplicação têm sido aprimorados, como pulverização no sulco de plantio, via tratamento de semente, e, posteriormente, a reinoculação das estirpes no desenvolvimento inicial das plântulas.

Segundo Oliveira-Paiva et al. (2024), o uso do inoculante, quando aplicado na semente de milho, incrementou significativamente a produtividade. Em tratamentos inoculados com as cepas B119 e B2084, observou-se um aumento expressivo na produtividade do milho em ambas as safras e áreas de estudo. Em comparação ao tratamento sem inoculante, a inoculação resultou em um aumento médio de produtividade de cerca de 11% a 24%, dependendo da região. Além disso, a inoculação promoveu maior acúmulo de fósforo nos grãos e aumentou a disponibilidade de fósforo no solo, evidenciando sua eficácia no aprimoramento do desempenho agrônômico. Portanto, essa prática pode contribuir para o uso econômico desses produtos, além de permitir maiores ganhos de produtividade e uso eficiente de nutrientes sem comprometer o meio ambiente. Diante disso, este trabalho teve como objetivo, avaliar a compatibilidade entre o produto comercial BiomaPhos e produtos comerciais comumente utilizados em tratamento de sementes e o efeito de diferentes métodos de aplicação do inoculante sobre a produtividade, a

massa seca e o acúmulo de nutrientes da cultura do milho, permitindo o fornecimento de recomendações técnicas para os agricultores.

Material e métodos

Foi utilizado o inoculante comercial BiomaPhos, cedido pela empresa Bioma. Esse inoculante é composto por duas cepas de *Bacillus* (*B. subtilis* CNPMS B2084 e *B. megaterium* CNPMS B119), que integram a Coleção de Microrganismos Multifuncionais e Fitopatógenos (CMMF) da Embrapa Milho e Sorgo (Figura 1). A estirpe CNPMS B119 foi isolada da rizosfera do milho e a estirpe CNPMS B2084, da endosfera foliar de genótipos de milho (Abreu et al., 2017; Oliveira-Paiva et al., 2020). Esse produto, recomendado para a solubilização de fosfato em culturas como milho, soja, cana-de-açúcar e feijão, também é comercializado por outras empresas, contendo as mesmas cepas e formulação industrial, com os nomes comerciais de Omsugo P, Omsugo Eco, Biagro Energia e Solubphos. As informações sobre o uso do inoculante comercial BiomaPhos e produtos relacionados foram obtidas a partir do aplicativo Bioinsumos, da Embrapa, (Embrapa, 2020) e de publicações técnicas da Embrapa (Oliveira-Paiva, 2020, 2021).

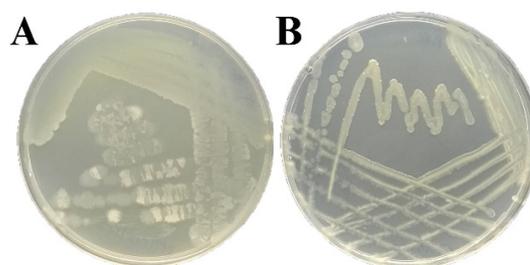


Foto: Felipe C. Silva.

Figura 1. Cepas *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 (A) e *Bacillus megaterium* CNPMS B119 (B), crescidas em meio de cultura ágar-nutriente.

Ensaio de compatibilidade entre produtos químicos utilizados no manejo do milho e o inoculante BiomaPhos

Foram utilizados quatro princípios ativos distintos: Tiodicarbe, Imidacloprido, Tiametoxam e Glifosato. Alíquotas de 100 µL de BiomaPhos foram inoculadas, com alça, em placas com meio de cultura Rojo Congo (RC) (composição: 0,5 g de K_2HPO_4 ; 0,2 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 0,1 g NaCl; 0,5 g extrato de levedura; 0,015 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$; 5 g de DL-ácido málico; 4,8 g de KOH; 15 mL de solução de Vermelho Congo 0,25 %; 20 g de ágar para 1 L de meio de cultura).

Posteriormente, foram adicionados cinco discos de papel de filtro, equidistantes na placa, e aplicados 10 μL de cada produto contendo o princípio ativo avaliado em cada disco na placa de petri. As placas foram incubadas por um período de 10 dias a $30\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$. A compatibilidade foi avaliada em concentrações de 0, 1, 10, 100, 1.000 e 10.000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ dos produtos, adotando-se como concentração 0 apenas água. Para cada concentração de cada produto, foram avaliados triplicatas e controles, contendo apenas o produto estudado.

