

Efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* no tratamento de sementes de feijão sobre a germinação e desenvolvimento inicial

Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on bean seed treatment regarding germination and initial development

Efecto de la inoculación con *Azospirillum brasilense* en el tratamiento de semillas de frijol sobre la germinación y el desarrollo inicial

Recebido: 21/04/2026 | Aceito: 04/05/2026 | Publicado: 05/05/2026

Luhan Araújo Carneiro

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6183-5244>

Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Brasil

E-mail: lhnaaraujocro25@gmail.com

Samyra Oliveira Santana

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4526-0028>

Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Brasil

E-mail: samyoliveirasantana@outlook.com

Nícolas Oliveira de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2246-0457>

Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Brasil

E-mail: Nicolas.araujo@unitpac.edu.br

Resumo

O uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal tem ganhado destaque na agricultura moderna, especialmente o gênero *Azospirillum*, conhecido por sua capacidade de estimular o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de *Azospirillum brasilense* aplicadas via tratamento de sementes na germinação e no desenvolvimento inicial do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). O experimento foi conduzido em laboratório e em bandejas contendo areia, utilizando cinco tratamentos: T1 (testemunha), T2 (1 mL), T3 (2 mL), T4 (3 mL) e T5 (4 mL), com três repetições. Foram avaliados parâmetros de germinação ao longo de sete dias, além de altura da parte aérea, comprimento radicular e diâmetro do caule. Os resultados indicaram que a inoculação com *Azospirillum brasilense* influenciou positivamente o desenvolvimento inicial das plantas, com destaque para a dose de 2 mL. O experimento tem como objetivo Geral Investigar os efeitos da aplicação do *Azospirillum brasilense* via tratamento de sementes no desenvolvimento radicular, e como objetivo específico Avaliar o efeito do *Azospirillum brasilense* em diferentes doses sobre a germinação das sementes de feijão; Verificar alterações no desenvolvimento da parte aérea, do sistema radicular e espessura do caule; Comparar os efeitos das doses aplicadas com um tratamento controle e avaliar o potencial de uso agrônomo da formulação do *Azospirillum*.

Palavras-chave: Inoculação; Feijão; Bactérias promotoras de crescimento vegetal; Germinação; Desenvolvimento inicial.

Abstract

The use of plant growth-promoting bacteria has gained prominence in modern agriculture, especially the genus *Azospirillum*, known for its ability to stimulate root development and nutrient absorption. The present study aimed to evaluate the effect of different doses of *Azospirillum brasilense* applied via seed treatment on the germination and initial development of common bean (*Phaseolus vulgaris*). The experiment was conducted in the laboratory and in trays containing sand, using five treatments: T1 (control), T2 (1 mL), T3 (2 mL), T4 (3 mL), and T5 (4 mL), with three repetitions. Germination parameters were evaluated over seven days, in addition to shoot height, root length, and stem diameter. The results indicated that inoculation with *Azospirillum brasilense* positively influenced the initial development of the plants, with emphasis on the dose of 2 mL. The experiment has the general objective of investigating the effects of the application of *Azospirillum brasilense* via seed treatment on root development, and the specific objectives are to evaluate the effect of *Azospirillum brasilense* at different doses on bean seed germination; to check changes in the development of the aerial part, the root system, and stem thickness; to compare the effects of the applied doses with a control treatment and to assess the potential agronomic use of the *Azospirillum* formulation.

Keywords: Inoculation; Bean; Plant growth-promoting bacteria; Germination; Early development.

