

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

GUILHERME SOUTO DA SILVA

**ASSOCIAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO E
FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO DESENVOLVIMENTO DA
SOJA**

CHAPADÃO DO SUL-MS
2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL CÂMPUS DE
CHAPADÃO DO SUL

**ASSOCIAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO E
FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO DESENVOLVIMENTO DA
SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Profa. Dra. Meire Aparecida
Silvestrini Cordeiro

CHAPADÃO DO SUL-MS
2026



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **Guilherme Souto da Silva.**

ORIENTADORA: **Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul.

Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Profa. Dra. Elisângela de Souza Loureiro
Membro da Banca Examinadora

Msc. Priscilla Maria da Silva Liber Lopes
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 22 de junho de 2026.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, Professora do Magistério Superior**, em 22/06/2026, às 12:43, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Priscilla Maria da Silva Liber Lopes, Técnico de Laboratório Area**, em 22/06/2026, às 14:00, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Elisangela de Souza Loureiro, Professora do Magistério Superior**, em 23/06/2026, às 07:45, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6481462** e o código CRC **1339372E**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Avenida Engenheiro Douglas Ribeiro Pantaleão, nº

5167 Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000484/2026-91
6481462

SEI nº

Dedico

Aos meus familiares, que com amor, sacrifício e dedicação nunca mediram esforços para que eu pudesse alcançar este momento tão especial.

A Deus, fonte de toda graça, e à Virgem Maria, por sua intercessão e cuidado constante em minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda esta caminhada, iluminando meus passos e guiando minhas escolhas.

Aos meus amados pais, Benilson e Ramilda, por todo o amor, dedicação e esforço incansável para que eu pudesse chegar até aqui, vocês são minha base, meu exemplo e minha maior inspiração. Ao meu companheiro de vida, Eduardo, por estar ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio, compreensão, e incentivo, tornando essa jornada mais leve e cheia de sentido.

Aos meus amigos fiéis, pela amizade sincera, pelas palavras de incentivo e por compartilharem comigo tantos momentos importantes ao longo dessa trajetória.

À minha orientadora, Meire, pela paciência, dedicação e ensinamentos valiosos, fundamentais para a realização deste trabalho. A universidade, por proporcionar um ambiente de aprendizado, crescimento acadêmico e desenvolvimento pessoal, contribui de maneira significativa para a minha formação.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste sonho, meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	6
MATERIAL E MÉTODOS.....	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
CONCLUSÕES.....	15
REFERÊNCIAS.....	16

ASSOCIAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO DESENVOLVIMENTO DA SOJA

RESUMO: Bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Azospirillum* liberam ácidos orgânicos que aumentam a disponibilidade de fósforo (P) e estimulam o crescimento das plantas. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) formam uma associação mutualística com as raízes, ampliando a absorção de nutrientes. Assim, ambos favorecem o aproveitamento do fósforo e a eficiência dos sistemas agrícolas. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de inoculantes de bactérias solubilizadoras de fosfato e fungos micorrízicos arbusculares, aplicados de forma isolada ou associada, no desenvolvimento e produtividade da cultura da soja. O estudo foi conduzido em campo, na safra 2024/2025, no área de experimentos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul/ Câmpus de Chapadão do Sul. O delineamento experimental foi em blocos casualizados contendo oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 parcelas. Foram inoculados produtos à base de fungos micorrízicos arbusculares e bactérias solubilizadoras de fosfato, isolados ou associados, sendo os seguintes: 1) Controle (sem inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares e solubilizadores de fosfato); 2) Fungos micorrízicos arbusculares- FMA (consórcio de quatro espécies de FMA- *Glomus mosseae*, *Glomus aggregatum*, *Glomus intraradices* e *Glomus etunicatum*); 3) *Azospirillum brasilense* (AZO); 4) *Bacillus*- BAC (consórcio de *Bacillus amyloliquefaciense* e *Bacillus megaterium*); 5) FMA+AZO; 6) FMA+BAC; 7) AZO+BAC e 8) FMA+AZO+BAC. Na fase de florescimento foi avaliada a massa seca de parte aérea (MSPA^g) e no final de ciclo parâmetros de crescimento (altura de plantas, inserção da primeira vagem, número de vagem e número de grãos por vagem) e produtividade (Kg ha⁻¹). Para altura de plantas, inserção da primeira vagem, número de vagem e número de grãos por vagem não foram observadas diferenças entre os tratamentos. -A associação FMA+AZO aumentou o número de vagens por planta, número de ramos por planta, massa seca de parte aérea e produtividade. O inoculante à base de FMA teve efeito apenas quando associado a um ou mais inoculantes de bactérias solubilizadoras de fosfato, para as variáveis produtividade, número de vagens por planta e número de ramos por planta.