Delineamento experimental em condições de campo

O experimento foi estabelecido durante as safras 2022/2023 e 2023/2024, no campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo, situada na cidade de Sete Lagoas, MG, localizada na Rodovia MG 424, Km 45,

zona rural, com as coordenadas geográficas $19^\circ 27' 14.65''$ de latitude sul, $-44^\circ 10' 39.61''$ de longitude oeste e altitude de 739 metros. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho típico, fase Cerrado, com baixo teor de fósforo (Tabela 1).

A correção do solo foi recomendada de acordo com a análise química do solo e exigência da cultura (Tabela 1). No plantio, efetuou-se uma adubação básica aplicada via sulco de plantio, constituída de 300 kg ha^{-1} do formulado 20-00-20 NPK (nitrogênio-fósforo-potássio). Adubação de cobertura (ureia) foi aplicada parcelada, aos 15 e aos 30 dias após a semeadura (150 kg ha^{-1} por aplicação). A adubação fosfatada foi dividida em três níveis: sem aplicação de $\text{P}_2\text{O}_5\text{ ha}^{-1}$, $50\text{ kg P}_2\text{O}_5\text{ ha}^{-1}$ e $100\text{ kg P}_2\text{O}_5\text{ ha}^{-1}$ (Tabela 2). A fonte empregada foi superfosfato triplo com teores de 41% de P_2O_5 e 7% a 12% de Ca.

Tabela 1. Análise química do solo da área onde foram conduzidos os experimentos.

Local	pH H ₂ O	PMehlich ⁻¹	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	V	MO
	-	---- mg dm ⁻³	----	-----	-----	-----	-----	-----	%	dag kg ⁻¹
Sete Lagoas	5,63	10,03	107,08	3,85	0,77	0,13	3	4,89	62,07	2,03

Potencial hidrogeniônico (pH) em água; fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); manganês (Mg); Alumínio (Al); acidez potencial (H+Al); soma de bases (SB); saturação de bases (V); matéria orgânica (MO). (Santos et al., 2013).

Segundo Köppen e Geiger (1936), o clima da região é classificado como Aw (Martins et al., 2018). Os dados pluviométricos e as temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante o ensaio em

campo estão dispostos na Figura 2. Para atender às necessidades hídricas da cultura, foi utilizado um sistema de irrigação, complementar à precipitação pluviométrica.

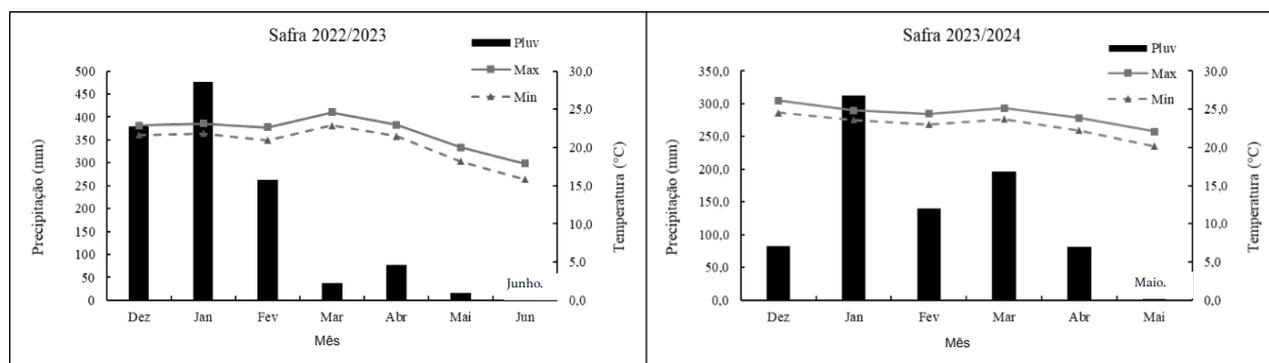


Figura 2. Médias das temperaturas máximas ($^\circ\text{C}$), mínimas ($^\circ\text{C}$) e de precipitação (mm) durante os ciclos da cultura do milho em Sete Lagoas, MG, nas safras 2022/2023 e 2023/2024. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2024).

Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo alocados nas parcelas as doses de P_2O_5 e nas subparcelas as formas de aplicação do inoculante. Foram utilizados

seis tratamentos na safra 2022/2023 e sete na safra 2023/2024 (Tabela 2), com cinco repetições. Para ambas as safras, utilizou-se o híbrido de milho KWS, RB9006 VT PRO 2.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos avaliados no cultivo de milho em campo.