Resumen

El uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal ha ganado relevancia en la agricultura moderna, especialmente el género *Azospirillum*, conocido por su capacidad de estimular el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de *Azospirillum* brasilense aplicadas mediante tratamiento de semillas en la germinación y en el desarrollo inicial del frijol (*Phaseolus vulgaris*). El experimento se llevó a cabo en laboratorio y en bandejas con arena, utilizando cinco tratamientos: T1 (testigo), T2 (1 mL), T3 (2 mL), T4 (3 mL) y T5 (4 mL), con tres repeticiones. Se evaluaron parámetros de germinación durante siete días, además de la altura de la parte aérea, la longitud radicular y el diámetro del tallo. Los resultados indicaron que la inoculación con *Azospirillum* brasilense influyó positivamente en el desarrollo inicial de las plantas, destacando la dosis de 2 mL. Se concluye que la inoculación vía semilla es una alternativa viable para promover el crecimiento inicial del frijol. El experimento tiene como objetivo general investigar los efectos de la aplicación de *Azospirillum* brasilense mediante tratamiento de semillas en el desarrollo radicular, y como objetivo específico evaluar el efecto de *Azospirillum* brasilense en diferentes dosis sobre la germinación de las semillas de frijol; verificar alteraciones en el desarrollo de la parte aérea, del sistema radicular y grosor del tallo; comparar los efectos de las dosis aplicadas con un tratamiento control y evaluar el potencial de uso agronómico de la formulación de *Azospirillum*.

Palabras clave: Inoculación; Frijol; Bacterias promotoras del crecimiento vegetal; Germinación; Desarrollo inicial.

1. Introdução

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, desempenhando papel fundamental na alimentação da população. Entretanto, sua produtividade pode ser limitada por fatores como baixa eficiência na absorção de nutrientes e desenvolvimento radicular reduzido.

Nesse contexto, o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal, como *Azospirillum* brasilense, tem sido amplamente estudado. Essa bactéria atua na fixação biológica de nitrogênio e na produção de fitormônios, como auxinas, que estimulam o crescimento radicular (Cassán et al., 2010; Bashan & De-Bashan, 2010; Apaza-Calcina et al., 2025).

A inoculação via tratamento de sementes é uma técnica prática e de baixo custo, podendo contribuir para o aumento do vigor e estabelecimento inicial das plantas (Nery et al., 2025). Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de *Azospirillum* brasilense aplicadas em sementes de feijão sobre a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas.

2. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa experimental, conduzida em ambiente laboratorial, com abordagem quantitativa (Risemberg et al., 2026; Pereira et al., 2018), utilizando estatística descritiva, com emprego de gráfico de colunas, classes de dados de doses, valores de média percentual de germinação e desvio padrão (Shitsuka et al., 2014).

O experimento foi conduzido em um laboratório nas dependências do Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC), localizado em Araguaína-TO, em ambiente protegido com condições controladas de temperatura, umidade e luminosidade.

Foram estabelecidos cinco tratamentos:

T1: 0 mL Testemunha (sem inoculação)

T2: 1 mL

T3: 2 mL (dose recomendada)

T4: 3 mL

T5: 4 mL

No presente experimento, adotou-se o volume de calda de 250 mL por 50 kg de sementes, valor que se encontra dentro da faixa recomendada para o tratamento de sementes com inoculantes. A escolha desse volume teve como objetivo garantir adequada cobertura das sementes, sem comprometer sua qualidade fisiológica ou a sobrevivência dos microrganismos

inoculados. O volume de calda utilizado está de acordo com recomendações técnicas para inoculação, conforme descrito por Hungria (2011) e diretrizes da Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2009), portanto deve ser mantido baixo, geralmente não ultrapassando cerca de 200 a 300 mL por 50 kg de sementes, a fim de evitar prejuízos à germinação e à eficiência da inoculação (EMBRAPA, 2011; Hungria, 2011). Dessa forma, o volume utilizado neste estudo está em conformidade com as recomendações técnicas, contribuindo para a confiabilidade dos resultados obtidos. As doses foram ajustadas proporcionalmente com o auxílio de pipetas, sendo posteriormente homogeneizadas às sementes.