Palavras-chave: bioinsumos, microbiologia do solo, micorriza e rizobactéria

ASSOCIATION OF PHOSPHATE-SOLUBILIZING BACTERIA AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN SOYBEAN DEVELOPMENT

ABSTRACT: Bacteria belonging to the genera **Bacillus** and **Azospirillum** release organic acids that increase phosphorus (P) availability and stimulate plant growth. **Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)** establish a mutualistic association with plant roots, enhancing nutrient uptake. Thus, both microorganisms improve phosphorus utilization and increase the efficiency of agricultural systems. Therefore, the aim of this study was to evaluate the use of phosphate-solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi inoculants, applied either individually or in combination, on soybean growth and yield. The study was conducted under field conditions during the 2024/2025 growing season at the experimental area of the Federal University of Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul Campus, Brazil. The experimental design was a randomized complete block design with eight treatments and four replications, totaling 32 plots. Inoculants based on arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria were applied either individually or in combination, as follows: 1) Control (without AMF or phosphate-solubilizing bacteria inoculation); 2) Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) (consortium of four AMF species: *Glomus mosseae*, *Glomus aggregatum*, *Glomus intraradices*, and *Glomus etunicatum*); 3) *Azospirillum brasilense* (AZO); 4) Bacillus (BAC) (consortium of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus megaterium*); 5) AMF + AZO; 6) AMF + BAC; 7) AZO + BAC; and 8) AMF + AZO + BAC. At the flowering stage, shoot dry matter (SDM, g) was evaluated. At the end of the crop cycle, growth parameters (plant height, first pod insertion height, number of pods per plant, and number of grains per pod) and grain yield (kg ha^{-1}) were assessed. No significant differences among treatments were observed for plant height, first pod insertion height, number of pods per plant, or number of grains per pod. The AMF + AZO combination increased the number of pods per plant, number of branches per plant, shoot dry matter, and grain yield. The AMF-based inoculant showed positive effects only when associated with one or more phosphate-solubilizing bacterial inoculants, particularly for grain yield, number of pods per plant, and number of branches per plant.

Keywords: bioinputs, soil microbiology, mycorrhiza, plant growth-promoting rhizobacteria.

INTRODUÇÃO

A soja consolidou-se como a principal *commodity* produzida no Brasil, desempenhando papel estratégico na economia nacional e no fortalecimento do comércio internacional do país. Em meio século de cultivo, a área plantada com soja ultrapassou 36 milhões de hectares e sua produção na safra de 2020 foi superior a 122 milhões de toneladas (Toloi *et al.*, 2021) e em 2023 a produção representou o Brasil com 154 milhões de toneladas (Vieira filho, 2024). Apesar dos grandes avanços tecnológicos em relação à produção da soja, a carência de nutrientes nos solos brasileiros, especialmente o fósforo (P), tem sido ainda o foco de muitas pesquisas visando o seu melhor aproveitamento pelas plantas.

O fósforo em solos altamente intemperizados apresenta baixa disponibilidade devido à predominância de argilominerais do tipo 1:1 e à elevada concentração de óxidos de ferro. Esses constituintes mineralógicos favorecem intensamente os processos de adsorção e fixação de P, reduzindo sua permanência na solução do solo e restringindo o fluxo difusivo de fósforo (FDP), principal mecanismo de transporte desse nutriente até as raízes das plantas (Melo; Ribeiro; Nogueira, 2025). Pode afetar diretamente os principais componentes de rendimento da cultura da soja, ocasionando redução no porte da planta, diminuição da altura de inserção das primeiras vagens, menor produção, além do abortamento de flores e maior perda dessas estruturas (Dass *et al.*, 2022). Esses fatores contribuem para a queda da produtividade da cultura e para a redução da qualidade fisiológica das sementes (Werner *et al.*, 2020).

Considerando que o esgotamento das reservas naturais fosfato está previsto para ocorrer ainda neste século, em função da exploração predatória e da baixa eficiência nos processos de extração (Sasabuchi *et al.*, 2023), e ainda a facilidade de adsorção nas frações do solo, uma fração significativa da comunidade microbiana edáfica tem sido estudada por apresentar a capacidade de mineralizar compostos fosfatados orgânicos e solubilizar formas inorgânicas de fósforo no solo, promovendo, assim, a liberação de frações assimiláveis pelas plantas (Oliveira, 2025).