Tratamentos	Descrição	(%) da Dose Recomendada (DR) de P_2O_5
1	Não inoculado	0
2	Não inoculado	50
3	Tratamento de semente	50
4	Pulverizado no sulco	50
5	Pulverizado em estágio V3	50
6 ¹	Tratamento de semente e pulverizado em estágio V3	50
7	Não inoculado	100

⁽¹⁾A safra 2023/2024 manteve os mesmos tratamentos da anterior, com adição de um novo tratamento: aplicação do inoculante via tratamento de semente e a reaplicação do inoculante no estágio V3 (reinoculação) da planta do milho, utilizando 50% da dose recomendada de P_2O_5 . A dose recomendada foi de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Para os tratamentos inoculados via tratamento de semente, foram adotadas as recomendações do fabricante do produto, 100 mL ha^{-1} , adicionando-se o adesivo comercial BiomaFix, na dosagem de 100 g do produto para $2,5 \text{ L}$ de inoculante. Entretanto, para os tratamentos inoculados via pulverização no sulco de plantio, e no estágio V3 da planta do milho, foi utilizada a dose de 200 mL ha^{-1} do inoculante para cada 100 L de água. A pulverização do inoculante foi

realizada com auxílio de um pulverizador costal com cilindro de CO_2 , utilizando uma pressão constante de 2 BAR e uma vazão de $0,35 \text{ L}$, com uma lança equipada com um bico leque da série Teejet XR 110 02, operando a uma altura de 20 cm em relação ao alvo e com uma velocidade de 1 m , cobrindo uma faixa de 20 cm de largura. Assim, foi alcançada uma aplicação proporcional a de 100 L ha^{-1} de calda (Figura 3).

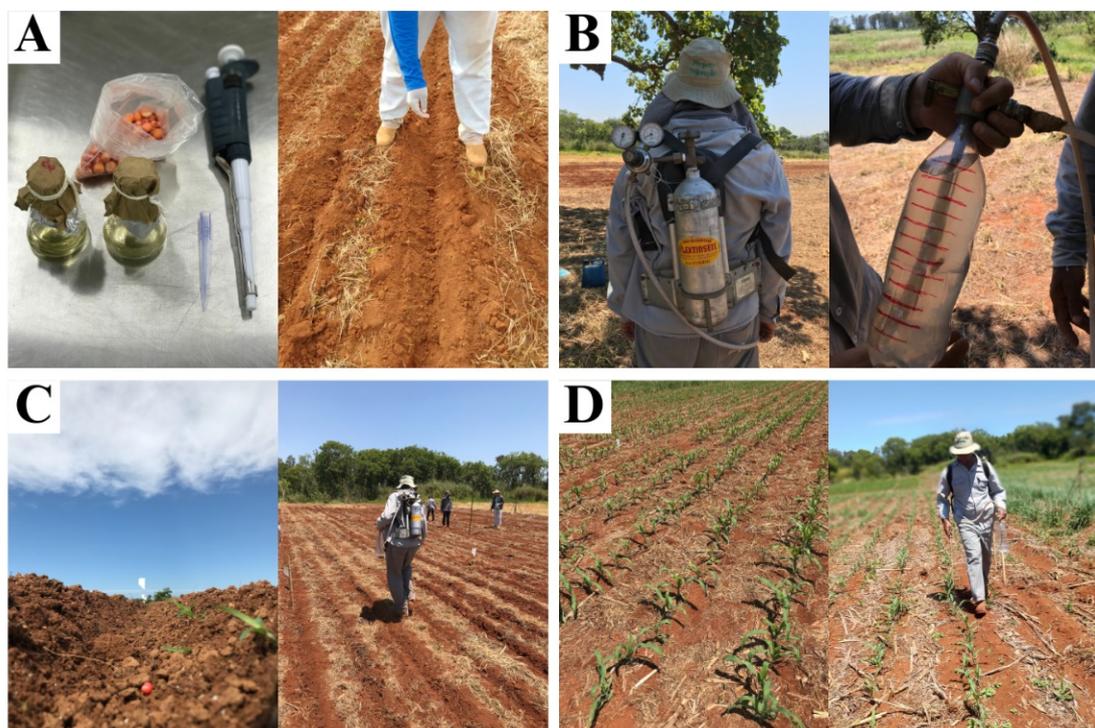


Figura 3. Inoculação via tratamento de semente (A). Pulverizador costal com cilindro de CO_2 utilizado para os tratamentos em que ocorreu a aplicação do inoculante via jato de pulverização (B). Aplicação do inoculante via pulverização no sulco de plantio (C). Aplicação do inoculante via pulverização no estágio V3 da planta de milho (D).

