

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS MORRINHOS

ALLANA MAYARA DE JESUS SANTOS OLIVEIRA LEITE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MORRINHOS/GO

SETEMBRO/2025

ALLANA MAYARA DE JESUS SANTOS OLIVEIRA LEITE

**AGRICULTURA SUSTENTÁVEL COM O USO DE BACTÉRIAS
PROMOTORAS DE CRESCIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Banca Examinadora do Curso de Pós-
graduação em Bioinsumos do Instituto Federal
Goiano como exigência parcial para obtenção
do título de Especialista em Bioinsumos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Tenille Ribeiro de
Souza

MORRINHOS/GO

SETEMBRO/2025

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

J58a	de Jesus Santos Oliveira Leite, Allana Mayara AGRICULTURA SUSTENTÁVEL COM O USO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO / Allana Mayara de Jesus Santos Oliveira Leite. Morrinhos 2025. 23f. Orientadora: Prof^a. Dra. Tenille Ribeiro de Souza. Tcc (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de 0430426 - Especialização em Bioinsumos - Morrinhos (Campus I. Título.
------	--

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 3 CEBIO/IF Goiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos treze dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 10 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Dra Tenille Ribeiro de Souza (orientador), Dra Aline Brito Vaz (membro interno) e Dr. Erasmo Ribeiro da Paz Filho (membro interno), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado **AGRICULTURA SUSTENTÁVEL COM O USO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO** de ALLANA MAYARA DE JESUS SANTOS OLIVEIRA LEITE, estudante do curso de Especialização em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Morrinhos, sob Matrícula nº 2024104304260002. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** daestudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Campus, 13 de setembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **TENILLE RIBEIRO DE SOUZA**
Data: 19/09/2025 07:42:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Tenille Riberio de Souza

Orientadora
Documento assinado digitalmente
 **ALINE BRITO VAZ**
Data: 19/09/2025 13:24:39-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Aline Brito Vaz

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **ERASMO RIBEIRO DA PAZ FILHO**
Data: 19/09/2025 09:41:44-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Erasmo Ribeiro da Paz Filho

Membro da Banca Examinadora

Observação:

Para o caso de **REAPRESENTAÇÃO**, tem-se no trecho final da Ata a seguinte redação:

<Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **REAPRESENTAÇÃO** do TCC. Desta forma, o estudante deve realizar correções e adequações no trabalho e apresentá-lo novamente em até XX dias, contados a partir de hoje (XX/XX/XXX). Nesta nova oportunidade, após avaliação da banca examinadora, o estudante poderá ser **APROVADO** ou **REPROVADO**, não havendo possibilidade de outra reapresentação. Ao

final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e Responsável de



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES 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

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☒ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Allana Mayara de Jesus Santos Oliveira Leite

Matrícula:

2024104304260002

Título do trabalho:

Agricultura Sustentável Com O Uso De Bactérias Promotoras De Crescimento De Plantas

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 10/04/26

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.

Goiânia

Local

11/03/26

Data

Allana Mayara de J.S. O. Leite

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

ALLANA MAYARA DE JESUS SANTOS OLIVEIRA LEITE

**AGRICULTURA SUSTENTÁVEL COM O USO DE BACTÉRIAS
PROMOTORAS DE CRESCIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Pós-graduação em Bioinsumos, do Campus Morrinhos do IF Goiano como exigência parcial para a obtenção do título de Especialista em Bioinsumos.

