

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
BRENDA MATIAS SIQUEIRA

**DOSES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE COMERCIAL NA
EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE GERGELIM**

CERES – GO
2026

BRENDA MATIAS SIQUEIRA

**DOSES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE COMERCIAL NA
EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE GERGELIM**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Professor. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale.

CERES – GO

2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do
IF Goiano - SIBi**

S618d

Matias Siqueira, Brenda

DOSES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE
BIOESTIMULANTE COMERCIAL NA
EMERGÊNCIA DE

PLÂNTULAS DE GERGELIM / Brenda Matias
Siqueira. Ceres Goiás 2026.

33f. il.

Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues
Vale.

Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de
0320021 - Bacharelado em Agronomia - Ceres (Campus
Ceres).

1. Bioestimulantes. 2. Bactérias promotoras de
crescimento. 3. Emergência de plântulas. 4. Sesamum
indicum. 5. Crescimento inicial. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

<input type="checkbox"/> Tese (doutorado)	<input type="checkbox"/> Artigo científico
<input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)	<input type="checkbox"/> Capítulo de livro
<input type="checkbox"/> Monografia (especialização)	<input type="checkbox"/> Livro
<input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação)	<input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento
<input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo:	<input type="text"/>
Nome completo do autor:	Matrícula:
<input type="text" value="Brenda Matias siqueira"/>	<input type="text" value="2020103200240264"/>
Título do trabalho:	
<input type="text" value="Doses e métodos de aplicação de bioestimulante comercial na emergência de plântulas de gergelim"/>	

RESTRICÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
BRENDA MATIAS SIQUEIRA
Data: 18/06/2026 17:19:04-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Local Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
LUIS SERGIO RODRIGUES VALE
Data: 19/06/2026 07:50:26-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

ANEXO IV - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) Dezesseis dia(s) do mês de Junho do ano de dois mil e vinte e seis realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) Brenda Natias Siqueira, do Curso de Agronomia, matricula _____, cujo título é "Dores e métodos de aplicação de biostimulante Comercial na emergência de plântulas de Jergelim". A defesa iniciou-se às 7 horas e 56 minutos, finalizando-se às 9 horas e 0 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 9,3 no trabalho escrito, média 9,7 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 9,5 de pontos, estando o(a) estudante APTA para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano - RIIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

Luís Sérgio Rodrigues Vale

Assinatura Presidente da Banca

Alexsandra Valéria Sousa Costa de Lima

Assinatura Membro 1 Banca Examinadora

Jamir Fátima

Assinatura Membro 2 Banca Examinadora

Dedico este trabalho à minha mãe, Aparecida, que sempre me deu forças para continuar lutando pelos meus objetivos e sonhos, sendo minha maior incentivadora ao longo dessa caminhada. A ela, que desempenhou com amor e dedicação o papel de mãe e pai, oferecendo todo o apoio, carinho e ensinamentos fundamentais para minha formação pessoal e acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de força, sabedoria e esperança, por me sustentar ao longo desta caminhada acadêmica, concedendo coragem, confiança e perseverança para superar todos os desafios enfrentados durante esses anos. Sem sua presença, nada disso seria possível.

Aos meus familiares, que sempre foram meu alicerce. Em especial à minha querida e amada mãe, Aparecida Pedro Matias, por ser minha base, meu exemplo de força e por nunca deixar de acreditar em mim, mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao meu esposo, Washington Henrique Carneiro Gomes de Sousa, pelo amor, incentivo, paciência e apoio incondicional. Obrigada por acreditar na minha capacidade, na minha força de vontade e por caminhar ao meu lado em todos os momentos desta jornada.

Às minhas irmãs, Bruna Matias Siqueira e Amanda Gonçalves Siqueira, pelo carinho, companheirismo e apoio constante, tornando essa caminhada mais leve e significativa.

Ao meu orientador, Professor Luís Sérgio Rodrigues Vale, pela orientação dedicada, paciência, confiança e pelos valiosos ensinamentos compartilhados, fundamentais para a construção e conclusão deste trabalho.

Aos professores do curso de Agronomia, pelos conhecimentos transmitidos ao longo da graduação, contribuindo de forma essencial para minha formação profissional e pessoal.

Aos colegas e amigos, pelo companheirismo, pelas trocas de experiências e pelo apoio mútuo durante toda essa trajetória acadêmica.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso, deixo aqui minha sincera gratidão.

*"Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e
ele tudo fará".*

Salmo 37:5

RESUMO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma cultura de grande importância econômica e nutricional, cuja produtividade está diretamente relacionada à qualidade das sementes e ao estabelecimento inicial das plântulas. Nesse contexto, o uso de bioestimulantes à base de bactérias promotoras de crescimento vegetal tem se destacado como alternativa sustentável para o incremento do crescimento vegetal. Objetivou-se, neste trabalho avaliar diferentes doses e métodos de aplicação de bioestimulante comercial à base de *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens* na emergência e no crescimento inicial de plântulas de gergelim. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial de 3 × 5 (3 métodos de aplicação e 5 doses), com quatro repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Foram avaliadas variáveis como emergência, número de folhas, altura de plântulas, comprimento de raiz, índice de velocidade de emergência, massa seca e diâmetro do colo. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, análise de regressão. Observou-se interação significativa entre doses e métodos de aplicação para a maioria das variáveis analisadas. Os métodos de aplicação via tratamento de sementes e pulverização foliar proporcionaram maiores resultados para o crescimento de plântulas, enquanto a aplicação no sulco apresentou menor resultado em determinadas condições. Conclui-se que o uso do bioestimulante promove efeitos positivos no crescimento inicial de plântulas de gergelim, sendo o resultado dependente da dose e do método de aplicação. Os tratamentos que proporcionaram maiores resultados foram com a aplicação de bioestimulante nas sementes e na pulverização foliar.

Palavras-chave: Bioestimulantes; Bactérias promotoras de crescimento; Emergência de plântulas; *Sesamum indicum*; Crescimento inicial.

ABSTRACT

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is a crop of great economic and nutritional importance, whose productivity is directly related to seed quality and initial seedling establishment. In this context, the use of biostimulants based on plant growth-promoting bacteria has stood out as a sustainable alternative for increasing plant growth. This study aimed to evaluate different doses and application methods of a commercial biostimulant based on *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* on the emergence and initial growth of sesame seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse, in a completely randomized design, in a 3 × 5 factorial scheme (3 application methods and 5 doses), with four replications, totaling 60 experimental units. Variables such as emergence, number of leaves, seedling height, root length, emergence speed index, dry mass, and stem diameter were evaluated. The data were subjected to analysis of variance and, when significant, regression analysis. Significant interaction was observed between doses and application methods for most of the variables analyzed. Application methods via seed treatment and foliar spraying provided greater results for seedling growth, while furrow application showed lesser results under certain conditions. It is concluded that the use of the biostimulant promotes positive effects on the initial growth of sesame seedlings, with the result depending on the dose and application method. The treatments that provided the greatest results were with the application of biostimulant to the seeds and foliar spraying.

Keywords: Biostimulants; Growth-promoting bacteria; Seedling emergence; *Sesamum indicum*; Initial growth.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Produto microbiológico – <i>HizoBio</i>	5
Figura 2 -	Pulverizador manual <i>Ultrajet</i>	7
Figura 3 -	Contagem das plântulas emergidas	8
Figura 4 -	Plântulas de gergelim antes (A) e depois (B) das análises biométricas	9
Figura 5 -	Resultados médios da emergência total de plântulas (EMT) de gergelim sob a aplicação de doses de <i>Hizobio</i> e métodos de aplicação	12
Figura 6 -	Resultados médios de número de folhas de plântulas de gergelim em função da aplicação de doses de <i>Hizobio</i> e métodos de aplicação – sulco (NFsulco) e tratamento de semente (NFsem)	13
Figura 7 -	Resultados médios de altura de plântulas de gergelim em função da aplicação de doses de <i>Hizobio</i> e métodos de aplicação – sulco (ALT-sulco), tratamento de semente (ALT-sem) e pulverização na plântula (ALT-pulv)	15
Figura 8 -	Resultados médios de comprimento médio de raiz de plântulas de gergelim em função da aplicação de doses de <i>Hizobio</i> e métodos de aplicação – sulco (CRsulco) e tratamento de semente (CRsem)	17
Figura 9 -	Resultados médios do índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de gergelim sob a aplicação de doses de <i>Hizobio</i> e métodos de aplicação – tratamento de semente (IVEsem)	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Resumo da análise de variância (quadrado médio) da avaliação de plântulas de gergelim sob métodos de aplicação de doses de <i>Hizobio</i>^{***} em diferentes métodos de aplicação em casa de vegetação, em Ceres, GO, 2026	11
Tabela 2 -	Massa seca de plântulas de gergelim para métodos de aplicação de <i>Hizobio</i>[*] em casa de vegetação, em Ceres, GO, 2026	21

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
REVISÃO DE LITERATURA	3
<i>Bacillus Amyloliquefaciens</i>	3
<i>Bacillus subtilis</i>	3
Bactérias promotoras de crescimento	4
MATERIAL E MÉTODOS	5
Delineamento experimental	5
Inoculação das sementes e desinfecção superficial	6
Avaliações	8
Análise estatística	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma das oleaginosas mais antigas cultivadas pelo ser humano, apresentando elevado valor nutricional e expressivo potencial de exploração nos mercados nacional e internacional. Suas sementes possuem alto teor de óleo e proteínas, constituindo importante fonte de nutrientes, amplamente utilizadas nas indústrias alimentícias e farmacêuticas (Arriel; Ferreira, 2020).

O Sudão se destaca como o principal produtor mundial de gergelim, com aproximadamente 1,3 milhão de toneladas colhidas em 2023, o que corresponde a cerca de 20% da produção global, seguido por países como Índia e Mianmar (FAOSTAT, 2025).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o cultivo do gergelim ocorre em diversas regiões do mundo, alcançando uma produção aproximada de 6,8 milhões de toneladas em 2023, com valor econômico superior a 3,5 bilhões de dólares.