Avaliação dos parâmetros agrônômicos

Foram avaliadas a produtividade de grãos e massa seca da parte aérea do milho, estimadas pela colheita de quatro linhas de cinco metros cada, eliminando-se duas linhas de bordadura por parcela, sendo a umidade corrigida para 13%. Avaliaram-se também, na primeira safra, os teores de nitrogênio, fósforo e potássio dos grãos colhidos para se estimar o acúmulo de nutrientes em kg ha⁻¹. As amostras foram enviadas para o laboratório de análises químicas e nutricionais da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Análise estatística

Os dados foram submetidos a ANOVA com auxílio do software estatístico Sisvar versão 5.8 (Ferreira, 2019), e, quando detectada significância, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 10% de probabilidade ($p \leq 0,10$).

Resultados e discussão

Ensaio de compatibilidade entre o inoculante BiomaPhos e produtos químicos utilizados no manejo do milho

Além da cultura do milho, o produto contendo Tiodicarbe e Imidacloprido é utilizado no tratamento de sementes do algodão, amendoim, arroz, feijão, soja, trigo e girassol, com ação contra pragas importantes como pulgão-verde-dos-cereais (*Rhopalosiphum graminum*), mosca-branca (*Bemisia tabaci*), cigarrinha-dos-capinzais (*Deois flavopicta*), lagarta-elasma (*Elasmopalpus lignosellus*), vaquinha-verde-amarela (*Diabrotica speciosa*) e cupins (*Procornitermes triacifer*). O produto é aplicado uma única vez como tratamento

de sementes, utilizando-se volumes de calda adequados para cada cultura (Syngenta, 2022).

O produto contendo Tiametoxam como princípio ativo é indicado para o tratamento de sementes de culturas como algodão, amendoim e arroz e milho. Sua função é proteger essas culturas contra pragas de solo e insetos que afetam as plantas nas fases iniciais de desenvolvimento. De acordo com a bula, tem efeito validado no controle de diversas pragas como pulgão-do-algodoeiro (*Aphis gossypii*), lagarta-elasma (*Elasmopalpus lignosellus*), tripes-do-amendoim (*Enneothrips flavens*) e cupim (*Procornitermes triacifer*). Também é eficaz contra nematoides, como o nematoide-degalhas (*Meloidogyne incognita*) e o nematoide-das-lesões (*Pratylenchus brachyurus*) (Bayer S.A., 2022).

Já o princípio ativo Glifosato é utilizado como herbicida sistêmico no controle de plantas infestantes em várias culturas além do milho, como algodão, arroz, cana-de-açúcar, soja, trigo, e frutíferas, como banana, maçã e citros. Atua inibindo a enzima EPSP sintase, essencial para a síntese de aminoácidos nas plantas, o que leva à morte das ervas daninhas. É aplicado em pré-plantio ou pós-emergência, sendo altamente eficaz no controle de espécies de folhas largas e estreitas, como braquiária, capim-colchão e tiririca (Copalliance S.A., 2018).

A ausência de halos ao redor dos discos confirma que não há inibição no crescimento dos microrganismos presentes no inoculante, evidenciando que as moléculas testadas (Tiodicarbe, Imidacloprido, Tiametoxam e Glifosato) não afetam a viabilidade dos microrganismos dentro das concentrações avaliadas (Figura 4).

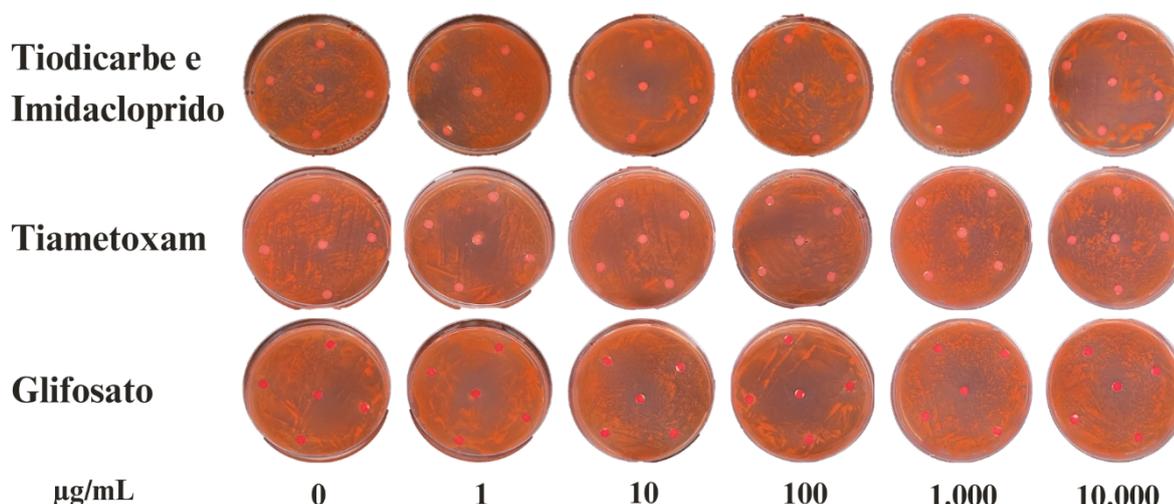


Foto: Fabiane F. Souza.