O teste de germinação foi conduzido utilizando papel germitest, previamente umedecido com volume de água correspondente a 2,5 vezes o peso do papel seco. Foram utilizadas 100 sementes por repetição, distribuídas sobre o papel, cobertas com outra folha e acondicionadas em rolos. Os rolos foram armazenados em sacos plásticos, sendo organizados de forma a conter uma repetição de cada tratamento por saco, totalizando três repetições. Em seguida os experimentos foram acondicionados em câmara germinadora, permitindo maior controle das condições ambientais e favorecendo a padronização do processo de germinação ao longo do período experimental. a fim de assegurar uniformidade, utilizando sementes de feijão previamente selecionadas.

A irrigação foi realizada diariamente e as avaliações de germinação ocorreram a cada dois dias, durante sete dias. Adicionalmente, foi realizado o teste de emergência em bandejas contendo areia, onde foram avaliados o percentual de emergência, altura da parte aérea, comprimento radicular e diâmetro do caule.

3. Resultados e Discussão

Experimento 1: teste de germinação

Os dados de germinação obtidos ao longo das três avaliações demonstraram elevado percentual germinativo em todos os tratamentos, indicando alta qualidade fisiológica das sementes utilizadas no experimento.

Na primeira avaliação, observou-se que todos os tratamentos apresentaram germinação superior a 90%, com destaque para o tratamento T5, que atingiu valores máximos em uma das repetições. Os tratamentos com inoculação apresentaram comportamento semelhante à testemunha (T1), não sendo observadas diferenças expressivas entre as doses iniciais.

Na segunda avaliação, verificou-se incremento nos percentuais de germinação em todos os tratamentos, com valores próximos ou iguais a 100%. Os tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram germinação máxima em várias repetições, indicando que a inoculação com *Azospirillum brasilense* não prejudicou o processo germinativo, mesmo em doses superiores à recomendada.

Na terceira avaliação, os resultados se estabilizaram, com todos os tratamentos apresentando valores entre 99% e 100% de germinação. Esse comportamento indica que, ao final do período avaliado, teve resultados semelhantes aos observados por (Mariangela Hungria, 2011), que relatam que a inoculação com *Azospirillum brasilense* nem sempre promove alterações significativas na germinação, sendo seus efeitos mais evidentes no desenvolvimento inicial das plantas.

De forma geral, os resultados demonstram que a inoculação com *Azospirillum brasilense* não interfere negativamente na germinação das sementes de *Phaseolus vulgaris*, mesmo em doses elevadas. Esse resultado é relevante do ponto de vista agrônomo, pois indica que o uso do inoculante é seguro na fase inicial da cultura.

Entretanto, é importante destacar que os efeitos mais expressivos do *Azospirillum* geralmente estão associados ao desenvolvimento radicular e ao crescimento inicial das plantas, e não necessariamente ao aumento do percentual de germinação. Isso ocorre porque o principal mecanismo de ação dessa bactéria está relacionado à produção de fitormônios, especialmente auxinas, que estimulam o crescimento das raízes.

Resultados semelhantes têm sido relatados em estudos recentes, indicando que o *Azospirillum* apresenta maior influência no crescimento inicial do que na germinação (Müller et al., 2025).

Os resultados de germinação estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 - Porcentagem de germinação na primeira avaliação com (2 dias após a semeadura) em sementes de feijão submetidas a diferentes doses de *Azospirillum brasilense*.

Doses <i>Azospirillum</i> (mL)	Germinação (%)
0	95,66 ± 1,20*
1	95,33 ± 1,76
2	97,33 ± 0,66
3	97,00 ± 0,57
4	98,00 ± 1,00
Média geral	96,6

*Valores representam a média ± erro padrão. Fonte: Autoria própria (2026).

Tabela 2 - Porcentagem de germinação na segunda avaliação com (4 dias após a semeadura) em sementes de feijão submetidas a diferentes doses de *Azospirillum brasilense*.