A produção de gergelim no Brasil tem mostrado um crescimento significativo, especialmente em regiões como Mato Grosso, nos municípios de Água Boa, Nova Xavantina e, de forma notável, em Canarana. Este crescimento também é observado em outros estados, incluindo Pará, Maranhão, Bahia, Tocantins e Goiás, embora em menor escala. O aumento da área plantada e da produção de gergelim no país, que registrou um crescimento impressionante de 123% de uma safra para a outra (de 413 mil toneladas em 2018/2019 para 958 mil toneladas em 2019/2020), é impulsionado principalmente pela possibilidade de exportação do produto para atender à crescente demanda global por alimentos (Melo, 2023).

Entretanto, a cultura ainda é predominantemente explorada por pequenos agricultores, com limitada incorporação de tecnologias de produção (Silva *et al.*, 2016; Beltrão *et al.*, 2013).

Conforme destacado por Lima *et al.* (2021), o alcance de altos níveis produtivos no gergelim depende de diversos fatores agronômicos, entre os quais a qualidade das sementes se apresenta como um dos mais relevantes.

Os processos de germinação e o crescimento inicial das plântulas exercem influência direta sobre o estande final de plantas, refletindo de forma significativa no desempenho produtivo das lavouras (Reed *et al.*, 2022). Nesse contexto, sementes

com elevada qualidade fisiológica tendem a proporcionar emergência mais uniforme, maior resistência a estresses ambientais e desenvolvimento vegetativo mais vigoroso ao longo do ciclo da cultura (Kumar *et al.*, 2023; Sundareswaran *et al.*, 2023).

O aumento da produtividade agrícola tem sido impulsionado pela adoção de novas tecnologias como bioestimulantes, associadas ao uso de sementes melhoradas e ao manejo adequado da cultura. (Frezato *et al.*, 2021).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020), bioestimulante é o produto que contém substância natural com diferentes composições, concentrações e proporções, que pode ser aplicado diretamente nas plantas, nas sementes e no solo, com a finalidade de incrementar a produção, melhorar a qualidade de sementes, estimular o desenvolvimento radicular, favorecer o equilíbrio hormonal da planta e a germinação mais rápida e uniforme, interferir no desenvolvimento vegetal, estimular a divisão, a diferenciação e o alongamento celular, incluídos os processos e as tecnologias derivados do bioestimulante.

De acordo com Oliveira *et al.* (2024), a inoculação de sementes com microrganismos benéficos proporciona múltiplos efeitos positivos ao desenvolvimento vegetal, incluindo melhorias na germinação, emergência, formação radicular e absorção de nutrientes. Dentro desse grupo, as rizobactérias do gênero *Bacillus* se comportam como importantes promotoras do crescimento das plantas.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar diferentes doses e métodos de aplicação de bioestimulante comercial à base de *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens* na emergência e no crescimento inicial de plântulas de gergelim.

REVISÃO DE LITERATURA

Bacillus amyloliquefaciens

O *Bacillus amyloliquefaciens* é uma bactéria de vida livre encontrada no solo, pertencente ao gênero *Bacillus*, destacando-se pela sua capacidade de hidrolisar o amido, característica que originou sua denominação científica. Essa espécie tem sido amplamente estudada por seu potencial como bactéria promotora de crescimento vegetal, apresentando efeitos positivos em diferentes culturas agrícolas (Abreu *et al.*, 2022).

A adoção de microrganismos com função de biofertilizantes e agentes de biocontrole tem sido amplamente reconhecida como uma abordagem sustentável para a manutenção da produtividade agrícola, ao mesmo tempo em que contribui para a diminuição do uso de fertilizantes e defensivos químicos. Essa estratégia representa uma alternativa ambientalmente favorável para garantir a segurança das culturas (Sharma *et al.*, 2020; Pirttilä *et al.*, 2021).

Entre as rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (RPCV), a *B. amyloliquefaciens* destaca-se como um microrganismo de elevado potencial para aplicações agrícolas, sendo empregado tanto como biofertilizante quanto como agente de controle biológico. Sua atuação está associada ao aumento do vigor das plantas e à maior resistência frente a condições adversas, incluindo estresses bióticos e abióticos (Gamez *et al.*, 2019; Dimopoulou *et al.*, 2021; Kazerooni *et al.*, 2021).

De acordo com Luo *et al.* (2022), a *B. amyloliquefaciens* atua na agricultura por meio de diferentes mecanismos, como a produção de metabólitos antimicrobianos, a modulação da microbiota do solo, a solubilização de nutrientes e a síntese de compostos promotores de crescimento, contribuindo tanto para o controle de patógenos quanto para o desenvolvimento inicial das plantas.

Bacillus subtilis

A bactéria *Bacillus subtilis* é amplamente reconhecida como uma RPCV, sendo frequentemente investigada devido ao seu potencial em estimular o desenvolvimento das plantas e atuar no controle de fitopatógenos. Essa espécie exerce seus efeitos por diferentes mecanismos, como o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, a produção de fitormônios, a síntese de compostos com ação antimicrobiana e a

ativação de respostas de defesa da planta, caracterizadas pela resistência sistêmica induzida (Blake *et al.*, 2021).

Além disso, conforme evidenciado por Souza *et al.* (2023), isolados de *B. subtilis* apresentam capacidade de modular o balanço hormonal das plantas, influenciando diretamente o crescimento radicular por meio da produção de fitohormônios como auxinas, giberelinas e citocininas. Esse mecanismo fisiológico contribui significativamente para o desenvolvimento vegetal, favorecendo a formação de sistemas radiculares mais eficientes e o crescimento equilibrado das plantas.

O tratamento de sementes com *B. subtilis* contribui para a melhoria da germinação e do vigor das plântulas, além de promover ajustes fisiológicos e bioquímicos que favorecem o desenvolvimento inicial das plantas e reduzem os efeitos de condições adversas (Lastochkina *et al.*, 2023).

Bactérias promotoras de crescimento

As bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) pertencem a um grupo de microrganismos benéficos às plantas, habitantes do solo, que possuem capacidade de colonizar a rizosfera, o rizoplane, a filosfera e os tecidos internos das plantas, incluindo raízes, caule, folhas, frutos e sementes (Hungria; Nogueira, 2022).

As BPCV são bastante utilizadas, e podem reduzir o uso de agroquímicos e aumentar a produtividade, o valor nutricional e a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos (Rocha *et al.*, 2019). Nesse contexto, estudos recentes têm demonstrado que a inoculação de BPCV pode potencializar o desenvolvimento das culturas agrícolas por meio de diferentes mecanismos fisiológicos, resultando em incrementos significativos na altura das plantas, no crescimento radicular, e na produção de biomassa (Marin, 2025). De acordo com Xavier (2024), as BPCV favorecem a germinação e o crescimento inicial das plantas, atuando por meio da fixação biológica de nitrogênio, produção de fitohormônios e solubilização de nutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação da área experimental do Instituto Federal Goiano Campus Ceres (15°18'49" S e 49°36'12" O, 571 m de altitude), no Laboratório de Análise de Sementes (LabSem) e no Laboratório de Interações Microbianas e Biotecnologia (Limbio), no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres.

Foram utilizadas sementes de gergelim (*S. indicum* L.) da variedade K3, provenientes de lote comercial do LabSem. O produto biológico utilizado foi o *HizoBio* (Figura 1) à base de *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens*, na concentração de 5×10^8 UFC/ mL.



Figura 1 - Produto microbiológico - *HizoBio*.

Fonte: Arquivo pessoal, 2026.

Delineamento experimental

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 3×5 , com quatro repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos por três métodos de aplicação do bioestimulante *HizoBio*: tratamento de sementes, aplicação no sulco de semeadura e a pulverização foliar, que foi realizada nas plântulas aos 11 dias após a emergência. Além disso, foram avaliadas cinco doses do produto (0, 2, 4, 6 e 8 mL para cada 1 litro de água), utilizando-se diluição conforme recomendação do fabricante.

Cada unidade experimental foi composta por um sulco de semeadura contendo 50 sementes de gergelim, totalizando 3.000 sementes que foram utilizadas na implantação do experimento em canteiro com areia como substrato. Em seguida, os sulcos foram abertos manualmente a 2 cm de profundidade e com auxílio das pontas

dos dedos, para posterior distribuição das sementes e aplicação dos tratamentos correspondentes.

Antes da implantação do experimento foi feita a determinação do grau de umidade das sementes pelo método da estufa a 105 °C por 24 h, conforme Brasil (2025). Para a avaliação, foram utilizados cinco recipientes com dimensões entre 5 e 8 cm, nos quais foram acondicionadas amostras contendo aproximadamente 9 ± 1 g de sementes, previamente pesadas em balança de precisão.

O teste de condutividade elétrica seguiu as recomendações de Vidigal *et al.* (2008). Foram utilizadas cinco amostras, contendo 25 sementes cada, distribuídas em copos plásticos com 75 mL de água destilada de acordo com cada tratamento. As sementes foram pesadas em balança de precisão com resolução de 0,0001 g. Após esse preparo, as amostras foram mantidas em incubadora tipo B.O.D. à temperatura de 25 °C por 24 h.

Assim, a determinação do peso de mil sementes (PMS) foi realizada conforme Brasil (2025). Foram separadas oito subamostras contendo 100 sementes cada, as quais foram contadas manualmente e pesadas individualmente em balança analítica. Em seguida, as sementes foram separadas em recipientes e pesadas em balança analítica, obtendo-se a massa total do conjunto.

O resultado do peso de mil sementes (PMS) foi calculado pela expressão: Peso de mil sementes = (peso da amostra x 1000) / número total de sementes.