Morrinhos/GO, 13 de setembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

.....
Prof^ª. Dr^ª. Tenille Ribeiro de Souza
(orientadora) IF Goiano

.....
Prof^ª. Dr^ª. Aline Brito Vaz
IF Goiano

.....
Prof. Dr. Erasmo Ribeiro da Paz Filho
IF Goiano

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma me apoiaram durante a realização do curso de Especialização em Bioinsumos, especialmente ao meu esposo, que esteve comigo em todos os momentos, mesmo tendo que deslocar até Morrinhos, cidade do curso, para participação das aulas presenciais. Agradeço pelo incentivo e compreensão que me permitiram conciliar estudos, trabalho e demais tarefas, tornando possível esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, sabedoria e bênçãos que me acompanharam durante toda esta jornada. Meu sincero reconhecimento ao Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos pela excelência acadêmica e pelo suporte indispensável ao longo desta especialização. Agradeço ao Instituto Federal Goiano e ao Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO) pela estrutura, ensino de qualidade e incentivo constante ao desenvolvimento científico. Agradeço aos meus professores pela dedicação em compartilhar conhecimento, em especial à minha orientadora, Tenille Ribeiro de Souza, a quem sou profundamente grata pelo apoio essencial ao desenvolvimento deste trabalho. Registro também minha gratidão às instituições de apoio Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e Fundação de Apoio à Pesquisa da UFG (FUNAPE), cujo respaldo financeiro e institucional foram fundamentais para a realização deste trabalho. Por fim, agradeço de coração à minha família, pelo amor, paciência e apoio incondicional que tornaram possível a concretização desta especialização. A todos, meu muito obrigada.

BIOGRAFIA DO ALUNO

Allana Mayara J. S. Oliveira Leite é Engenheira Ambiental e Sanitarista, formada pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), natural de Aracaju/SE. Atualmente, atua como Analista Ambiental na Superintendência de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (SEMAD). Possui interesse especial em monitoramento e recuperação da qualidade do meio ambiente, dedicando-se a projetos e ações que promovam a sustentabilidade e a conservação ambiental.

LISTA DE SIGLAS

BPCP	- Bactérias Promotoras De Crescimento De Plantas
CEBIO	- Centro de Excelência em Bioinsumos
FAPEG	- Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás
FUNAPE	- Fundação de Apoio à Pesquisa da UFG
IFGO	- Instituto Federal Goiano
IPEA	- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
UFG	- Universidade Federal de Goiás

RESUMO

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) são microrganismos benéficos que desempenham papel fundamental na agricultura sustentável ao estimular o desenvolvimento vegetal por meio de mecanismos diretos e indiretos. Entre os mecanismos diretos destacam-se a fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e produção de fitormônios – como auxinas, gliberelinas, citocinas, dentre outros – enquanto os mecanismos indiretos incluem competição por nutrientes e nichos, produção de antibióticos e enzimas líticas, e indução de resistência sistêmica nas plantas. Por exemplo, certos *Bacillus* podem produzir antibióticos que inibem *Fusarium spp.* (causadores de doenças em plantas), enquanto *Pseudomonas* pode induzir resistência sistêmica, tornando a planta mais resistente a múltiplos fitopatógenos. O uso das BPCP pode reduzir a dependência de insumos químicos agrícolas, melhorar a saúde do solo e aumentar a produtividade das culturas, contribuindo para práticas agrícolas mais ecológicas e sustentáveis. Este trabalho baseia-se em revisão bibliográfica e análise de estudos recentes que evidenciam o potencial agrônômico dessas bactérias como bioinsumos, discutindo seus benefícios, mecanismos de ação e desafios para sua aplicação eficiente em diferentes sistemas produtivos.

Palavras-chave: agricultura sustentável, bactérias promotoras de crescimentos de plantas, bioinsumo.

ABSTRACT

Plant growth-promoting bacteria (PGPB) are beneficial microorganisms that play a fundamental role in sustainable agriculture by stimulating plant development through direct and indirect mechanisms. Direct mechanisms include biological nitrogen fixation, phosphorus solubilization, and the production of phytohormones—such as auxins, glyberellins, and cytokines, among others—while indirect mechanisms include competition for nutrients and niches, the production of antibiotics and lytic enzymes, and the induction of systemic resistance in plants. For example, certain *Bacillus* species can produce antibiotics that inhibit *Fusarium spp.* (which cause plant diseases), while *Pseudomonas* can induce systemic resistance, making plants more resistant to multiple phytopathogens. The use of PGPB can reduce dependence on agricultural chemical inputs, improve soil health, and increase crop productivity, contributing to more environmentally friendly and sustainable agricultural practices. This work is based on a bibliographic review and analysis of recent studies that demonstrate the agronomic potential of these bacteria as bioinputs, discussing their benefits, mechanisms of action and challenges for their efficient application in different production systems.