Dentre esses microrganismos estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) que desenvolvem uma associação simbiótica com as raízes das plantas, favorecendo à absorção

de água e nutrientes, principalmente fósforo (P). Essa interação ocorre porque as hifas dos fungos se estendem pelo solo além da zona explorada pelas raízes, ampliando a área de absorção e permitindo o acesso a formas de P com baixa disponibilidade. Além disso, os FMA estimulam a liberação de ácidos orgânicos e enzimas fosfatases, responsáveis pela solubilização e mineralização de fosfato insolúveis presentes no solo. As hifas ainda conseguem atingir microporos inacessíveis aos pelos radiculares, aumentando a exploração do solo e contribuindo para o transporte de P até as células radiculares (Pang *et al.*, 2024).

Outros microrganismos importantes para agricultura são as bactérias dos gêneros *Azospirillum* e *Bacillus*, que solubilizam fosfato e vem se destacando na composição de inoculantes para as planras. *A. brasilense* apresenta potencial para aumentar a disponibilidade de fósforo (P) no solo por meio de mecanismos biológicos relacionados à interação entre microrganismo, solo e planta, como a exsudação de ácidos orgânicos (ácidos málico, oxálico e glutâmico), favorece a complexação de íons Al^{3+} associados ao fosfato de alumínio ($AlPO_4$), promovendo a liberação do íon fosfato (PO_4^{3-}) para a solução do solo e agem como sideróforos, quelando, especialmente alumínio (Al^{3+}) e ferro (Fe^{2+}), presentes nos óxidos insolúveis de Fe e Al, contribuindo para o aumento da disponibilidade de fósforo no solo (Silva *et al.*, 2025). As bactérias do gênero *Bacillus* solubilizam o fósforo, através da produção de enzimas fosfatase e de ácidos orgânicos como láctico, acético, succínico, glucônico, dentre outros, convertendo formas não lábeis de fósforo do solo em frações disponíveis para absorção pelas plantas (Saeid; Prochownik; Dobrowolska-Iwanek, 2018).

Diante do exposto, e considerando a crescente disponibilidade de inoculantes à base de microrganismos atuantes no ciclo do fósforo, destaca-se a importância de avaliar essas interações em condições de campo. Esse esforço é essencial para aprofundar a compreensão sobre a dinâmica microbiana, os processos de solubilização de fosfatos e os reflexos no desenvolvimento das plantas. O objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de inoculantes a base de bactérias solubilizadoras de fosfato e fungos micorrízicos arbusculares, aplicados de forma isolada ou associada, no desenvolvimento da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão do Sul-MS (UFMS/CPCS), localizada a 18°48'459" de latitude Sul, 52°36'003" de longitude Oeste e à 820 m de altitude. O clima da região é classificado como tropical úmido, apresentando temperaturas médias anuais entre 13 e 28 °C e precipitação pluvial média de 1.850 mm, com regime caracterizado por estação chuvosa no verão e seca no inverno (Cattelan *et al.*, 2024). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, segundo Santos *et al.* (2024). Na Figura 1 estão os valores de temperatura e precipitação no período do experimento.