Inoculação das sementes e desinfecção superficial

As sementes de gergelim foram submetidas à desinfestação superficial por imersão em solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) a 1% por 2 minutos, seguida de imersão em álcool etílico 70% por 1 minuto. Posteriormente, as sementes foram lavadas três vezes consecutivas em água destilada estéril e dispostas sobre papel filtro estéril para secagem natural em capela de fluxo laminar.

Para o preparo das soluções utilizadas no tratamento de sementes, adotou-se o volume fixo de 1000 mL de água destilada para cada unidade experimental. Como as doses do produto comercial foram recomendadas em mL L⁻¹, realizou-se a adequação proporcional das concentrações para o volume utilizado no experimento. Assim, as doses avaliadas corresponderam a 0; 2; 4; 6 e 8 mL do produto comercial diluídos em 1000 mL de água destilada.

Após o preparo das soluções, procedeu-se à inoculação das sementes. A aplicação do produto foi realizada com auxílio de micropipeta, aplicando-se diretamente a diluição sobre as sementes os volumes de 0, 2000, 4000, 6000 e 8000 μL das respectivas soluções inoculantes, correspondendo às doses experimentais avaliadas.

Cada tratamento foi realizado separadamente em béqueres esterilizados, sob capela de fluxo laminar. Após a aplicação das soluções, as sementes foram homogeneizadas manualmente para proporcionar recobrimento uniforme e, em seguida, permaneceram em repouso por aproximadamente 30 minutos para secagem superficial.

Para o preparo das diluições destinadas à aplicação no sulco, as soluções foram preparadas em balão volumétrico de 1000 mL, contendo as doses de 0, 2, 4, 6 e 8 mL L^{-1} do produto, diluídas separadamente em água. As soluções foram homogeneizadas manualmente e, posteriormente, alíquotas de 100 mL de cada tratamento foram transferidas para copos descartáveis devidamente identificados.

Após a deposição das sementes no sulco, realizou-se a aplicação das soluções utilizando seringa graduada de 10 mL diretamente sobre as sementes, antes do fechamento do sulco, posteriormente, realizou-se a cobertura das sementes com o substrato. A aplicação via pulverização foliar foi realizada aos 11 dias após a semeadura (DAS), no final da tarde.

Para cada tratamento, utilizou-se 500 mL da solução preparada. A aplicação foi realizada com auxílio de pulverizador manual *Ultrajet*, com capacidade de 500 mL (Figura 2).



Figura 2 - Pulverizador manual *Ultrajet*.

Fonte: Arquivo pessoal, 2026.

Avaliações

A emergência das plântulas foi avaliada por meio de contagens diárias, até o 5º dia, considerando-se emergidas aquelas que apresentaram a parte aérea visível acima da superfície do solo.

A velocidade de emergência das plântulas foi avaliada por meio do Índice de Velocidade de Emergência (IVE), obtido a partir de contagens sucessivas do número de plântulas emergidas realizadas diariamente entre três e oito DAS (Figura 3).



Figura 3 - Contagem das plântulas emergidas

Fonte: Arquivo pessoal, 2026.

Aos 19 dias após a semeadura (DAS), as plântulas foram retiradas manualmente do substrato para realização das avaliações biométricas (Figura 4A). Foram retiradas 10% das plântulas de cada tratamento, correspondendo a cinco plântulas por unidade experimental. Nessas amostras, realizaram-se as avaliações do número de folhas, comprimento da raiz, diâmetro do coleto e altura das plântulas, utilizando régua milimetrada (Figura 4B).



Figura 2 – Plântulas de gergelim antes (A) e depois (B) das análises biométricas.

Fonte: Arquivo pessoal, 2026.

O número de folhas (NFOLHAS) foi obtido por meio da contagem direta das folhas completamente expandidas presentes em cada planta no momento da avaliação.

A altura das plântulas (ALT) foi mensurada desde a base do caule até o ápice da parte aérea, utilizando régua milimetrada, com os dados expressos em centímetros.

Para o diâmetro da altura do colo (DAC) as plântulas foram retiradas do substrato, evitando danos ao sistema radicular. Em seguida, procedeu-se à limpeza do excesso de substrato aderido às raízes. A mensuração foi realizada na região do colo utilizando régua milimetrada perpendicularmente ao eixo do caule. Os dados foram expressos em milímetros (mm).

O comprimento de raiz foi determinado por meio da medição da raiz principal das plântulas, utilizando régua milimetrada, sendo os resultados expressos em centímetros.

O Índice de Velocidade de Emergência foi calculado de acordo com Maguire (1962):

$$IVE = N1 / D1 + N2 / D2 + N3 / D3 + N4 / D4 \dots Nn / Dn$$

Onde: IVE = Índice de Velocidade de Emergência; N = Números de plântulas analisadas no dia da contagem; D = Número de dias após a semeadura em que foi realizada a contagem.

Para a determinação da massa seca total (MST), as plântulas normais foram separadas por repetição e acondicionadas em sacos de papel Kraft. Posteriormente, as amostras foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada, regulada a 105 °C (± 3) por 48 h. Após o período de secagem, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g, sendo os resultados expressos em gramas (g).

Análise Estatística

Para as variáveis analisadas (EMT, NFOFHAS, ALT, DAC, RAIZ, IVE E MS) foi realizado teste de pressuposição de parametria utilizando o software estatístico R (R CORE TEAM, 2024) e a análise de variância (ANOVA). Para as interações significativas, para as variáveis qualitativas, foi realizado o desdobramento pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, e as variáveis quantitativas o teste de regressão. Para a análise de variância e testes estatísticos foi utilizado o software Sisvar versão 5.7 (Ferreira, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lote das sementes utilizadas no experimento passou por testes de condutividade elétrica, grau de umidade e peso de mil sementes para avaliação do vigor e qualidade das sementes. As sementes apresentaram resultados de condutividade elétrica de $66,0 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$; grau de umidade de 4% e PMS de 3,32 g. Os resultados foram adequados para o experimento (Lima *et al.*, 2021).

Na Tabela 1 é apresentado o resumo da análise de variância dos atributos vegetativos e de produção (massa seca) das plântulas de gergelim. As variáveis EMT, NFOLHAS, ALT, RAIZ e IVE apresentaram diferença significativa ($p < 0,01$) para a interação dos fatores métodos de aplicação e doses (M x D). A massa seca apresentou diferença significativa apenas para o fator isolado métodos de aplicação ($p < 0,01$) enquanto que a variável DAC não apresentou diferença significativa para nenhuma das circunstâncias.

Tabela 1: Resumo da análise de variância (quadrado médio) da avaliação de plântulas de gergelim sob métodos de aplicação e doses de *Hizobio*^{***} em casa de vegetação, em Ceres, GO, 2026.

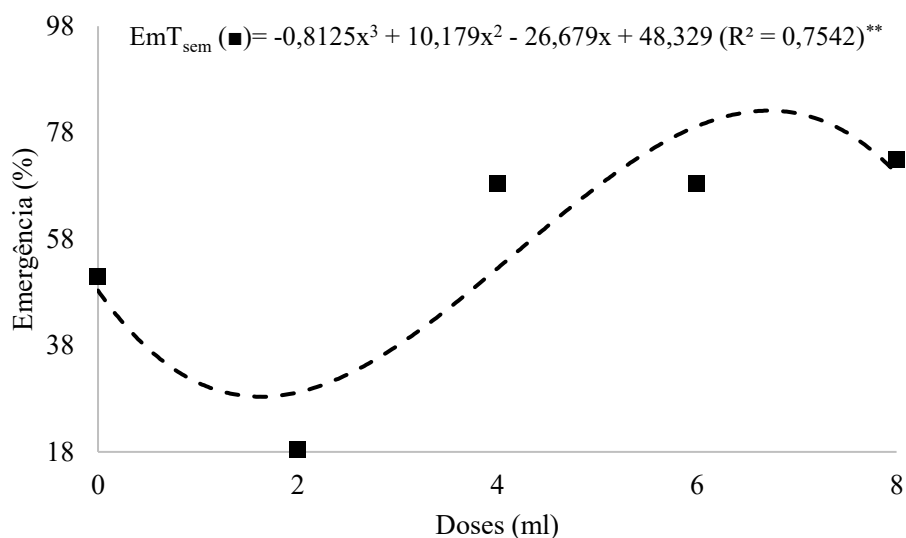
FV	GL	EMT	NFOLHAS	ALT	DAC	RAIZ	IVE	MS
Métodos	2	4296**	0,42 ^{ns}	0,27**	0,01 ^{ns}	2,01**	901**	0,01**
Doses	4	839**	0,35 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,37 ^{ns}	235**	0,01 ^{ns}
M x D	8	672**	0,75**	0,72**	0,01 ^{ns}	0,95**	168**	0,01 ^{ns}
Erro	45	74,4	0,19	0,04	0,01	0,26	15,7	0,01
CV (%)	-	12,27	8,54	10,21	12,27	15,57	11,33	18,6

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; EMT: emergência total de plântulas (%); NFOLHAS: número de folhas (adm.); ALT: altura de plântulas (cm); DAC: diâmetro a altura do colo (mm); RAIZ: comprimento de raiz (cm); IVE: índice de velocidade de emergência (adm.); MS: massa seca (g); M x D: análise da interação modo de aplicação x dose de *Hizobio*; CV: coeficiente de variação (%); ***: produto microbiológico a base de *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* em concentração 5×10^8 UFC ml^{-1} do produto comercial; ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente. Fonte: Arquivo pessoal (2026).

Na análise da regressão (Figura 5), houve interação significativa apenas para aplicação do produto no tratamento de sementes ($p < 0,01$), ajustando-se ao modelo polinomial cúbico, onde os dados apresentaram diminuição inicial até a dose de menor eficiência técnica (1,62 mL para 28,32% da EMT) e que depois aumentou até a dose de máxima resposta (6,73 mL para 81,49% da EMT).