Keyword: sustainable agriculture, Plant growth-promoting bacteria, bioinputs.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVO	15
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1. Fundamentação Teórica sobre Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas 15	
3.2. Controle Biológico de Doenças Fitopatogênicas	20
3.3. Sustentabilidade na Agricultura	21
3.4. Desafios Tecnológicos e Perspectivas Futuras	22
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
5. REFERÊNCIAS	23

1. INTRODUÇÃO

A agricultura sustentável é essencial para garantir a produção de alimentos com menor impacto ambiental visando a preservação dos recursos naturais. Para isso, é essencial buscar alternativas para reduzir os impactos ambientais causados pelo uso excessivo de insumos químicos e mitigar dos efeitos adversos das mudanças climáticas. As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) têm ganhado destaque nas últimas décadas como bioinsumos estratégicos na agricultura, promovendo o crescimento vegetal por múltiplos mecanismos fisiológicos e bioquímicos e contribuindo para o controle biológico de doenças, melhoria da qualidade do solo e aumento da produtividade agrícola (Sambuichi, 2024; Hungria, 2010).

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) são microrganismos benéficos que desempenham um papel essencial na agricultura sustentável, atuando em diversas fases do ciclo de vida vegetal. Essas bactérias contribuem para a otimização do aproveitamento dos nutrientes do solo, promovem a resistência das plantas a estresses abióticos — como seca e salinidade — e reforçam a defesa contra diversos agentes patogênicos. Entre os principais gêneros bacterianos utilizados destacam-se *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Herbaspirillum*, *Enterobacter* e *Rhizobium*, todos com comprovada capacidade de fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes, produção de fitormônios e controle biológico de fitopatógenos. Ao promoverem um equilíbrio saudável na microbiota do solo, essas bactérias favorecem a regeneração de ambientes agrícolas degradados, reduzindo a dependência de insumos químicos e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Assim, o uso de BPCPs como bioinsumo surge como uma alternativa ecológica eficiente para o aumento da produtividade agrícola, com benefícios que vão desde a melhoria da fertilidade do solo até o estímulo direto ao crescimento vegetal. Salienta-se que algumas espécies de *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter* são causadoras de patógenos, mas nesta revisão bibliográfica concentrou-se nas espécies que são benéficas a agricultura. (Nakatani, 2024; Dias e Santos, 2022; Xin, 2018).

Essa revisão de literatura integra informações científicas atualizadas para discutir os principais aspectos técnicos, os benefícios agrônômicos e os desafios enfrentados na utilização eficiente das bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) em sistemas agrícolas sustentáveis. O documento aborda os mecanismos de ação desses

microrganismos, suas contribuições para a melhoria da produtividade e saúde do solo, bem como as estratégias para maximizar seu potencial no contexto da agricultura ecológica e regenerativa.

2. OBJETIVO

Essa revisão de literatura tem por objetivo apresentar uma síntese dos benefícios e mecanismos das BPCP na promoção de uma agricultura sustentável, reforçando seu potencial como alternativa viável de bioinsumo para aumentar a produtividade agrícola com menor impacto ambiental.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Fundamentação Teórica sobre Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas

As Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCPs) são microrganismos gram-positivos ou gram-negativos que estabelecem associações simbióticas com plantas, colonizando mais comumente a rizosfera (região do solo diretamente influenciada pelas raízes de uma planta), embora também possam ser endofíticas (bactérias que vivem como hospedeira dentro de plantas). Essas interações são fundamentadas em múltiplos processos fisiológicos, os quais promovem o crescimento vegetal, por meio de vários mecanismos que proporcionam, dentre outros, a melhoria da disponibilidade de nutrientes no solo. Os benefícios do uso de BPCP são muitos, porém, para aplicação de forma assertiva destas bactérias, é essencial o conhecimento da microbiologia do solo e da ecologia microbiana para compreender a variabilidade genética e funcional das bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), a qual determina sua eficácia e especificidade para diferentes espécies vegetais (Dias e Santos, 2022; Velloso, 2019).