Figura 4. Compatibilidade do inoculante BiomaPhos e produtos comerciais em diferentes concentrações, comumente utilizados no tratamento de sementes de milho e no controle de plantas daninhas na cultura.

Porém recomenda-se que o tratamento de sementes seja realizado em local específico e bem arejado, utilizando-se equipamentos apropriados para garantir a distribuição uniforme dos produtos sobre as sementes e que, após a inoculação e uma boa secagem do inoculante na semente, já ocorra o plantio, para evitar ao máximo o contato do químico da semente tratada com o biológico. Quando o tratamento químico das sementes for realizado na fazenda, ele deve ser feito primeiro e, após um tempo de secagem de pelo menos 30 minutos, o BiomaPhos deve ser aplicado, utilizando-se um tanque de mistura separado, para evitar qualquer interação indesejada entre os componentes e assegurar a máxima eficácia do inoculante (Oliveira-Paiva et al., 2021).

Desempenho agrônômico do milho sob diferentes métodos de aplicação do inoculante BiomaPhos em condições de campo

Produtividade e massa seca

A inoculação com o BiomaPhos realizada via tratamento de sementes e pela pulverização no sulco de plantio, com 50% da dose recomendada (DR) de P, resultou em maiores produtividades de grãos do milho (8.007 kg ha⁻¹ e 7.840 kg ha⁻¹, respectivamente) durante a safra de 2022/2023 (Tabela 3). Em seguida, vieram os tratamentos com o método de pulverização no estádio V3, não inoculado com 100% da DR de P e não inoculado com 50% da DR de P, que foram superiores à testemunha absoluta em P e sem o inoculante (Tabela 3). A pulverização no estádio V3 é realizada depois que a planta já está estabelecida no solo, no estágio inicial do desenvolvimento vegetativo. Nesse momento, o inoculante é aplicado superficialmente no solo, o que limita o contato direto com as raízes. Sabe-se que, uma vez que a colonização da raiz é estabelecida, as cepas de *Bacillus* têm maior probabilidade de desempenhar suas funções benéficas para o crescimento das plantas (Oliveira-Paiva et al., 2024), sugerindo que a aplicação do inoculante em estágios mais precoces, como na semente e no sulco, quando as raízes estão em desenvolvimento e mais receptivas à colonização, resultam em benefícios mais significativos para a produtividade. O inoculante é composto por duas cepas de *Bacillus* (*B. megaterium*; *B. subtilis*). Entre as características fisiológicas delas, destacam-se a formação de esporos, que são estruturas de adaptação e resistência do microrganismo quando formulado e levado ao campo, podendo

assim aumentar a viabilidade do inoculante, e o desempenho na colonização das raízes mesmo quando o produto é aplicado no solo, resultando na promoção do crescimento (Logan et al., 2009; Aysha et al., 2012; Saeid et al., 2018).

É importante destacar que nos tratamentos 3 e 4, inoculados com 50% da DR de P, ou seja, com 50% de redução da dose de P, a produtividade foi estatisticamente superior aos tratamentos com a aplicação de 100% da dose de P sem inoculação. Isso sinaliza a possibilidade de redução das doses de P com o uso desse insumo biológico em condições semelhantes às condições de solo e planta aqui testadas. Essa prática poderia ocorrer principalmente em solos com P disponível acima do nível crítico, embora deva-se ter cautela, uma vez que as condições de solo de cada produtor podem variar bastante, e nem sempre é possível reduzir a dose do fertilizante (Oliveira-Paiva et al., 2024). Ainda é importante ressaltar que o fundamento principal do insumo biológico BiomaPhos é o aumento da eficiência da adubação fosfatada e o uso de nutrientes, pela ação solubilizadora de fosfatos das bactérias (Oliveira-Paiva et al., 2024).

A continuidade da pesquisa na mesma área permite avaliar a consistência e o efeito residual dos tratamentos sobre o desempenho da cultura em um ciclo subsequente.