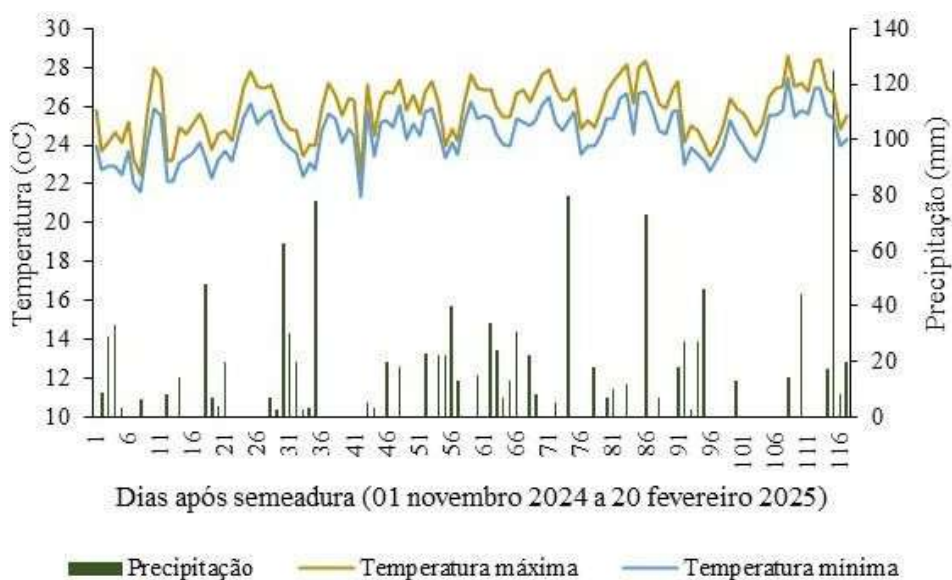


Figura 1. Médias de temperatura máxima, temperatura mínima e índice pluviométrico na área experimental do Câmpus da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul-MS, durante o período do experimento.

Antes da implantação do experimento foi realizada uma amostragem de solo na camada de 0-20 cm de profundidade, para avaliação química do solo encontrando-se os seguintes resultados: pH (CaCl₂) = 5,5; P (Mel.), K, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn = 23,8; 90,8; 5,8; 0,47;

1,19; 27,07; 13,88; 6,89 mg dm⁻³, respectivamente; Ca, Mg, H+Al e CTC = 5,02; 1,52; 3,67; 10,44 cmolc dm⁻³, respectivamente e V% = 64,85. Os valores para textura do solo foram: argila = 495 g dm³, silte = 50 g dm³ e areia = 455 g dm³. Foi realizada a dessecação da área, 20 dias antes da semeadura com glifosato na dosagem de 3 L ha⁻¹ do produto comercial Zapp[®]. No dia anterior à semeadura, foram utilizados trator e a semeadora para a realização da riscagem e à adubação em sulco da área. Foram utilizados os adubos super simples, como fonte de fosfato, na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (representando 50% da dose recomendada) e cloreto de potássio, na dose de 50 kg ha⁻¹ de K₂O. A semeadura da soja foi realizada no dia 12 de novembro de 2024.

A semente utilizada foi da cultivar de soja Pionner Brasmax 66E pertence ao grupo de maturação 6.6 e hábito de crescimento indeterminado. Contém a tecnologia Enlist E3[®], que oferece tolerância aos herbicidas 2,4-D, glifosato e glufosinato de amônio, conferindo flexibilidade para o controle de plantas daninhas. É um material de alto potencial produtivo, excelente engalhamento e alta ramificação, sendo recomendada o plantio para regiões mais quentes e de menor altitude do Sul do Brasil e Mato Grosso do Sul, com distribuição de 15 sementes por metro linear. Cada parcela experimental foi composta de cinco linhas de cinco metros de comprimento e com espaçamento de 0,5 m entre linhas. Entre as parcelas havia um espaço de 1 m, para melhor condução.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados contendo oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 parcelas. Foram inoculados produtos à base de fungos micorrízicos arbusculares e bactérias solubilizadoras de fosfato, isolados ou associados, sendo os seguintes: 1) Controle (sem inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares e solubilizadores de fosfato); 2) Fungos micorrízicos arbusculares- FMA (consórcio de quatro espécies de FMA-Glomus mosseae, G. aggregatum, G. intraradices e G. etunicatum); 3) Azospirillum brasilense (AZO); 4) Bacillus- BAC (consórcio de B. amyloliquefaciense e B. megaterium); 5) FMA+AZO; 6) FMA+BAC; 7) AZO+BAC e 8) FMA+AZO+ BAC.

O produto comercial à base de fungos micorrízicos arbusculares utilizado nos tratamentos foi o Endofuse[®], da empresa Sumitomo Chemical, na dose de 15 mL ha⁻¹, contendo 22.500 esporos mL⁻¹, composto pelas espécies G. mosseae, G. aggregatum, G. intraradices e G. etunicatum. Para os tratamentos com A. brasilense, foi utilizado o produto

comercial Vigorgeo Azos®, da empresa Microgeo, na dose de 200 mL ha⁻¹, contendo as cepas Ab-V5 e Ab-V6 com 2×10^8 UFC mL⁻¹ de células viáveis. O inoculante a base de Bacillus, composto pelas espécies *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis*, na dose de 100 mL ha⁻¹, com 5×10^9 mL de células viáveis, para ambas as espécies, da empresa Simbiose. Todos os tratamentos foram realizadas à inoculação das bactérias fixadoras de nitrogênio, *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5080) e *B. elkanii* (SEMIA 587) nas sementes com 7×10^9 UFC/mL, pouco antes da semeadura do experimento, agitando-se bem para homogeneização.