De acordo com Abid *et al.* (2026) e Vinothini *et al.* (2026) a média de emergência para o gergelim em condições de campo é de 68 a 80%, o que demonstra que os resultados observados estão em uma faixa adequada para a cultura (81%).

Figura 5 – Emergência de plântulas (EMT) de gergelim sob aplicação de doses de *Hizobio* e métodos de aplicação em casa de vegetação, em Ceres, GO, 2026.



Legenda: EMT_{sem}: emergência total de plântulas para tratamento de sementes; ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% (p<0,01) e 5% (p<0,05) de probabilidade, respectivamente
Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Esse comportamento pode estar associado ao desequilíbrio hormonal temporário causado por concentrações de metabólitos bacterianos, seguido da estabilização da interação planta-microrganismo. A resposta das plantas pode estar relacionada a influência das condições ambientais e da dinâmica microbológica do solo.

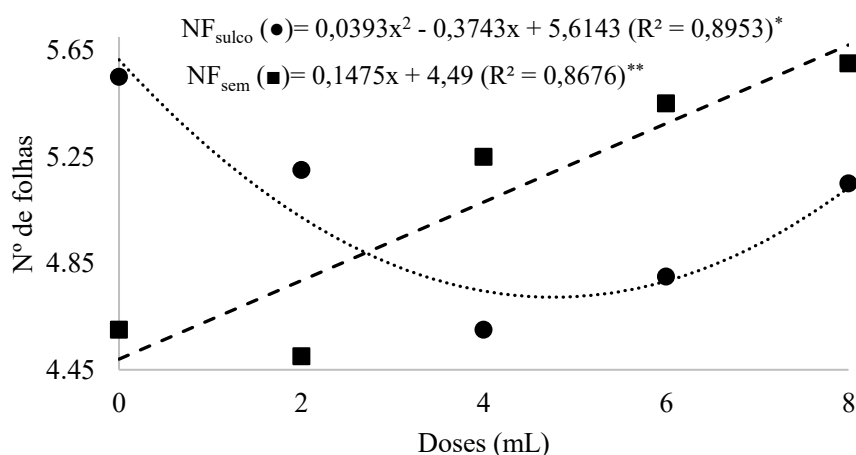
Sun *et al.* (2024) estudando o efeito dos bioestimulantes à base de RPCV em sistemas de produção agrícola também observaram respostas cúbicas e bifásicas em tratamento de sementes inoculadas com *Bacillus*. Chang *et al.* (2025) estudando doses de bioinoculantes microbianos no comportamento da rizosfera de videiras observaram redução inicial da emergência em baixas doses seguidas de recuperação em doses maiores, o que corrobora os resultados observados no presente trabalho.

Mangmang *et al.* (2015) estudando os efeitos de rizobactérias promotoras do crescimento vegetal nas características de germinação de sementes de tomate e alface relataram que concentrações sub-ótimas de metabólitos bacterianos podem

reduzir a germinação inicialmente. Segundo os autores o efeito inibitório inicial pode ser justificado por desequilíbrio hormonal temporário, excesso localizado de auxinas bacterianas e alteração osmótica na superfície da semente o que pode resultar na redução inicial da germinação/emergência. Esse comportamento é seguido de uma fase de adaptação fisiológica com reorganização metabólica da semente e estabelecimento microbiano benéfico e por fim tem o estímulo positivo em doses maiores com a produção eficiente de fitohormônios, enzimas germinativas e compostos antioxidantes até a sua saturação.

Para o resultado de NFOLHAS as aplicações no sulco e tratamento de semente foram significativas, se ajustando ao modelo quadrático decrescente para sulco, tendo seu ponto de menor desempenho na dose de 4,76 mL de *Hizobio* e um ajuste linear crescente para tratamento de semente - NFsem (Figura 6).

Figura 6 - Número de folhas de plântulas de gergelim sob aplicação de doses de *Hizobio* e métodos de aplicação em casa de vegetação, em Ceres, GO, 2026.



Legenda: NF_{sulco}: número de folhas em aplicação no sulco; NF_{sem}: número de folhas em aplicação no tratamento de sementes; ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% (p<0,01) e 5% (p<0,05) de probabilidade, respectivamente
 Fonte: Arquivo pessoal (2026).

Para aplicação no sulco esse comportamento sugere que, inicialmente, o aumento da concentração bacteriana no solo pode ter provocado um desequilíbrio temporário na rizosfera onde houve competição por nutrientes, oxigênio e exsudatos radiculares, o que reduziu momentaneamente a eficiência fisiológica da planta.

A recuperação do número de folhas nas doses mais altas provavelmente ocorreu devido à estabilização da interação entre planta e microrganismo. Após o estabelecimento da população bacteriana na rizosfera, os efeitos benéficos passam a

predominar, como maior solubilização de nutrientes, produção equilibrada de fitormônios e estímulo ao metabolismo vegetal, favorecendo o crescimento da parte aérea.

Já no tratamento de sementes pode indicar que a inoculação diretamente na semente proporciona colonização precoce da radícula logo após a germinação. Dessa forma, as bactérias acompanham o desenvolvimento inicial da planta desde os primeiros estágios, disponibilizando compostos promotores de crescimento vegetal. Como consequência do aumento do número de folhas, ocorre maior atividade fotossintética e maior expansão vegetativa, refletindo diretamente no aumento de fotoassimilados e energia, o que pode possibilitar maior produtividade da planta.

Resultados semelhantes são observados na literatura, onde a inoculação com *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* promove incremento significativo no crescimento vegetativo, incluindo número de folhas, sendo esse efeito dependente da dose e da forma de aplicação, com respostas frequentemente ajustadas a modelos lineares ou quadráticos (Patani *et al.*, 2024; Kibret *et al.*, 2024; Sajida *et al.*, 2025).

Em estudo com *B. amyloliquefaciens* e Biochar em arroz e em estudos com Gergelim, Gao *et al.* (2025) e Grichar (2024) observaram respostas semelhantes para número de folhas com aplicação de doses no sulco e verificaram que respostas não lineares (quadráticas) são comuns devido à competição rizosférica entre microrganismos até o momento da infecção nos tecidos radiculares por parte da solução aplicada e também saturação microbiana.

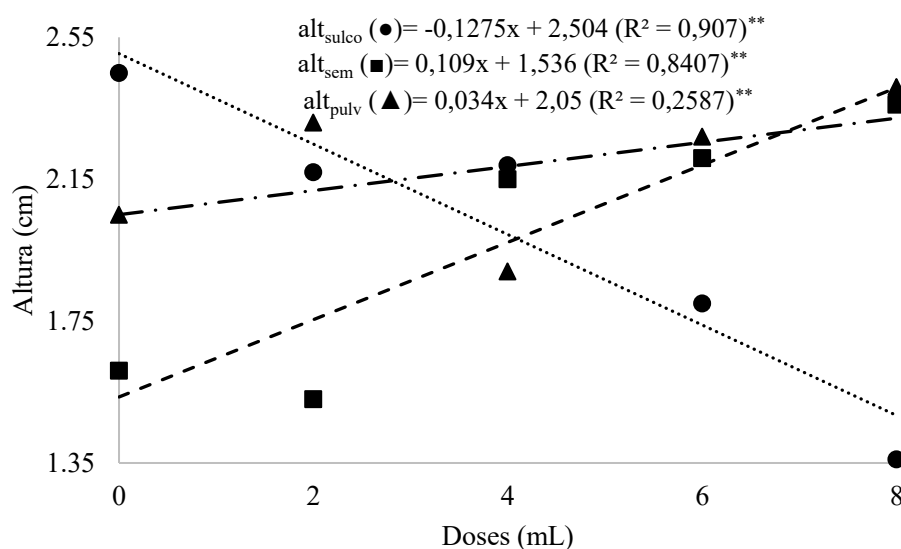
Ansabayeva *et al.* (2025) estudando microrganismos promotores do crescimento vegetal para sistemas agrícolas resilientes verificaram que *B. subtilis* contribui positivamente para o aumento da produção endógena de auxinas e giberelinas, o que reflete positivamente no aumento direto no número de folhas das plantas estudadas.

A resposta quadrática observada para aplicação via sulco, segundo Abuhena *et al.* (2022), Gaspareto *et al.* (2023) e Souza *et al.* (2024) pode ser atribuída à dinâmica de interação entre microrganismos e o ambiente do solo, onde doses intermediárias podem resultar em competição microbiana ou efeitos fisiológicos negativos temporários, reduzindo o crescimento vegetal, seguido de recuperação em doses mais elevadas.

Por outro lado, o comportamento linear crescente observado no tratamento de sementes está associado à colonização progressiva e proporcional das plântulas por RPCV, resultando em aumento contínuo no número de folhas com o incremento da dose (Kang *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2023; Priyanka *et al.*, 2024).

A altura média de plântulas (ALT) houve interação significativa para todos os métodos de aplicação ($p < 0,01$) em que se ajustaram ao modelo de equação linear decrescente para aplicação no sulco (dose 0 = 2,45 cm e dose 8 = 1,36 cm) e crescente para tratamento de semente e com pulverização (0 = 1,61 cm; 8 = 2,36 cm e 0 = 2,05 cm; 8 = 2,41 cm respectivamente) (Figura 7).

Figura 7 – Altura média de plântulas de gergelim sob aplicação de doses de *Hizobio* e métodos de aplicação em casa de vegetação, em Ceres, GO, 2026.



Legenda: ALT_{sulco}: altura média de plântulas na aplicação no sulco; ALT_{sem}: altura média de plântulas na aplicação no tratamento de semente; ALT_{pulv}: altura média de plântulas na pulverização; ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente
 Fonte: Arquivo pessoal (2026).

O comportamento observado para a variável está diretamente relacionado aos mesmos processos fisiológicos e microbiológicos que influenciaram o número de folhas.