Os resultados da safra 2023/2024 foram, em partes, semelhantes aos da safra anterior, com as produtividades mais elevadas de grãos de milho sendo alcançadas com a aplicação do inoculante pulverizado no sulco de plantio (8.595 kg ha⁻¹), tratamento de semente (8.053 kg ha⁻¹) e tratamento de semente + pulverização em V3 (8.327 kg ha⁻¹), todos com 50% da dose recomendada de P, e sem inoculação com 100% da dose recomendada de P (8.578 kg ha⁻¹) (Tabela 3). Esses tratamentos foram seguidos pelos tratamentos da pulverização no estádio V3 (7.435 kg ha⁻¹), que não diferiu do tratamento não inoculado com 50% da dose de P (6.813 kg ha⁻¹). Como esperado, o tratamento testemunha sem aplicação de P e sem inoculação apresentou menor produtividade (4.640 kg ha⁻¹) (Tabela 3).

Pesquisas anteriores também relataram resultados semelhantes ao inocular o milho com as cepas do produto comercial, tanto de forma independente quanto em coinoculação. Oliveira-Paiva et al. (2024) relataram que, em Sete Lagoas, MG, a coinoculação com as bactérias CNPMS B119 + CNPMS B2084 resultou em uma produtividade média de 8.593 kg ha⁻¹, superior ao tratamento não inoculado, que apresentou 6.952 kg ha⁻¹, e ao controle, sem fertilizante fosfatado, que apresentou 2.781 kg ha⁻¹. Sousa et al. (2021), por sua vez,

observaram produtividades de 9.082,85 kg ha⁻¹ (CNPMS B2084) e 8.659,41 kg ha⁻¹ (CNPMS B119) na ausência de P, e 8.688,74 kg ha⁻¹ (CNPMS B2084) e 10.084,73 kg ha⁻¹ (CNPMS B119) com 100% de P aplicado. Esses resultados destacam que os métodos de aplicação dos inoculantes em sementes, sementes + V3, ou no sulco de plantio são eficazes, garantindo produtividades comparáveis aos valores encontrados na literatura.

A estimativa de acúmulo de massa seca na safra de 2022/2023 variou de 5.188 a 6.489 kg ha⁻¹, sem que houvesse diferença significativa dos tratamentos sobre as variáveis analisadas. Entretanto, foi observada diferença estatística apenas entre o controle durante a safra 2023/2024, que não recebeu inoculação e nem adubação fosfatada, em relação aos demais tratamentos que não diferiram entre si (Tabela 3).

Tabela 3. Produtividade de grãos (Prod.) e produtividade de massa seca da parte aérea das plantas do milho em função de diferentes doses de P e métodos de aplicação do inoculante fosfatado BiomaPhos, nas safras 2022/2023 e 2023/2024.

Tratamentos	Dose de P (% da DR)	Prod. (kg ha ⁻¹)		Massa seca (kg ha ⁻¹)	
		2022/2023	2023/2024	2022/2023	2023/2024
Não inoculado	0	5.157 c	4.640 c	5.188 a	5.753 b
Não inoculado	50	6.880 b	6.813 b	6.252 a	8.298 a
Tratamento de semente	50	8.007 a	8.053 a	6.233 a	7.604 a
Pulverização no sulco	50	7.840 a	8.595 a	6.489 a	8.366 a
Pulverização em V3	50	7.110 b	7.435 b	5.930 a	8.265 a
Tratamento de semente + pulverização em V3 ¹	50	-	8.327 a	-	7.802 a
Não inoculado	100	7.245 b	8.578 a	5.786 a	7.802 a
CV (%)	-	7,37	11,34	15,55	13,74

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Skott & Knott ($p \leq 0,10$).

⁽²⁾A safra 2023/2024 manteve os mesmos tratamentos da anterior, com adição de um novo tratamento: aplicação do inoculante via tratamento de semente e a reaplicação do inoculante no estágio V3 (reinoculação) da planta do milho utilizando 50% da dose recomendada de P₂O₅.

Acúmulo de nutrientes nos grãos

Para os acúmulos de N, P e K nos grãos, observou-se que os tratamentos que receberam aplicação do inoculante (3, 4 e 5) apresentaram

resultados similares entre si, sem diferenças estatísticas significativas, inclusive o tratamento do inoculante pulverizado na fase V3, sendo superiores aos tratamentos sem inoculação (1, 2 e 7) (Figura 5).