Para condução do experimento, quando a cultura estava no estágio vegetativo V6 (sexto nó e a quinta folha trifoliolada totalmente desenvolvida), foi realizada uma adubação de cobertura de cloreto de potássio, na dose de 50 kg ha⁻¹, aplicando-se manualmente na parcela. Quando a cultura entrou no estágio de floração (R) foi realizada coleta de três plantas de cada parcela, para avaliação de massa seca de parte aérea (MSPA). Para realizar essa avaliação, a parte aérea das plantas foram lavadas em água corrente, pesadas e levadas à estufa a 65 °C por 48 horas. Ao final desse período, as amostras foram pesadas em balança digital para obtenção da MSPA (g).

Antecedendo à colheita foram retiradas das três linhas centrais de cada parcela (área útil da parcela), três plantas no estágio R7 (início da maturação fisiológica, caracterizada pela presença de ao menos uma vagem com coloração madura na haste principal e pelo início da senescência das folhas e da perda da coloração verde da planta), para as avaliações de final de ciclo, sendo elas: altura total da planta (ALT), altura da inserção da primeira vagem (ALTV), número de vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de nós por planta (NNP), número de ramos por planta (NRP). A colheita das plantas da área útil da parcela foi realizada de forma manual, no dia 07 de março de 2025 e posteriormente, foi realizada a trilhagem, calculando-se a produtividade (PROD) à partir do peso total dos grão da parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Posteriormente, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar, em sua versão 5.6 para Windows (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso dos inoculantes a base de microrganismos solubilizadores de P e de fungos micorrízicos arbusculares, de forma isolada ou associada proporcionaram diferença significativa em relação a testemunha nas seguintes variáveis estudadas: número de vagens por planta (NVP), número de ramos por planta (NRP), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de grãos (PROD) da cultura da soja. Não foram observadas diferenças estatísticas para as variáveis altura de plantas (ALT), altura de inserção da primeira vagem (ALTV), número de grãos por vagem (NGV) e número de nós por planta (NNP) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância para características de desenvolvimento e produtividade da soja com a utilização de inoculantes a base de bactérias solubilizadoras de fosfato e fungos micorrízicos arbusculares, aplicados de forma isolada ou associada, safra 2024/2025.

FV	GL	Quadrado Médio (QM)							
		ALT	ALTV	NVP	NGV	NNP	NRP	MSPA	PROD
Tratamentos	7	11,73 ^{ns}	1,46 ^{ns}	361,62*	0,02 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,15*	0,71*	206995,39*
Bloco	3	9,89	2,33	8,90	0,01	0,83	0,36	0,43	13530,42
Erro	21	14,16	0,62	69,42	0,01	1,36	0,14	0,19	27212,94
CV (%)		4,24	5,59	12,32	6,08	8,66	8,14	8,05	3,30

ALT (cm): altura de plantas, ALTV (cm): altura de inserção da primeira vagem, NNP: número de nós por planta, NRP: número de ramos por planta, NVP: número de vagens por planta, NGV: número de grãos por vagem, MSPA: massa seca da parte aérea (g) e PROD (Kg ha⁻¹): produtividade de grãos de soja, * significativo e ^{ns} não significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade e CV: coeficiente de variação.

Para a variável NVP, foram verificados que todos os tratamentos com associações de inoculantes, FMA+AZO, FMA+BAC, AZO+BAC e FMA+AZO+BAC apresentaram médias iguais entre si, e superiores ao controle e aos tratamentos com os inoculantes isolados (Tabela 2). A capacidade dos microrganismos estudados nessa pesquisa, de

solubilizar o fosfato (Silva *et al.*, 2025) e/ou facilitar o acesso desse nutriente pelas plantas (Pang *et al.*, 2024), bem como de produzir substâncias promotoras de crescimento de plantas (Marchão *et al.*, 2025), podem ter atuado de forma sinérgica e contribuído para os resultados dessa variável. Segundo Leite *et al.* (2022), o aumento de vagens provavelmente está relacionado à capacidade desses microrganismos de produzir fitormônios ou estimular sua produção pela planta, com destaque para a citocinina é apontada como um dos principais reguladores associados ao aumento da formação e retenção de vagens na soja.