A aplicação via sulco pode ser explicada pela dinâmica microbiológica do solo. As bactérias ficam imediatamente inseridas em um ambiente já ocupado por microrganismos nativos, ocorrendo intensa competição por nutrientes, espaço e exsudatos radiculares. Em doses mais elevadas pode gerar desequilíbrio temporário

na rizosfera, reduzindo a eficiência fisiológica da planta. Nas aplicações via tratamento de semente e pulverizado, esses métodos de aplicação provavelmente proporcionam uma interação mais eficiente e menos competitiva entre planta e microrganismo.

A literatura demonstra que a eficiência de *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* depende fortemente do método de aplicação e da dose utilizada. Leite *et al.* (2022) estudando o efeito dos microrganismos solubilizadores de fosfato demonstraram que interações entre microrganismos e solo podem reduzir o crescimento em doses elevadas, afetando a altura.

Os autores Prisa *et al.* (2023) descrevem efeitos negativos em altas doses de RPCV no solo, incluindo diminuição de crescimento por competição microbiana, o que corrobora com os efeitos observados no presente trabalho onde aplicações no sulco tendem a apresentar maior eficiência em baixas doses, devido à melhor interação inicial com a rizosfera.

Por outro lado, o tratamento de sementes e a aplicação via pulverização foliar demonstraram maior resultado em doses mais elevadas. Hegde e Vijaykumar (2022) estudando a formulação e aplicação de biopesticidas observaram que o tratamento de sementes com RPCV promove colonização aparentemente progressiva, aumentando no crescimento da planta, incluindo altura. Os autores Araújo *et al.* (2023) evidenciam que o tratamento de sementes supera a aplicação no sulco em doses mais altas, devido à melhor eficiência de estabelecimento microbiano, favorecendo a colonização e a resposta fisiológica das plantas, refletindo em maiores valores de altura.

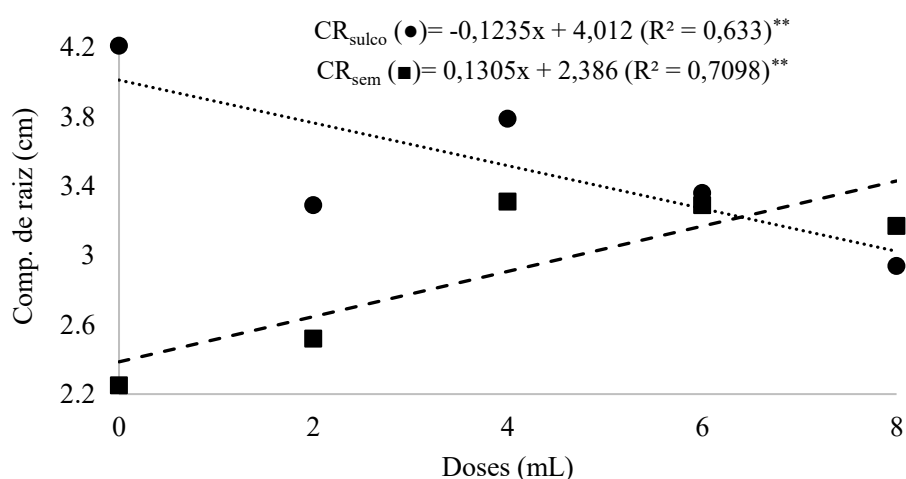
Jalal *et al.* (2023) estudando o uso integrado de RPCV e nano-zinco observaram que variáveis de crescimento, incluindo altura, diminuíram linearmente com aumento das doses, indicando efeito negativo em doses elevadas, e adequou a um ajuste em modelo linear decrescente, semelhante aos dados observados neste trabalho.

Em um estudo de Rasool *et al.* (2021) constataram que bactérias do gênero *Bacillus* interferem diretamente e positivamente na produção de fito hormônios como auxinas e giberelinas, resultando em incremento linear da altura de plantas. Entretanto, quando presentes em concentrações excessivas ou desbalanceadas, esses compostos podem causar efeito contrário ao esperado, reduzindo temporariamente o crescimento vegetal. Assim, o menor crescimento em altura

observado nas maiores doses aplicadas no sulco provavelmente está associado ao excesso de atividade microbiana próximo às raízes e à alteração do balanço hormonal da planta.

O comprimento médio de raiz, na interação M x D, houve resultado significativo para os métodos de aplicação no sulco e tratamento de sementes ($p < 0,01$) em que se ajustaram ao modelo linear decrescente para aplicação no sulco (dose 0 = 4,21 cm e dose 8 = 2,94 cm) e crescente para tratamento de semente (0 = 2,25 cm e 8 = 3,17 cm) (Figura 8).

Figura 8 - Comprimento médio de raiz de plântulas de gergelim sob aplicação de doses de *Hizobio* e métodos de aplicação em casa de vegetação, em Ceres, GO, 2026.



Legenda: CR_{sulco}: comprimento médio de raiz na aplicação no sulco; CR_{sem}: comprimento médio de raiz na aplicação no tratamento de semente; ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente
Fonte: Arquivo pessoal (2026).

O comportamento variado observado na variável pode estar relacionado a altas concentrações de metabólitos bacterianos, principalmente auxinas, podem alterar o balanço hormonal da planta e reduzir o alongamento radicular e ou em condições ótimas para a rizosfera a planta busca economizar energia na produção de tecido radicular e vice-versa.

Nascimento *et al.* (2022) estudando o comportamento do crescimento da soja sob diferentes métodos de aplicação de *Bacillus* observaram que aplicação no sulco vs. tratamento de sementes gera respostas distintas no sistema radicular, com diferenças significativas dependentes da dose. Enquanto que Fiuza *et al.* (2022)

estudando os efeitos da inoculação de rizobactérias via solo e sementes identificaram que forma de aplicação altera diretamente o comprimento de raízes, com forte interação estatística.

Para Zerbinatti *et al.* (2025) analisando métodos de distribuição de *Bacillus* e respostas da rizosfera verificaram que métodos de aplicação influenciam a arquitetura radicular mais do que a dose isoladamente.

Os autores Akhtar *et al.* (2021) estudando os efeitos das RPCV em diferentes condições verificaram que efeitos mais evidentes no comprimento de raiz avaliadas por eles ocorrem em doses iniciais, com estabilização posterior. E Quello *et al.* (2026) relataram que diferenças entre métodos são mais pronunciadas em baixas doses, onde, baixas doses demonstraram maior sensibilidade da planta e doses altas o sistema solo/planta entra em estabilização biológica. Esses são dados que podem contribuir para a interpretação dos dados observados neste trabalho, onde a dose zero para sulco o solo se encontrava em equilíbrio, sem interferências externas e na dose de 2 mL (sulco) demonstra o estímulo inicial ideal.

Bhardwaj *et al.* (2025) estudando os efeitos de doses dependentes de RPCV no crescimento radicular de plantas leguminosas e Rosa *et al.* (2021) estudando a interação entre RPCV e fertilização fosfatada relataram função linear decrescente em variáveis de crescimento com aumento da dose no sulco, incluindo raízes. E que doses elevadas podem reduzir crescimento radicular devido a desequilíbrios fisiológicos causados por competição da microbiota na rizosfera gerando competição por exsudatos radiculares, saturação de metabólitos, onde o ácido endol-acético (AIA) em excesso pode inibir o alongamento radicular e redistribuição de carbono, o que explica o comportamento radicular para as doses em aplicação no sulco deste trabalho.

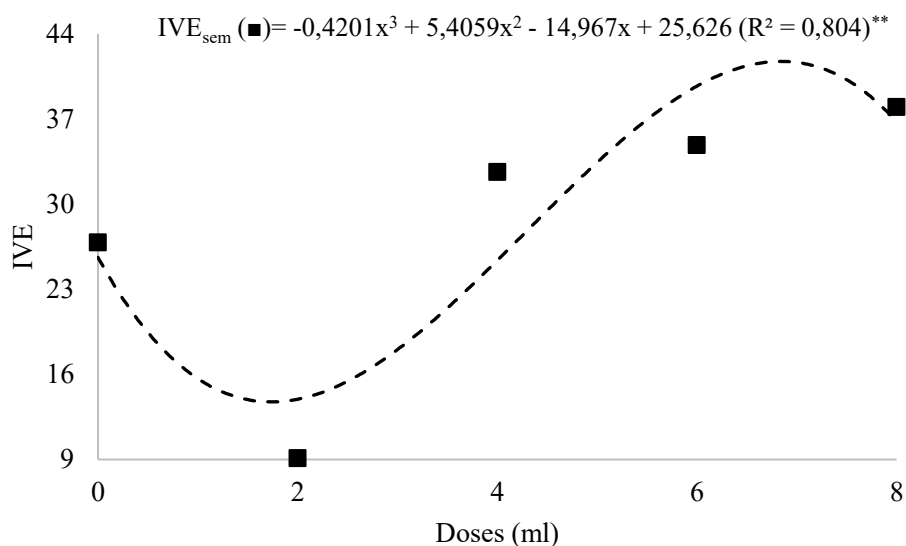
Souza *et al.* (2024) e Pataczek *et al.* (2024) estudando microrganismos promotores de crescimento em feijões e a relação de *Bacillus* e aquisição de nutrientes relataram incremento linear no sistema radicular proporcionalmente com o aumento da dose via semente. Os autores identificaram que o tratamento da semente com RPCV proporciona uma colonização direta da radícula desde a germinação promovendo uma produção controlada de fito hormônios e melhorando a absorção de nutrientes, sendo que quanto maior a dose testada, maior a colonização e maior o

crescimento radicular. Isso corrobora diretamente com os dados observados neste experimento.