Doses <i>Azospirillum</i> (mL)	Germinação (%)
0	98,33 ± 0,88*
1	99,33 ± 0,33
2	99,67 ± 0,33
3	98,67 ± 0,88
4	96,67 ± 0,33
Média geral	99,13

*Valores representam a média ± erro padrão. Fonte: Autoria própria (2026).

Tabela 3 - Porcentagem de germinação na terceira avaliação com (6 dias após a semeadura) em sementes de feijão submetidas a diferentes doses de *Azospirillum brasilense*.

Doses <i>Azospirillum</i> (mL)	Germinação (%)
0	99,33 ± 0,57*
1	99,33 ± 0,33
2	99,67 ± 0,33
3	99,67 ± 0,33
4	96,67 ± 0,33
Média geral	99,46

*Valores representam a média ± erro padrão. Fonte: Autoria própria (2026).

Os dados apresentados nas tabelas indicam elevada porcentagem de germinação em todos os tratamentos, com valores superiores a 95%. Observa-se que a inoculação com *Azospirillum brasilense* não promoveu alterações expressivas na germinação inicial, evidenciando que o uso do inoculante não compromete a qualidade fisiológica das sementes, e que seus benefícios devem ser avaliados principalmente em parâmetros de crescimento e desenvolvimento inicial.

Experimento 2: teste de emergência

Os resultados obtidos no teste de emergência em areia demonstraram que a inoculação com *Azospirillum brasilense* influenciou o desenvolvimento inicial das plântulas de *Phaseolus vulgaris*, especialmente no crescimento radicular. Esse

comportamento também foi observado em estudos recentes, que destacam a atuação do *Azospirillum* na promoção do crescimento e absorção de nutrientes (Nery et al., 2025).

De modo geral, os tratamentos com doses intermediárias apresentaram melhor desempenho no desenvolvimento das plantas, indicando efeito positivo da inoculação em concentrações próximas à recomendada. Esse comportamento está associado à ação do *Azospirillum*, que promove o crescimento radicular por meio da produção de fitormônios (Bashan & De-Bashan, 2010; Cassán et al., 2010).

Entretanto, nos tratamentos com maiores doses (T4 e principalmente T5), observou-se redução no desenvolvimento das plantas, associada à ocorrência de apodrecimento radicular. Esse efeito foi atribuído ao excesso de umidade na areia, que favoreceu condições desfavoráveis ao desenvolvimento das raízes. A resposta observada está de acordo com estudos que indicam que a eficiência do inoculante depende da dose e das condições ambientais (Hungria et al., 2010).

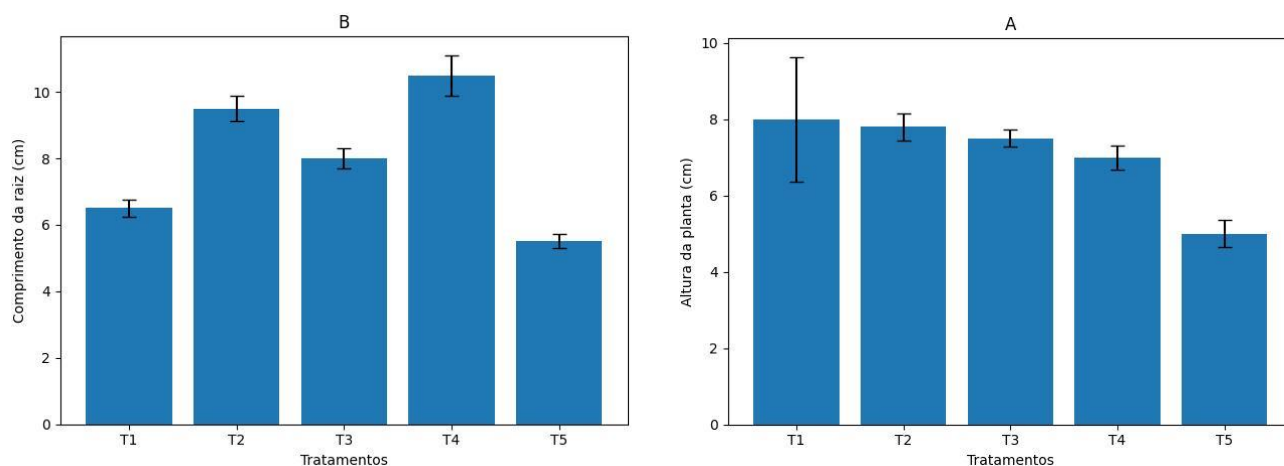
A combinação entre alta umidade e maior concentração de inoculante pode ter contribuído para a redução da aeração no sistema radicular, criando um ambiente propício ao desenvolvimento de microrganismos indesejáveis e à deterioração dos tecidos radiculares. Esse fator comprometeu o crescimento das plantas nesses tratamentos, interferindo diretamente nos resultados, e se o crescimento radicular está limitado por falta de oxigênio e encharcamento parte dos recursos produzidos pela planta pode ser desviada para o caule, influenciando assim na espessura.