A microbiologia do solo ajuda a entender como características como motilidade, quimotaxia, aderência e resistência a estresses ambientais influenciam a sobrevivência e colonização desses microrganismos no solo e nas plantas. Além disso, a ecologia microbiana revela como a diversidade e a dinâmica das comunidades microbianas são moduladas por fatores ambientais, interações planta-microrganismo e disponibilidade de nutrientes, impactando diretamente na eficiência dos mecanismos das BPCP, como

fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, produção de fitormônios e biocontrole de patógenos. Portanto, o estudo integrado desses campos permite a aplicação mais eficaz dessas bactérias em diferentes culturas, promovendo o desenvolvimento vegetal e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Souza et al., 2024; Abreu et al., 2022).

Conforme já citado, as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) atuam por meio de diversos mecanismos. Os mecanismos diretos envolvem processos bioquímicos e fisiológicos que promovem maior disponibilidade e absorção de nutrientes essenciais para a planta. Entre eles destacam-se a fixação biológica de nitrogênio, em que bactérias como *Rhizobium* convertem o nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis (amônio), suprimindo a demanda nutricional das plantas, especialmente em solos pobres em nitrogênio. Além disso, as BPCPs realizam a solubilização de fosfatos e outros minerais como potássio e ferro, tornando-os disponíveis para a absorção radicular. Essas bactérias também produzem fitormônios, como auxinas, citocininas e giberelinas, que estimulam o alongamento e a ramificação das raízes, aumentando a superfície de contato com o solo e a absorção de água e nutrientes. Outro mecanismo chave é a produção de sideróforos, que sequestram ferro do ambiente, ajudando a planta e ao mesmo tempo inibindo o crescimento de patógenos competidores (Rodrigues, 2024; Mariano et al., 2004).

Por outro lado, os mecanismos indiretos estão relacionados à proteção das plantas contra estresses bióticos e abióticos. As BPCPs produzem antibióticos, enzimas hidrolíticas e compostos voláteis que atuam contra patógenos, protegendo as plantas de infecções. Também estimulam a resistência sistêmica nas plantas, aumentando sua capacidade de resposta a agressões externas. Além disso, essas bactérias podem ajudar as plantas a tolerar estresses abióticos como seca, salinidade e variações de temperatura, por meio da produção de enzimas antioxidantes e da modulação hormonal que reduzem os impactos fisiológicos negativos causados por essas condições adversas. Assim, a ação combinada dos mecanismos diretos e indiretos das BPCPs contribui para o crescimento saudável e sustentável das plantas, promovendo a produtividade agrícola com menor uso de fertilizantes e pesticidas químicos (Sousa et al., 2021; Hungria et al., 2010).

As BPCPs incluem gêneros como *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter*. A seguir serão apresentados os benefícios de uso de cada um desses gêneros de bactérias como bioinsumo agrícola.

- **Uso de bactérias do gênero *Azospirillum*:**

O gênero *Azospirillum* é um dos microrganismos mais estudados e utilizados como bioinsumo agrícola devido à sua capacidade de promover o crescimento das plantas e aumentar a eficiência produtiva de diversas culturas. As bactérias pertencentes a esse gênero realizam a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, o que contribui para a redução na aplicação de fertilizantes nitrogenados químicos, promovendo sustentabilidade ambiental e redução dos custos de produção. Além disso, *Azospirillum* produz fitormônios, como auxinas, citocininas e giberelinas, que estimulam o desenvolvimento radicular, aumentando a absorção de água e nutrientes essenciais, tornando as plantas mais vigorosas e resistentes a estresses abióticos como seca e salinidade (Hungria, 2022).

Estudos realizados pela Embrapa e outros centros de pesquisa indicam que a inoculação com estirpes de *Azospirillum brasilense* pode aumentar a produtividade de culturas como milho e trigo, além de possibilitar a redução da adubação nitrogenada de cobertura, sem perda de rendimento (Hungria, 2023). Ensaio realizados mostram que inoculantes líquidos contendo estirpes de *Azospirillum* resultaram em incrementos médios de 26% na produtividade do milho e 31% na do trigo, com rendimentos médios de 3.905 kg/ha e 2.656 kg/ha, respectivamente. A eficiência desses inoculantes está associada não apenas à fixação biológica de nitrogênio, mas também à solubilização de fósforo e potássio, à produção de fitormônios e à melhora da saúde radicular, o que leva a um melhor aproveitamento dos fertilizantes e maior resistência da planta a estresses (Nakatani, 2024; Hungria, Nogueira e Embrapa Soja, 2023; Hungria et al., 2010).