Tabela 2. Médias das variáveis número de vagens por planta (NVP), número de ramos por planta (NRP) e massa seca da parte aérea (MSPA) na cultura da soja com a utilização de inoculantes de bactérias solubilizadores de fosfato e fungos micorrízicos arbusculares, aplicados de forma isolada ou associada, safra 2024/2025.

FV	NVP	NRP	MSPA (g)
Controle	58,00 b	4,32 b	5,17 b
FMA	65,08 b	4,02 b	5,23 b
AZO	64,15 b	5,00 a	5,13 b
BAC	53,16 b	3,90 b	5,51 b
FMA + AZO	80,33 a	4,81 a	6,42 a
FMA + BAC	69,25 a	5,40 a	5,43 b
AZO + BAC	72,00 a	4,91 a	5,81 a
FMA + AZO + BAC	79,00 a	5,08 a	5,48 b

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste Scott Knott, a 5 % de probabilidade. FV: fonte de variação, FMA- Fungos micorrízicos arbusculares; AZO- *Azospirillum brasilense*, BAC-*Bacillus*.

Para NRP, todos os tratamentos com associações de inoculantes e o tratamento com AZO, de forma isolada, apresentaram maiores médias que o tratamento controle e os tratamentos FMA e BAC de forma isolada (Tabela 2). A ramificação da soja é uma característica predominantemente genética, porém o uso de alguns microrganismos

promotores de crescimento favorece essa variável, tendo seu efeito atribuído à produção de fitormônios, especialmente auxinas, que estimulam o crescimento das plantas, aumentam a disponibilidade de nutrientes, pela solubilização de fosfato e estimulam o crescimento radicular, fatores que ampliam a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas (Marchão *et al.*, 2025).

As associações dos inoculantes FMA+AZO e AZO+BAC apresentaram as maiores médias para MSPA (Tabela 2), sendo 13% a mais que as médias dos demais tratamentos e controle. O estudo de Sharma *et al.* (2020), demonstrou que a interação entre fungos micorrízicos arbusculares e bactérias solubilizadoras de fósforo promove maior acúmulo de biomassa vegetal e desenvolvimento das plantas, devido à complementaridade funcional entre os microrganismos, aumentando a absorção de nutrientes, destacando-se o P, para este estudo. A inoculação de microrganismos que produzem substâncias de crescimento de plantas e solubilizam nutrientes, como observado no tratamento AZO+BAC, também pode ter ocorrido sinergismo de funções, ou seja, enquanto o *A. brasilense* pode ter estimulado o crescimento radicular (Terra *et al.*, 2024), as bactérias do gênero *Bacillus* solubilizaram o fosfato e o tornou disponível, para exploração radicular, o que incrementou o desenvolvimento das plantas de soja, observado através da variável MSPA.

Os tratamentos BAC, FMA+AZO, FMA+BAC e FMA+AZO+BAC proporcionaram os maiores valores de produtividade da cultura da soja para este estudo, representando, em média, 7% a mais que os demais tratamentos e o controle (Figura 2).