Para o IVE o resultado apresentou diferença significativa para o tratamento de semente ($p < 0,01$) se ajustando ao modelo polinomial cúbico, onde os dados apresentaram diminuição na resposta do IVE até a dose de menor eficiência técnica (1,73 mL para 13,74 do IVE) e que depois passaram a aumentar até a dose de máxima resposta (6,84 mL para 41,77 do IVE) (Figura 9).

Um maior índice de velocidade de emergência é extremamente importante para a cultura do gergelim, pois está diretamente relacionado ao vigor das sementes e à capacidade de estabelecimento rápido e uniforme das plântulas no campo. Em culturas de ciclo relativamente curto, como o gergelim, a emergência rápida favorece o melhor aproveitamento dos recursos ambientais logo nas fases iniciais do desenvolvimento, refletindo em maior crescimento vegetativo e melhor desempenho produtivo ao longo do ciclo.

Figura 9 - Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de gergelim sob aplicação de doses de *Hizobio* e métodos de aplicação em casa de vegetação, em Ceres, GO, 2026.



Legenda: IVE_{sem} : índice de velocidade de emergência para o tratamento de semente; ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente
Fonte: Arquivo pessoal (2026).

O comportamento cúbico evidencia uma resposta fisiológica mais complexa, onde nas menores doses houve o menor resultado para o IVE, sugerindo que

concentrações iniciais do inoculante podem ter causado desequilíbrio osmótico ou hormonal temporário na superfície da semente, retardando a germinação e ou falta de associação bactéria raiz devido a baixa concentração de inoculante na semente. E após esse período, o aumento das doses pode ter favorecido a estabilização da colonização bacteriana e intensificou os efeitos benéficos das PGPR.

A literatura demonstra de forma consistente que o IVE sob inoculação com *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* é altamente sensível à forma de aplicação, doses aplicadas e a fase fisiológica da planta (germinação/emergência e estabelecida).

Singh *et al.* (2026) estudando abordagens baseadas no microbioma para a melhora da qualidade de sementes de grandes culturas identificaram que aplicações não restritas ao solo podem melhorar o índice de emergência e estabelecimento inicial. Segundo os autores a pulverização com baixas doses (de 2 a 4 ml) tem atuação via metabólitos bacterianos (fitohormônios e compostos orgânicos voláteis – COVs) e evita competição direta no solo.

Satognon *et al.* (2025) estudando o impacto do consórcio *Bacillus* promotores de crescimento no tratamento de sementes, na germinação e vigor de gramíneas forrageiras demonstraram que o IVE responde de forma não linear à dose, com redução inicial e posterior aumento, semelhante aos resultados observados no presente trabalho.

Tariq *et al.* (2026) estudando estirpes de *Bacillus* promotoras do crescimento no desenvolvimento inicial da soja através do tratamento de sementes com as bactérias observaram que respostas iniciais podem apresentar queda seguida de aumento, devido à regulação e remodelação do proteoma. Segundo os autores as bactérias podem interferir na produção de proteínas como a síntese de antranilato e proteassoma, o que pode refletir no potencial da biossíntese de auxina.

Nerling *et al.* (2022) estudando os efeitos de COVs e metabólitos de rizobactérias na qualidade de sementes observaram que metabólitos bacterianos podem inibir ou estimular a germinação dependendo da concentração. Os autores relatam que RPCVs são responsáveis pelo aumento das quantidades de ácido indolacético e fosfato solúvel, pelo aumento da atividade enzimática e do metabolismo energético durante a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas, em uma resposta progressiva por parte da semente/plântula. Dados que corroboram com os observados no presente trabalho.

Para os resultados de massa seca de plântulas de gergelim (Tabela 2) os métodos de tratamento de semente e pulverização apresentaram os maiores resultados médios (0,1736 g e 0,1739g) e se diferiram estatisticamente da aplicação no sulco (0,1402 g).

O acúmulo de massa seca depende diretamente da eficiência fotossintética e do equilíbrio fisiológico da planta. Plantas que apresentam maior crescimento radicular, maior número de folhas e maior crescimento da parte aérea tendem a produzir mais fotoassimilados e, conseqüentemente, acumular maior quantidade de matéria seca. Além disso, a produção de massa seca possui forte relação com a qualidade fisiológica das sementes. Sementes de maior vigor normalmente originam plântulas mais uniformes, com emergência rápida, maior taxa fotossintética e maior capacidade de crescimento inicial. Isso permite melhor estabelecimento do sistema radicular e maior eficiência na absorção de nutrientes, refletindo diretamente no acúmulo de biomassa.

Tabela 2 - Massa seca de plântulas de gergelim para os métodos de aplicação de *Hizobio em casa de vegetação, em Ceres, GO, 2026.**

Métodos de aplicação	Massa Seca (g)
Sulco	0,1402b
Semente	0,1736a
Pulverização	0,1739a

Obs. *: produto microbiológico a base de *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* em concentração 5×10^6 UFC ml⁻¹; Sulco: aplicação do produto no sulco de plantio; Semente: aplicação do produto como tratamento da semente; Pulverização: aplicação do produto pulverizado já na plântula emergida; Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Arquivo pessoal (2026).

O comportamento observado pode ser explicado devido à maior eficiência na colonização inicial e ao estímulo direto de processos fisiológicos, como fotossíntese e absorção de nutrientes. Por outro lado, aplicações no sulco podem apresentar menor eficiência em função da competição com a microbiota nativa e menor estabelecimento do inoculante, reduzindo o impacto sobre o crescimento vegetal.

Ali *et al.* (2025) estudando aplicações de *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* como bioestimulantes constataram que métodos como tratamento de sementes e pulverização foliar frequentemente superam a aplicação no solo (sulco). Segundo os autores isso ocorre porque a biomassa resulta de integração fisiológica (fotossíntese

+ absorção + crescimento), não apenas da interação radicular. Hernández-Amador *et al.* (2026) em uma revisão sobre *Bacillus* como agentes de biocontrole e promotores de crescimento destacam que o método de aplicação influencia diretamente a expressão dos efeitos fisiológicos e acúmulo de biomassa.

Lastochkina *et al.* (2023) estudando alterações fisiológicas induzidas por *Bacillus* em plantas observaram que aplicações via pulverização foliar em plantas recém emergidas refletiu em maior fotossíntese total e interferiu na regulação hormonal. E Radzikowska-Kujawska *et al.* (2025) estudando bioestimulantes à base de *Bacillus* em culturas agrícolas observaram que as plantas que passaram por tratamento de semente tiveram uma melhor eficiência no uso da água do solo o que contribui positivamente para o incremento de biomassa.

De maneira geral, observou-se elevada dependência da dinâmica solo-planta-microrganismo, evidenciando que os efeitos dos RPCV não ocorrem de forma linear e uniforme, mas sim condicionados ao método de inoculação e à concentração aplicada. Os resultados obtidos e a literatura pesquisada reforçam que os efeitos de *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* sobre o crescimento do gergelim dependem de mecanismos multifatoriais envolvendo produção de fitohormônios, solubilização de nutrientes, modulação fisiológica e interação ecológica com a microbiota do solo. Enquanto aplicações via sulco favoreceram a emergência e o estabelecimento inicial das plântulas, aplicações via sementes e pulverização promoveram respostas vegetativas mais estáveis e progressivas, refletindo em maior crescimento e acúmulo de biomassa.

CONCLUSÕES

O uso do bioestimulante à base de *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens* promove efeitos benéficos no estabelecimento e no crescimento vegetativo inicial do gergelim da variedade K3.

O método de tratamento de sementes é o mais eficaz para otimizar o estabelecimento inicial da cultura, promovendo o máximo estande de emergência na dose estimada de 6,73 mL L⁻¹.

Para as variáveis de crescimento inicial da parte aérea (como altura de plântulas), tanto o tratamento de sementes quanto a pulverização foliar (aplicada aos 11 dias) destacam-se como métodos superiores à aplicação no sulco de semeadura.

Recomenda-se a inoculação via sementes associada a doses intermediárias a altas (entre 6,0 e 8,0 mL L⁻¹ do produto comercial) para a maximização do vigor inicial das plântulas de gergelim.

Dessa forma, o emprego de bioestimulantes microbiológicos representa uma alternativa sustentável e promissora para o crescimento inicial da cultura do gergelim.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABID, K.; MINHAJ, M.; CHABILI, A.; ATERI, I. E.; LOUDIKI, M.; MANAUT, N.; DOUMA, M. Assessment of an Aqueous Microalgal Extract of *Chlorococcum* sp. as an Eco-Friendly Biostimulant to Improve Germination and Seedling Performance of *Sesamum indicum* L. **Phycology**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 6-24, 1 jan. 2026. MDPI AG.

ABREU, L. P. S.; MARTINAZZO, A. P.; TEODORO, C. E. S.; BERBERT, P. A.; Alternativa sustentável de uso de *Bacillus amyloliquefaciens* no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 16, n. 1, p. 1-15, 2022.

ABUHENA, ¹M.; AL-RASHID, J.; AZIM, M. F.; KHAN, M. N. M.; KABIR, M. G.; BARMAN, N. C.; RASUL, N. M.; AKTER, S.; HUQ, M. A. Optimization of industrial (3000 L) production of *Bacillus subtilis* CW-S and its novel application for minituber and industrial-grade potato cultivation. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 11153-11187, 2022.

AKHTAR, S. S.; AMBY, D. B.; HEGELUND, J. N.; FIMOIGNARI, L.; GROßKINSKY, D. K.; WESTERGAARD, J. C.; MÜLLER, R.; MOELBAK, L.; LIU, F.; ROITSCH, T. *Bacillus licheniformis* FMCH001 Increases Water Use Efficiency via Growth Stimulation in Both Normal and Drought Conditions. **Frontiers In Plant Science**, v. 11, p. 327-340, 2021.