Esses resultados evidenciam o potencial do uso do *Azospirillum* como bioinsumo eficiente para práticas agrícolas mais sustentáveis, promovendo um manejo integrado que alia aumento da produtividade à conservação ambiental.

- **Uso de bactérias do gênero *Rhizobium*:**

Rhizobium, especialmente a espécie *Rhizobium tropici*, é um gênero de bactérias fixadoras de nitrogênio altamente eficiente em estabelecer simbiose com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), uma das culturas leguminosas mais importantes no Brasil. A inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* promove a formação de nódulos radiculares, onde ocorre a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, reduzindo a

necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados. Essas bactérias também contribuem para um melhor desenvolvimento radicular e maior absorção de nutrientes, melhorando a produtividade e a qualidade das sementes (Embrapa, 2018).

Estudos realizados pela Embrapa destacam a tolerância de *Rhizobium tropici* à alta acidez e temperaturas elevadas do solo, características que conferem competitividade às estirpes comerciais em relação aos rizóbios nativos. Além disso, a coinoculação com outros bioinsumos, como *Azospirillum brasilense*, tem mostrado resultados positivos na maximização da produtividade, evidenciando uma sinergia benéfica para o feijoeiro. Pesquisadores da Embrapa comprovaram que o feijoeiro-comum, quando coinoculado com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasiliense*, pode atingir níveis de produtividade 11% maiores do que com adubação nitrogenada, com média de produção acima de 3.200 quilos por hectare (ha). A utilização de inoculantes contendo *Rhizobium tropici* é apontada como uma prática sustentável, que permite manter ou aumentar a produtividade enquanto reduz o impacto ambiental da agricultura (Embrapa, 2018; Silva, 2018).

- **Uso de bactérias do gênero *Bacillus*:**

Um estudo recente de Rodrigues (2024) apresenta evidências de eficácia do *Bacillus* na agricultura sustentável. Os resultados desse estudo, confirmam o potencial de diferentes cepas de *Bacillus* em promover o crescimento de plântulas de milho e melhorias significativas no desenvolvimento radicular e na biomassa da parte aérea. Mecanismos como a produção de AIA, de sideróforos, de EPS e de biofilme foram fundamentais nesse processo, reforçando a viabilidade do uso de *Bacillus* como bioinoculante para uma agricultura sustentável. Essas cepas apresentam grande potencial para futuras pesquisas e para o desenvolvimento de inoculantes comerciais eficazes. As cepas testadas produziram compostos benéficos como sideróforos, auxinas (AIA), exopolissacarídeos (EPS) e biofilme, que favoreceram o crescimento radicular e o peso seco das plantas, indicando um potencial eficaz de *Bacillus* como bioinoculantes para incrementar a produtividade agrícola de forma sustentável (Rodrigues, 2024).

Outro estudo relacionado mostrou que o uso de *Bacillus subtilis* no tratamento de sementes de milho promove crescimento radicular, maior saúde das plantas e redução do uso de agroquímicos, evidenciando benefícios para a sustentabilidade no manejo fitossanitário (Haslinger, 2025).

Além disso, testes realizados pela Embrapa com a estirpe *Bacillus subtilis* 1A11 em condições de campo demonstraram aumento significativo na produção de soja e milho, reforçando a eficácia prática do uso desse microrganismo na agricultura sustentável (Brito, 2025).

- **Uso de bactérias do gênero *Pseudomonas* e *Enterobacter*:**

Recentemente, um estudo apresentou evidências de eficácia de *Pseudomonas* como bioinsumo, a pesquisa foi publicada em 2024 e analisou o uso de um consórcio bacteriano contendo *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* associado à redução da adubação fosfatada na cultura da soja. Os resultados mostraram que a inoculação promoveu aumento no número de nódulos, massa seca da planta, maior teor de nitrogênio e fósforo nos grãos e folhas, além de elevar a produtividade, com desempenho equivalente à adubação fosfatada completa, evidenciando o potencial desses microrganismos como bioinsumos eficientes para agricultura sustentável (Nakatani, 2024).