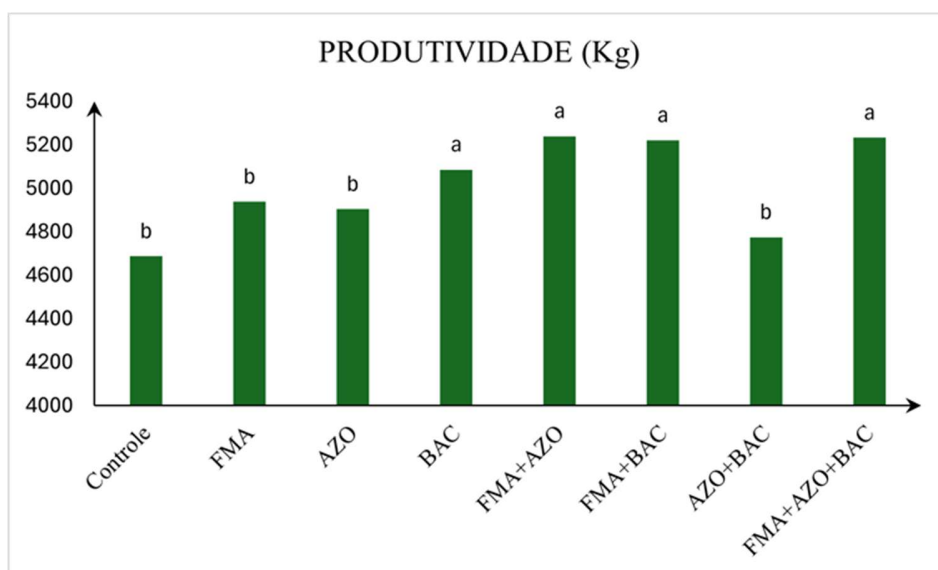


Figura 2. Produtividade de grãos da cultura da soja com a utilização de inoculantes a base de bactérias solubilizadoras de fosfato e fungos micorrízicos arbusculares, aplicados de forma isolada ou associada. Tratamentos: Controle, Fungos micorrízicos arbusculares (FMA), *Azospirillum brasilense* (AZO); 4) *Bacillus-* (BAC); FMA+AZO; FMA+BAC; AZO+BAC e FMA+AZO+ BAC.

Verificou-se que a aplicação de FMA de forma isolada não influenciou na produtividade da soja, se igualando ao tratamento controle (Figura 2), porém em todos os tratamentos que ele foi associado a uma ou mais espécies bactérias solubilizadoras de fosfato, foram verificados incrementos em produtividade. Fato também observado para a maioria das avaliações de desenvolvimento da soja (Tabela 2).

Ao observar a análise de solo, verifica-se que área experimental estava com níveis considerados muito alto para o nutriente fósforo (23,8 mg dm⁻³ de P- Melich) (Reis *et al.*, 2020), e mesmo assim, para seguir práticas de adubação da região, foi realizada na semeadura, uma adubação com a metade da dose recomendada para manutenção de fósforo no solo. Apesar desse indicativo da alta disponibilidade de P no solo, verificou-se efeitos positivos dos tratamentos com FMAs. Segundo Wang *et al.* (2023), em solos com alto teor de fósforo solúvel, os benefícios da micorriza tendem a diminuir porque a planta passa a depender menos da associação micorrízica para adquirir fósforo, pois estão em níveis ótimos para seu desenvolvimento.

O tratamento FMA+AZO obteve a maior média absoluta (5240,40 Kg) para produtividade da soja, o que representa um aumento de aproximadamente 11,8% em relação ao tratamento Controle (4687,95 Kg). É conveniente observar, que o tratamento FMA+AZO, para as variáveis que apresentaram respostas nesta pesquisa, foi o que influenciou simultaneamente todas elas (Tabela 2, Figura 2). Shamohammadi *et al.* (2026) relatam que ocorre um efeito sinérgico, onde os fungos micorrízicos expandem a exploração do solo através das hifas (estruturas tubulares filamentosas multicelulares que constituem o micélio dos fungos), aumentando a absorção de água, fósforo e nitrogênio, enquanto o *Azospirillum* contribui com a produção de fitormônios, especialmente auxinas, que estimulam o crescimento radicular. A relação do fungo micorrízico com a bactéria diazotrófica pode ter criado uma interface de absorção de nutrientes e estímulo hormonal,

muito superior à microbiota nativa, o que refletiu em maior desenvolvimento (Campo; Rodrigues; Paiva, 2025) e produtividade da soja.

Nem todas as associações de microrganismos resultaram em ganhos no desenvolvimento e produtividade da cultura da soja, nesta pesquisa (Tabela 1). Segundo Wang *et al.*, (2023), diferentes microrganismos podem competir por nichos ecológicos, exsudatos radiculares e locais de colonização, reduzindo a eficiência da associação, demonstrando que interações antagonísticas dentro da microbiota podem limitar ou modificar os efeitos promotores de crescimento esperados, fato esse que pode ter ocorrido no tratamento AZO+BAC. Dessa forma, estudos como este evidenciam a necessidade de pesquisas adicionais, especialmente em condições de campo, onde já existe uma comunidade microbiana estabelecida. Investigações sobre a compatibilidade entre inoculantes e a influência das condições edafoclimáticas são fundamentais para otimizar o uso dessas tecnologias e ampliar sua contribuição para a sustentabilidade da agricultura.