ALI, D. F. I.; EL-NAHRAWY, S.; EL-ZAWAWY, H. A. H.; OMARA, A. E. Effective Applications of *Bacillus subtilis* and *B. amyloliquefaciens* as Biocontrol Agents of Damping-Off Disease and Biostimulation of Tomato Plants. **Stresses**, v. 5, n. 1, p. 9-27, 2025.

ANSABAYEVA, A.; MAKHAMBETOV, M.; REBOUH, N. Y.; ABDELKADER, M.; SAUDY, H. S.; HASSAN, K. M.; NASSER, M. A.; ALI, M. A. A.; EBRAHIM, M. Plant Growth-Promoting Microbes for Resilient Farming Systems: mitigating environmental stressors and boosting crops productivity: a review. **Horticulturae**, v. 11, n. 3, p. 260-287, 2025.

ARAÚJO, J. L.; ALVES, J. de M.; ROCHA, R. H. C.; SANTOS, J. Z. L.; BARBOSA, R. dos S.; COSTA, F. M. N.; LIMA, G. S. de; FREITAS, L. N. de; LIMA, A. S.; NOGUEIRA, A. E. P. Beneficial Microorganisms Affect Soil Microbiological Activity and Corn Yield under Deficit Irrigation. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1169-1184, 2023.

ARRIEL, N. H. C.; FERREIRA, D. da S. Cultivares de gergelim. In: RETORE, M.; PEZARICO, C. R. (Org.). **Tecnologias para a agricultura familiar**. 4. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2020. p. 229-232.

BELTRÃO, N. E. de M.; FERREIRA, L. L.; QUEIROZ, N. L.; TAVARES, M. da S.; ROCHA, M. do S.; ALENCAR, R. D.; PORTO, V. C. N. **O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro**. Natal: IFRN, 2013. 225 p.

BHARDWAJ, I.; KUMAR, V.; SINGH, S.; SHARMA, A. J.; KUMARI, S.; BHARDWAJ, N.; DULTA, K.; PETER, L.; VERMA, R.; KUMAR, N. Evaluation of Stress-Tolerant *Serratia* and *Enterobacter* as PGPR for Nutrient Solubilization and Dose-Dependent Bioformulation to Enhance Tomato Seedlings. **Plants**, v. 14, n. 14, p. 2154-2171, 2025.

BLAKE, C.; CHRISTENSEN, M. N.; KOVÁCS, Á. T. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. **Molecular Plant Microbe Interactions**, v. 34, n. 1, p. 5–25, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). **Regras para Análise de Sementes (RAS)**. Brasília: MAPA, 2025.

CHANG, X.; CHEN, J.; ZHAO, K.; WANG, T.; YANG, Y.; JIA, X.; HU, B.; YU, Y.; LI, F.; HE, Y. Dose-optimized microbial inoculants reshape grape rhizosphere microbiota and enhance fruit quality. **Frontiers In Microbiology**, v. 16, n. 1, p. 129-144, 2025.

DIMOPOULOU, A.; THEOLOGIDIS, I.; BENAKI, D.; KOUKOUNIA, M.; ZERVAKOU, A.; TZIMA, A.; DIALLINAS, G.; HATZINIKOLAOU, D. G.; SKANDALIS, N. Direct Antibiotic Activity of Bacillibactin Broadens the Biocontrol Range of *Bacillus amyloliquefaciens* MBI600. **mSphere**, v. 6, n. 4, e0037621, 2021.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistics Division**. Roma: FAO, 2025.

FERREIRA, D. F. **SISVAR, sistema de análise de variância para dados balanceados. Versão 5.7 (Build 91)**. 2024.

FIUZA, D. A. F.; VITORINO, L. C.; SOUCHIE, E. L.; RIBEIRO NETO, M.; BESSA, L. A.; SILVA, C. F. da; TROMBELA, N. T. Effect of Rhizobacteria Inoculation via Soil and Seeds on *Glycine max* L. Plants Grown on Soils with Different Cropping History. **Microorganisms**, v. 10, n. 4, p. 691-710, 2022.

FREZATO, Pablo et al. Ação de bioestimulantes e nutrientes via tratamento de sementes na germinação e desenvolvimento de plântulas de *Glycine Max* L. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 18674-18679, 2021.

GAMEZ, R.; CARDINALE, M.; MONTES, M.; RAMIREZ, S.; SCHNELL, S.; RODRIGUEZ, F. Screening, plant growth promotion and root colonization pattern of two rhizobacteria (*Pseudomonas fluorescens* Ps006 and *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006) on banana cv. Williams (*Musa acuminata* Colla). **Microbiological Research**, v. 220, p. 12-20, 2019.

GAO, G.; LI, X.; MA, J.; CUI, Y.; YING, M.; HUANG, L.; LI, M. *Bacillus amyloliquefaciens* SQ-2 and Biochar: a promising combination for enhancing rice growth in pb/al-contaminated acidic soils. **Microorganisms**, v. 13, n. 7, p. 1556-1573, 2025.

GASPARETO, R. N.; JALAL, A.; ITO, W. C. N.; OLIVEIRA, C. E. da S.; GARCIA, C. M. de P.; BOLETA, E. H. M.; ROSA, P. A. L.; GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; GHALEY, B. B. Inoculation with Plant Growth-Promoting Bacteria and Nitrogen Doses Improves Wheat Productivity and Nitrogen Use Efficiency. **Microorganisms**, v. 11, n. 4, p. 1046-1071, 2023.

GRICHAR, W. J. Sesame (*Sesamum indicum* L.) Response to Soil Additives Applied in-Furrow at Planting. **Journal Of Experimental Agriculture International**, v. 46, n. 3, p. 70-78, 2024.

HEGDE, G. M.; VIJAYKUMAR, K. N. Formulation, Application and Commercialization of Biopesticides in India. **Asia Pacific**, v. 1, n. 1, p. 231-345, 2022.

HERNÁNDEZ-AMADOR, E.; MONTESDEOCA-FLORES, D. T.; LUIS-JORGE, J. C. *Bacillus* as Premier Biocontrol Agents: mechanistic insights, strategic application, and future regulatory landscapes in sustainable agriculture. **Plants**, v. 15, n. 3, p. 516-531, 2026.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação biológica do nitrogênio. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Org.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: Embrapa, 2022. p. 143-162.

JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. da S.; FERNANDES, G. C.; SILVA, E. C. da; COSTA, K. N. da; SOUZA, J. S. de; LEITE, G. da S.; BIAGINI, A. L. C.; GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Integrated use of plant growth-promoting bacteria and nano-zinc foliar spray is a sustainable approach for wheat biofortification, yield, and zinc use efficiency. **Frontiers In Plant Science**, v. 14, p. 23-38, 2023.

KANG, A.; ZHANG, N.; XUN, W.; DONG, X.; XIAO, M.; LIU, Z.; XU, Z.; FENG, H.; ZOU, J.; SHEN, Q. Nitrogen fertilization modulates beneficial rhizosphere interactions through signaling effect of nitric oxide. **Plant Physiology**, v. 188, n. 2, p. 1129-1140, 2021.

KAZEROONI, E. A.; MAHARACHCHIKUMBURA, S. S. M.; ADHIKARI, A.; AL-SADI, A. M.; KANG, S.-M.; KIM, L.-R.; LEE, I.-J. Rhizospheric *Bacillus amyloliquefaciens* protects *Capsicum annuum* from multiple abiotic stresses via multifarious plant growth-promoting attributes. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021.

KIBRET, M.; DEVKOTA, K.; BAKRIM, W. B.; EZZARIAL, A.; TEREFE, H.; KAROUACH, F.; SOBEH, M.; HAFIDI, M.; KOUISNI, L. Plant growth promoting rhizobacteria mitigate drought and salinity stresses, and improve the physiological and agronomic performances in crops: a systematic review. **Cabi Reviews**, v. 1, n. 1, p. 23-45, 2024.

KORADHANYAMATH, P.; GOWDA, B.; SHAKUNTALA, N. M.; DODDAGOUDAR, S. R.; HOSAMANI, A.; SAVITHA, A. S.; RAO, S. Influence of Seed Bio-priming with Microbial Inoculants on Germination, Seedling Growth, Vigour and Enzyme Activity in Chickpea. **Legume Research - An International Journal**, v. 1, n. p. 1-7, 2025.

KUMAR, S.; SRIPATHY, K. V.; BHASKAR, K. U.; VINESH, B. Principles of Quality Seed Production. In: Dadlani, M.; YADAVA, D. K. (Org.). **Seed Science and Technology**. Singapore: Springer, 2023. p. 109-131

LASTOCHKINA, O.; YAKUPOVA, A.; AVTUSHENKO, I.; LASTOCHKIN, A.; YULDASHEV, R. Effect of Seed Priming with Endophytic *Bacillus subtilis* on Some Physio-Biochemical Parameters of Two Wheat Varieties Exposed to Drought after Selective Herbicide Application. **Plants**, v. 12, n. 8, p. 1724-1749, 2023.

LEITE, R. da C.; PEREIRA, Y. C.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. de; MORAES, A. J. G. de; SILVA, G. B. da. 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, p. 64-72, 2022.

LIMA, B. F. S.; ALMEIDA, T. T.; OLIVEIRA, A. S.; MACHADO, G. L.. Qualidade fisiológica de sementes de gergelim em função do equilíbrio higroscópico em diferentes saís. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 18-22, 19 jul. 2021.

LUO, L.; ZHAO, C.; WANG, E.; RAZA, A.; YIN, C. *Bacillus amyloliquefaciens* as an excellent agent for biofertilizer and biocontrol in agriculture: An overview for its mechanisms. **Microbiological Research**, v. 259, 2022.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p 176-177, 1962.

MANGMANG, J.; DEAKER, R.; ROGERS, G. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Seed Germination Characteristics of Tomato and Lettuce. **Journal Of Tropical Crop Science**, v. 1, n. 2, p. 35-40, 2015.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Conceitos**: Conheça a base conceitual do Programa Nacional de Bioensumos. 2020.