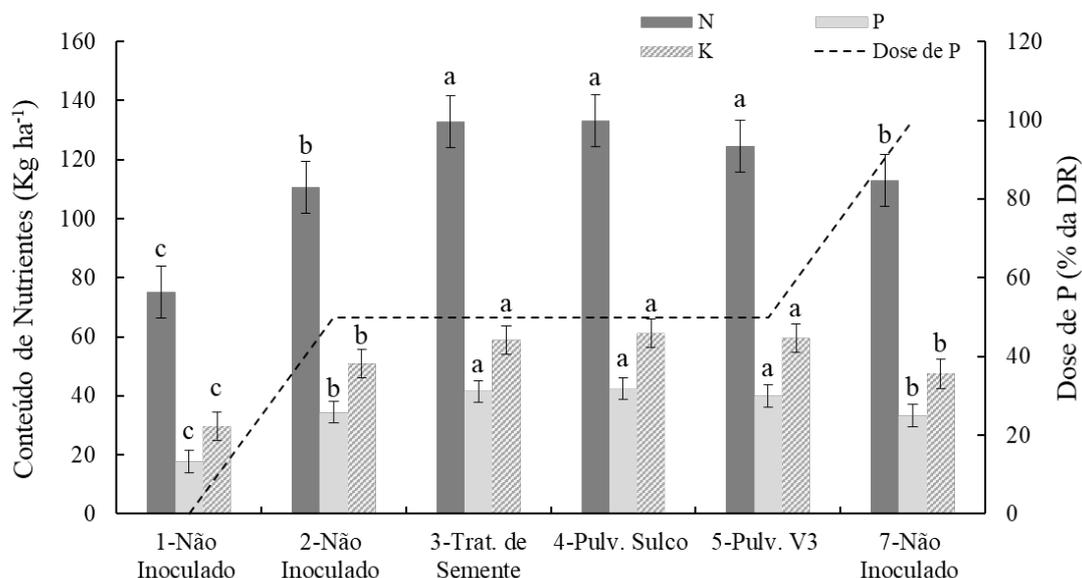


Figura 5. Conteúdo de N, P e K nos grãos das plantas do milho em função de diferentes doses de P e métodos de aplicação do inoculante fosfatado BiomaPhos, na safra 2022/2023. Barras no mesmo padrão de identificação com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Skott & Knott ($p \leq 0,10$).

Os resultados dos tratamentos inoculados, que apresentaram maiores quantidades de P exportados pelos grãos, em comparação aos tratamentos não inoculados, podem ser explicados pela ação nas formas orgânicas de P das enzimas fitase e fosfatase produzidas pelas duas cepas de *Bacillus* presentes no inoculante (Oliveira-Paiva et al., 2024) e pela solubilização de formas inorgânicas de P. As cepas de *Bacillus* presentes no inoculante possuem também a capacidade de produzir sideróforos, exopolissacarídeos (EPS), biofilmes e, especialmente, ácido indolacético (AIA) (Oliveira-Paiva et al., 2024). Esses compostos contribuem diretamente para o crescimento e o aumento da área superficial específica das raízes, o que favorece a absorção inicial de nutrientes e água (Sousa et al., 2012, 2021).

Conclusões

A avaliação da combinação do inoculante BiomaPhos com os produtos contendo como princípio ativo Tiodicarbe, Imidacloprido, Tiametoxam e Glifosato demonstrou que não há incompatibilidade nas concentrações testadas (0 a 10.000 µg mL⁻¹).

Os métodos de aplicação do inoculante BiomaPhos de forma pulverizada no sulco, via tratamento de semente, e o tratamento de semente somado com a reaplicação pulverizada no estágio V3 garantiram maiores produtividades e melhor qualidade nutricional dos grãos de milho. Porém é evidente que a aplicação do inoculante via tratamento de sementes e a aplicação via sulco de plantio se destacam como estratégias mais eficientes para aumentar a produtividade das plantas de milho, levando em consideração os custos de uma segunda aplicação do inoculante na área.

Há possibilidade de reduzir a dose de P a ser aplicada quando da utilização do BiomaPhos, embora deva-se ter cautela nessa prática e considerar cada característica particular dos ambientes de produção, com foco na disponibilidade de P no solo.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Milho e Sorgo), pela empresa Bioma Indústria Comércio e Distribuição Ltda., pela Fapemig, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)/ INCT/Plant-Growth Promoting Microorganisms for Agricultural Sustainability and Environmental

Responsibility (Grant n. 465133/20142, Fundação Araucária-STI, Capes) e pelo Finep/CT AGRO/FNDCT (Acordo de Cooperação nº 01.22.0080.00, Ref. 1219/21).