Esse comportamento evidencia que, embora o uso de *Azospirillum* brasileiro seja benéfico, sua eficiência está diretamente relacionada às condições ambientais, especialmente à disponibilidade de oxigênio no sistema radicular. Em condições de excesso hídrico, os efeitos positivos da inoculação podem ser reduzidos ou até anulados.

Resultados semelhantes são discutidos na literatura, onde se destaca que o principal benefício do *Azospirillum* ocorre em condições adequadas de manejo, sendo sensível a fatores como umidade excessiva e baixa aeração do solo (Hungria et al., 2010).

Dessa forma, os resultados obtidos no presente estudo indicam que doses elevadas do inoculante, associadas a condições de excesso de água, podem prejudicar o desenvolvimento inicial do feijoeiro. Por outro lado, doses intermediárias mostraram-se mais eficientes, promovendo melhor crescimento radicular e estabelecimento das plantas.

Figura 1 - Comprimento da raiz (B) e altura da planta (A) de plântulas sob diferentes tratamentos com *Azospirillum* brasileiro. As barras representam a média $\pm$ erro padrão. Diferenças significativas em relação à testemunha podem ser indicadas conforme teste de Dunnett ($p < 0,05$).



Fonte: Autoria própria (2026)

4. Conclusão

A inoculação de sementes de feijoeiro com *Azospirillum brasilense* não resultou em diferenças estatisticamente significativas em relação à testemunha para as variáveis analisadas, conforme indicado pela análise estatística. No entanto, a análise dos valores médios evidencia uma resposta biológica relevante, com destaque para os tratamentos em doses intermediárias, que apresentaram maior desenvolvimento radicular e da parte aérea, sugerindo um efeito positivo do inoculante sobre o vigor inicial das plântulas. A análise estatística foi conduzida conforme os princípios da experimentação agrícola descritos por Pimentel-Gomes (2009) e Banzatto (2006).

Por outro lado, observa-se que doses mais elevadas não promoveram incrementos adicionais e, em alguns casos, estiveram associadas à redução no crescimento, possivelmente em função de desequilíbrios fisiológicos ou condições experimentais, como excesso de umidade na areia, que podem ter favorecido a ocorrência de estresse radicular.

Adicionalmente, a discrepância entre os resultados obtidos em condições controladas e aqueles observados no experimento de emergência reforça a influência determinante dos fatores ambientais na expressão dos efeitos do inoculante. Esse comportamento indica que a eficiência de *Azospirillum brasilense* não depende exclusivamente da dose aplicada, mas também da interação com o ambiente de cultivo.