MARIN, L. A. **Bactérias promotoras de crescimento na cultura do trigo**. 50 f. 2025. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Dois Vizinhos, 2025.

MELO, M. O. L. Barreiras não tarifárias fitossanitárias. **Revista de Política Agrícola**, v. 1, n. 2, p. 31-42, 2023.

NASCIMENTO, D. D. do; RODRIGUES, M.; FERREIRA, R. J.; MARCHIORO, V.; SILVA, E. M. da; SILVA JUNIOR, C. A.; KUPPER, K. C.; POLANCZYK, R. A.; SOARES, P. L. M. Soybean growth-promotion and *Heterodera glycines* suppression in two application methods of *Bacillus strains*. **Biological Control**, v. 175, p. 105039-105056, 2022.

NERLING, D.; GARCIA, J.; CASTOLDI, C. T.; LEOLATO, L. S.; DELLA GIUSTINA, P. G.; BAGIO, B.; CARLESSO, C.; SOMMER, Â. S. Effect of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Secondary Metabolites Produced by Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Seed Quality. In: SAYYED, R. Z.; UARROTA, V. G. (Org.). **Secondary Metabolites And Volatiles Of Pgpr In Plant-Growth Promotion**, Springer, 2022. p. 59-75.

OLIVEIRA, A.O.; COSTA, A.C.P.R.; ZUCARELI, V.; Inoculação com *Azospirillum brasilense*, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, e *Bacillus megaterium* em sementes de milho. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 13, n. 01, p. 105-126, 2024.

OLIVEIRA, C. E. da S.; JALAL, A.; VITÓRIA, L. S.; GIOLO, V. M.; OLIVEIRA, T. J. S. S.; AGUILAR, J. V.; CAMARGOS, L. S. de; BRAMBILLA, M. R.; FERNANDES, G. C.; VARGAS, P. F. Inoculation with *Azospirillum brasilense* Strains AbV5 and AbV6 Increases Nutrition, Chlorophyll, and Leaf Yield of Hydroponic Lettuce. **Plants**, v. 12, n. 17, p. 3107-3123, 2023.

PATACZEK, L.; ARMAS, J. C. B.; PETSCH, T.; HILGER, T.; AHMAD, M.; SCHAFLEITNER, R.; ZAHIR, Z. A.; CADISCH, G. Single-Strain Inoculation of *Bacillus subtilis* and *Rhizobium phaseoli* Affects Nitrogen Acquisition of an Improved Mungbean Cultivar. **Journal Of Soil Science And Plant Nutrition**, v. 24, n. 4, p. 6746-6759, 2024.

PATANI, A.; PATEL, M.; ISLAM, S.; YADAV, V. K.; PRAJAPATI, D.; YADAV, A. N.; SAHOO, D. K.; PATEL, A. Recent advances in Bacillus-mediated plant growth enhancement: a paradigm shift in redefining crop resilience. **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, v. 40, n. 2, p. 40-77, 2024.

PIRTTILÄ, A. M.; TABAS, H. M. P.; BARUAH, N.; KOSKIMÄKI, J. J. Biofertilizers and Biocontrol Agents for Agriculture: How to Identify and Develop New Potent Microbial Strains and Traits. **Microorganisms**, v. 9, n. 4, e817, 2021.

PRISA, D.; FRESCO, R.; SPAGNUOLO, D. Microbial Biofertilisers in Plant Production and Resistance: a review. **Agriculture**, v. 13, n. 9, p. 1666-1681, 2023. PRIYANKA; KUMAR, S.; SHARMA, S. Development of bacterial bioformulations using response surface methodology. **Journal Of Applied Microbiology**, v. 135, n. 11, p. 327-345, 2024.

QUELLO, A.; POMA-CHAMANA, R.; FLORES-MARQUEZ, R.; SOLÓRZANO-ACOSTA, R. Fertigation with *Pseudomonas putida* and *Bacillus subtilis*: impact on growth and productivity of off-season quinoa grown in coastal peru. **Frontiers In Agronomy**, v. 8, p. 120-139, 2026.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2024. <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15 jan. 2026

RADZIKOWSKA-KUJAWSKA, D.; PIECHOTA, T.; JARZYNIAK, K.; KOWALCZEWSKI, P. Ł.; WOJEWÓDZKI, P. Effects of biopreparations based on *Bacillus* and *Trichoderma*, combined with mineral and organic fertilization and a *Pisum sativum* L. forecrop on improving the tolerance of Maize plants to drought stress. **Plos One**, v. 20, n. 5, p. 322718-322731, 2025.

RASOOL, M.; AKHTER, A.; SOJA, G.; HAIDER, M. S. Role of biochar, compost and plant growth promoting rhizobacteria in the management of tomato early blight disease. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 60-92, 2021.

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Heredity**, v. 128, n. 6, p. 450-459, 2022.

ROCHA, I.; MA, Y.; SOUZA-ALONSO, P.; VOSÁTKA, M.; FREITAS, H.; OLIVEIRA, R. S. Seed Coating: A Tool for Delivering Beneficial Microbes to Agricultural Crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, e1357, 2019.

ROSA, P. A. L.; MORTINHO, E. S.; JALAL, A.; GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; FERNANDES, G. C.; BARCO NETO, M.; PAVINATO, P. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Inoculation With Growth-Promoting Bacteria Associated With the Reduction of Phosphate Fertilization in Sugarcane. **Frontiers In Environmental Science**, v. 8, n. 1, p. 57-72, 2021.

SAJIDA; KASHTOH, H.; TAMANG, T. L.; BAEK, K. Recent Advances on the Individual Roles and Emerging Synergistic Effects of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Silicon Nanoparticles in Mitigating Salinity Stress. **Plants**, v. 14, n. 23, p. 3632-3649, 2025.

SATOGNON, F.; WATTS, D. B.; ADESEMOYE, A. O.; TORBERT, H. A.; PRASAD, R.; MULLENIX, M. K. Impact of Bacillus PGPR consortium on germination and seedling vigor of cool- and warm-season forage grasses under different temperature regimes. **Arid Land Research And Management**, v. 40, n. 2, p. 281-300, 2025.

SHARMA, V.; KAUR, J.; SHARMA, S. Rizobactérias promotoras do crescimento vegetal: potencial para a agricultura sustentável. **Biotecnologia Vegetal**, v. 20, n. 3, p. 157–166, 2020.

SILVA, R. T.; OLIVEIRA, A. D. de; LOPES, M. de F. Q.; GUIMARÃES, M. de A.; DUTRA, A. S. Physiological quality of sesame seeds produced from plants subjected to water stress. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 643-648, 2016.

SINGH, D. P.; PRABHA, R.; MAURYA, S.; SATNAMI, L.; SARMA, B. K.; CHAURASIA, A.; RAI, N. Microbiome driven approaches improve seed quality and plant health for agricultural sustainability. **Discover Plants**, v. 3, n. 1, p. 79-97, 2026.

SOUZA, L. F. R. de; SOUZA JÚNIOR, N. C. de; FERNANDES, G. C.; ITO, W. C. N.; BARBOSA, M. C.; FREITAS, L. B.; SOUZA, K. da S.; ALEXANDRE, L. dos S.; SILVA, M. B.; SILVA, E. C. da. Response of *Phaseolus vulgaris* to the Use of Growth-Promoting Microorganisms Associated with the Reduction of NPK Fertilization in Tropical Soils: clayey oxisol and sandy ultisol. **Agriculture**, v. 15, n. 1, p. 63-85, 2024.

SOUZA, R. A.; SANTOS, L. G.; MELO, A. F. Interações benéficas entre *Bacillus subtilis* e plantas: regulação hormonal e crescimento radicular. **Acta Agronômica**, v. 74, n. 2, p. 112-120, 2023.

SUN, W.; SHAHRAJABIAN, M. H.; SOLEYMANI, A. The Roles of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR)-Based Biostimulants for Agricultural Production Systems. **Plants**, v. 13, n. 5, p. 613-628, 2024.

SUNDARESWARAN, S.; CHOUDHURY, P. R.; VANITHA, C.; YADAVA, D. K. Seed quality: Variety development to planting—An overview. In: Dadlani, M.; YADAVA, D. K. (Org.). **Seed Science and Technology**. Singapore: Springer, 2023. p. 1-16

TARIQ, H.; DUTILLEUL, P.; GEDDES-MCALISTER, J.; GEITMANN, A.; SMITH, D. L. Plant growth-promoting *Bacillus* strains modulate early soybean development via proteome remodeling. **BMC Plant Biology**, v. 26, n. 1, p. 178-196, 2026.

VINOTHINI, N.; MANONMANI, V.; JEYAJOTHI, R.; SHAKILA, S.; VENKATAKRISHNAN, L.; AKSHAYA, B.; AKINO, A. Sesame (*Sesamum indicum* L.) Invigoration Through Organic Priming with Oil Cake Extracts. *Agricultural Science Digest - A Research Journal*, [S.L.], v. 1, n. , p. 201-219, 31 jan. 2026.

VIDIGAL, D. S.; LIMA, J. da S.; BHERING, M. C.; DIAS, D. C. F. S. Teste para condutividade elétrica para sementes de pimentas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 1, p. 168-174, 2008.

XAVIER, P. S. **Bactérias promotoras do crescimento vegetal na germinação e crescimento vegetativo da cultura do milho**. 66 f. 2024. Dissertação (Mestrado em Irrigação no Cerrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Ceres, 2024.

ZERBINATTI, M. C.; SANTANA, É. M. L.; MARTINS, M. F. S.; ARAÚJO, F. F.; MENDES, L. W.; COSTA, R. M.; ARAUJO, A. S. F. Soybean rhizosphere communities are shaped more by cropping systems than by *Bacillus subtilis* delivery methods. **Rhizosphere**, v. 36, p. 101-119, 2025.