Referências

- ABREU, C. S. de; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; SANTOS, V. L. dos; GOMES, E. A.; RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. de A.; LANA, U. G. de P.; MARRIEL, I. E. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, gmr16019294, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr16019294>.
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for sustainable agriculture. **Frontiers Microbiology**, v. 8, article 971, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>.
- AYSHA, O. S.; VINOTHKUMAR, P.; VASUKI, S.; VALLI, S.; NIRMALA, P.; REENA, A. PGPR *Bacillus* species isolated from tomato plant: a comparative study on coconut water enrichment. **International Journal of Bioassays**, v. 1, n. 11, p. 131-137, 2012.
- BAYER S. A. **Proteção de cultivos CropStar**: tratamento de sementes. São Paulo, 2022. Bula do produto. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/d/tratamento-de-sementes-bcs-cropstar-br>. Acesso em: 10 set. 2024.
- CONAB. **Milho - Conjuntura semanal**: 05-08 a 09-08-2024. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-de-conjunturas-de-milho/item/24192-milho-conjuntura-semanal-12-08-2024>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- COPALLIANCE S.A. **Glifocopa 720 WG**. Campinas, 2018. Bula do produto Disponível em: https://www.copalliance.com/midias/midias/Glifocopa-720-WG-Bula-25-01-2023-GDA_1677194284.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.
- COSTA, F. S. F. D. **Desenvolvimento e avaliação de biofertilizantes à base de alginato de cálcio: uma abordagem sustentável para o cultivo de plantas**. 2023. 110 f. Dissertação (Doutorado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Vila Velha, Vila Velha,

2023. Disponível em: <https://pgbv.uenf.br/wp-content/uploads/2024/03/2023-DS-Fernanda-Senna-Ferreira-Costa.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

EMBRAPA. **Aplicativo Bioinsumos**. Brasília, DF, 2020. Tecnologias. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnicas/-/produto-servico/7227/aplicativo-bioinsumos>. Acesso em: 5 fev. 2023.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Alternative methods of soybean inoculation to overcome adverse conditions at sowing. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 23, p. 2329-2338, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.8687>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 18 jul. 2024.

KALAYU, G. Microrganismos solubilizadores de fosfato: abordagem promissora como biofertilizantes. **International of Journal Agronomy**, v. 2019, article 4917256, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; WANI, P. A. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 27, p. 29-43, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1051/agro:2006011>.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (ed.). **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936.

LOGAN, N. A.; BERGE, O.; BISHOP, A. H.; BUSSE, H.-J.; DE VOS, P.; FRITZE, D.; HEYNDRIK, M.; KÄMPFER, P.; RABINOVITCH, L.; SALKINOJA-SALONEN, M. S.; SELDIN, L.; VENTOSA, A. Proposed minimal standards for describing new taxa of aerobic, endospore-forming bacteria. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 59, n. 8, p. 2114-2121, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijs.0.013649-0>.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F. dos; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, p. 129-156, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SANTOS, F. C. dos; COTA, L. V.; SOUSA, S. M. de; ALVES, V. M. C.; LANA, U. G. de P.; SOUZA, F. F. de. **Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos)**: dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 252).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; SOUSA, S. M. de; RIBEIRO, V. P.; SANTOS, F. C. dos; LANA, U. G. de P.; SOUZA, F. F. de; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E. Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 1426166, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1426166>.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 1782-1787, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.01.012>.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JÚNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do BiomaPhos (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210).

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEISI, 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. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>.

PEREIRA, H. S. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **Revista Visão Agrícola**, n. 9, p. 43-46, 2009.

SAEID, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANIEK, J. Phosphorus solubilization by *Bacillus* species. **Molecules**, v. 23, n. 11, 2897, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23112897>.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SOUSA, S. M. de; CLARK, R. T.; MENDES, F. F.; OLIVEIRA, A. C. de; VASCONCELOS, M. J. V. de; PARENTONI, S. N.; KOCHIAN, L. V.; GUIMARÃES, C. T.; MAGALHÃES, J. V. A role for root morphology and related candidate genes in P acquisition efficiency in maize. **Functional Plant Biology**, v. 39, n. 11, p. 925-935, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP12022>.

SOUSA, S. M. de; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G. de; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield.

Journal of Plant Growth Regulation, v. 40, p. 867-877, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil**: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Wiley, 1986. 380 p.

SYNGENTA. **Cruiser 350 FS**. São Paulo, 2022. Disponível em: https://maisagro.syngenta.com.br/wp-content/uploads/2024/08/BULA_CRUISER_350_AGOSTO_2022.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

SZOPA, D.; MIELCZAREK, M.; SKRZYPCZAK, D.; IZYDORCZYK, G.; MIKOLA, K.; CHOJNACKA, K.; KROWIAK, A.-W. Encapsulation efficiency and survival of plant growth-promoting microorganisms in an alginate-based matrix: a systematic review and protocol for a practical approach. **Industrial Crops and Products**, v. 181, 114846, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114846>.