CONCLUSÃO

A associação dos inoculantes de fungos micorrízicos arbusculares (*Glomus mosseae*, *Glomus aggregatum*, *Glomus intraradices* e *Glomus etunicatum*) e de bactérias solublizadoras de fosfato, a base de *Azospirillum brasilense* (FMA+AZO), aumentando o número de vagens por planta, número de ramos por planta, massa seca de parte aérea e produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASMAX. **Brasmax Raça E**. Disponível em: <<https://brasmaxgenetica.com.br/cultivares/racae>>. Acesso em: 25 jun. 2026.
- CAMPOS, C. R.; RODRIGUES, V. A.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. Impacto da inoculação e coinoculação de *Azospirillum* e *Bacillus* na taxa de colonização de fungos micorrízicos em plantas de milho sob diferentes doses de fósforo. **Embrapa.br**, p. 46-52, 2025.
- CATTELAN, L. G.; MATTOS, C. R. C.; PAMPLONA, M. B.; HIROTA, M. Mapeamento das Regiões Climáticas do Cerrado: Padrões Gerais e Mudanças Futuras. **International Journal of Climatology**, v. 44, e. 16, p. 5857-5872, 2024.
- DASS, A. et al. Aplicação foliar de macro e micronutrientes melhora a produtividade, o retorno econômico e a eficiência do uso de recursos da soja em um clima semiárido. **Sustainability**, v. 14, n. 10, p. 5825, 2022.
- 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, 2019.
- LEITE, R. D. C. et al. Increase in yield, leaf nutrient, and profitability of soybean co-inoculated with *Bacillus* strains and Arbuscular mycorrhizal fungi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, 2022.
- MARCHÃO, R. L. et al. Melhorando o desenvolvimento da soja e o rendimento de grãos por meio da inoculação complementar com bactérias promotoras de crescimento *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Priestia* e *Bacillus*. **Plantas**, v. 14, n. 3, p. 402-402, 2025.
- MELO, P. P. A. S.; RIBEIRO, V. G. S.; NOGUEIRA, S. L. Difusão de fósforo no solo a partir de fertilizantes fosfatados cogeranulados com óxido de grafeno. **Perquirere**, v. 22, n. 2, p. 26-37, 2025.
- OLIVEIRA, C. N. A. Interação raiz x microrganismos solubilizadores de fosfato para o uso eficiente de fósforo no cultivo do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris*). **Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, Botucatu**, 2025.
- PANG, F. et al. Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by phosphate-solubilizing microorganisms. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 2024.
- REIS, J. V. D.; ALVAREZ V. V. H.; DURIGAN, R. D.; PAULUCIO, R. B.; CANTARUTTI, R. B. Interpretation of soil phosphorus availability by Mehlich-3 in soils with contrasting phosphorus buffering capacity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1-21, 2020.

SAEID, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANIEK, J. Phosphorus Solubilization by *Bacillus* Species. **Molecules**, v. 23, n. 11, p. 2897, 2018.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2024.

SASABUCHI, I. T. M. et al. Sustentabilidade no uso de fósforo: uma revisão bibliográfica com foco na situação atual do estado de São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 46, n. 2, p. 185-198, 2023.

SHAMOHAMMADI, N. et al. Effects of Mycorrhiza, PGPBs, and Nitrogen Levels on Maize SC706 Under Water Deficit Conditions. **The Philippine Agricultural Scientist**, v. 109, n. 1, p. 47–62, 2026.

SHARMA, S. et al. The interaction between *Rhizoglossum irregulare* and hyphae attached phosphate solubilizing bacteria increases plant biomass of *Solanum lycopersicum*. **Microbiological Research**, v. 240, p. 126556, 2020.

SILVA, Pedro Barbosa et al. Adubação fosfatada residual e inoculação de *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp. no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. **Inovações em pesquisas agrárias e ambientais**, v. 8, p. 71–83, 2025.

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

TERRA, L. D. M. et al. Coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus* sp. melhora a biomassa e a eficiência fotossintética em *Urochloa brizantha*. **Agriculture**, v. 14, n. 12, p. 2349, 2024.

TOLOI, M. N. V. et al. Development Indicators and Soybean Production in Brazil. **Agriculture**, v. 11, n. 11, p. 1164, 2021.

VIEIRA FILHO, J. E. R. A cadeia produtiva da soja e o desenvolvimento econômico e regional no Brasil. **Rio de Janeiro: Ipea**, p 27, 2024 (Texto para Discussão, n. 3042).

WANG, J. et al. Co-inoculation of antagonistic *Bacillus velezensis* FH-1 and *Brevundimonas diminuta* NYM3 promotes rice growth by regulating the structure and nitrification function of rhizosphere microbiome. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, 2023.

WERNER, C. J. et al. Adubação fosfatada em soja: produtividade e qualidade fisiológica das sementes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 36157-36177, 2020