Observou-se, de forma qualitativa, que plântulas com menor desenvolvimento radicular apresentaram, em alguns casos, maior espessura do caule, especialmente nos tratamentos com maiores doses. Esse comportamento pode estar associado a um redirecionamento de assimilados, em resposta a possíveis limitações no sistema radicular, como danos ou estresse por excesso de umidade. No entanto, essa observação não foi quantificada de forma sistemática, não permitindo inferências estatísticas.

Dessa forma, embora os resultados estatísticos não confirmem diferenças significativas, a tendência observada sugere potencial agrônomo do uso do inoculante, especialmente em doses intermediárias. Recomenda-se a realização de novos estudos com maior número de repetições e em condições de campo, a fim de validar esses efeitos e definir estratégias mais consistentes de manejo.

Referências

- Apaza-Calquina, J. D., Munoz-Salas, M. N., Lozano-Isla, F., Rezende, R. P., & Santana Silva, R. J. (2025). *Azospirillum brasilense* as a bioinoculant to alleviate the effects of salinity on quinoa seed germination. *Plants*, 14(24), 3829.
- Banzatto, D. A., & Kronka, S. N. (2006). *Experimentação agrícola* (4ª ed.). FUNEP.
- Bashan, Y., & De-Bashan, L. E. (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—A critical assessment. *Advances in Agronomy*, 108, 77–136.
- Bashan, Y., Holguin, G., & De-Bashan, L. E. (2004). *Azospirillum*–plant relationships: Physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. *Canadian Journal of Microbiology*, 50(8), 521–577.
- Cassán, F., Vanderleyden, J., & Spaepen, S. (2010). Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by *Azospirillum* spp. *Plant and Soil*, 331(1–2), 1–18.
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2023). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. CONAB.
- Döbereiner, J. (1997). Biological nitrogen fixation in the tropics: Social and economic contributions. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5–6), 771–774.
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2003). Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2), 107–149.
- Ferreira, D. F. (2011). SISVAR: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1039–1042.
- Hungria, M. (2011). Inoculação com *Azospirillum brasilense*: Inovação em rendimento a baixo custo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(3), 723–733.
- Hungria, M., Nogueira, M. A., & Araujo, R. S. (2012). Co-inoculation of soybeans and maize with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. *Plant and Soil*, 356, 249–266.

- Hungria, M., Campo, R. J., & Mendes, I. C. (2016). A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. *Embrapa Soja*.
- Kloepper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. *Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria*, 879–882.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176–177.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). *Regras para análise de sementes*. MAPA.
- Okon, Y., & Labandera-Gonzalez, C. A. (1994). Agronomic applications of *Azospirillum*: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(12), 1591–1601.
- Pimentel-Gomes, F. (2009). *Curso de estatística experimental* (15ª ed.). FEALQ.
- Taiz, L., Zeiger, E., Möller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal* (6ª ed.). Artmed.
- Zeffa, D. M., Perini, L. J., Silva, M. B., Sousa, N. V., Scapim, C. A., & Oliveira, A. L. M. (2019). *Azospirillum* brasilense promotes increases in growth and yield of maize. *Journal of Agricultural Science*, 11(4), 267–276.
- Baldani, V. L. D., Baldani, J. I., & Döbereiner, J. (2000). Inoculation of field-grown wheat with *Azospirillum spp.* in Brazil. *Biology and Fertility of Soils*, 30, 521–525.
- Müller, T. M., Silva, J. R., Costa, A. L., & Pereira, M. S. (2025). Effects of seed inoculation with *Azospirillum* brasilense on germination and initial growth of maize hybrids. *Brazilian Journal of Biology*.
- Nery, M. S., Oliveira, R. P., Santos, L. F., & Souza, T. R. (2025). Management of *Azospirillum* brasilense as a strategy for improving plant growth and sustainability. *Grass and Forage Science*.
- Sala, V. M. R., Cardoso, E. J. B. N., & Freitas, S. S. (2007). Interaction between plant growth-promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. *Scientia Agricola*, 64(5), 563–570.