Outro estudo relevante de Ruiz-Hernandez et al. (2024) destaca o potencial de *Pseudomonas* na agricultura sustentável, ressaltando suas habilidades para absorção de nutrientes, supressão de patógenos, solubilização de metais pesados e tolerância a estresses ambientais. O estudo destaca que *Pseudomonas reptilivora* pode suportar metais pesados como cobre, ferro, manganês e cobalto, em meio de cultura, produzindo vários antibióticos, o que favorece seu uso como bioinsumo para melhorar o crescimento das plantas e proteger contra microrganismos patogênicos (Ruiz-Hernandez, 2024).

Tais estudos indicam que o uso *Pseudomonas*, seja em consórcio ou não, tem se mostrado uma nova fronteira promissora em bioinsumos, aumentando rendimento das plantas e promovendo crescimento robusto das raízes, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis (Embrapa Meio Ambiente, 2024).

A respeito das bactérias do gênero *Enterobacter*, estudos mostram que a aplicação de encapsulamento utilizando *Enterobacter* são associadas a aumento da taxa de sobrevivência das plantas em 78%. No entanto, nesta revisão de literatura, observou-se que as bactérias do gênero *Enterobacter* apresentam mais eficiência quando aplicadas em consórcio com outros microorganismos. Por exemplo, as Bactérias dos gêneros *Enterobacter* usadas em consórcio com bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Rhizobium*,

Pseudomonas e *Agrobacterium* e fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* são reportados como agentes solubilizadores de P (Florêncio, 2022).

3.2. Controle Biológico de Doenças Fitopatogênicas

Conforme já mencionado, diversas BPCPs possuem capacidade de suprimir fitopatógenos por meio da produção de compostos antimicrobianos, competição por nutrientes e espaço, e indução de resistência sistêmica adquirida (ISR). Um exemplo de mecanismo utilizado por BPCPs é a síntese de sideróforos, onde produzem moléculas que capturam ferro do ambiente, tornando-o menos disponível para os patógenos, que dependem desse nutriente para seu metabolismo (Velloso, 2019). Essa limitação nutricional restringe a capacidade patogênica dos agentes infecciosos, limitando sua sobrevivência.

Outro mecanismo é a formação de biofilmes sobre as raízes ou folhas, com isso as bactérias criam uma barreira física que protege a planta da invasão de patógenos, além de facilitar a colonização bacteriana benéfica e a permanência dos compostos antimicrobianos no local. O uso dessas bactérias no controle de doenças como murcha bacteriana, podridão radicular e tombamento de plântulas tem mostrado resultados animadores, conforme apresentado resumidamente a seguir (Dias e Santos, 2022).

A **murcha bacteriana** é causada principalmente pela bactéria *Ralstonia solanacearum* e diversas pesquisas indicam que bactérias do gênero *Pseudomonas* (como *Pseudomonas fluorescens*) e *Bacillus* atuam como agentes biocontroladores eficientes. Esses microrganismos antagonistas inibem o crescimento do patógeno por meio da produção de compostos antimicrobianos (antibióticos, bacteriocinas), além de competirem por espaço e nutrientes no ambiente da rizosfera. Adicionalmente, algumas bactérias induzem resistência sistêmica na planta, preparando-a para responder melhor a ataques futuros. Experimentos com isolados específicos mostraram que algumas cepas de *Pseudomonas* e *Bacillus* promovem o crescimento do tomateiro e inibem a multiplicação de *R. solanacearum*, reduzindo significativamente a incidência da doença (Dias e Santos, 2022; Barretti et al, 2008).

Em relação à **podridão radicular** (causada por fungos como *Fusarium spp.* e *Pythium spp.*) e o **tombamento de plântulas** (causado por patógenos do solo, incluindo *Pythium* e *Rhizoctonia*), bactérias promotoras de crescimento como algumas espécies

de *Bacillus* também são reconhecidas por seu papel no controle biológico. Elas produzem enzimas que degradam as paredes celulares de fungos patogênicos e outras substâncias antimicrobianas que suprimem agentes causadores de podridões. A formação de biofilmes nas raízes por essas bactérias cria uma barreira física que dificulta a colonização por patógenos, além de produzir fitormônios que fortalecem o sistema radicular da planta, aumentando sua resistência ao estresse biótico e abiótico (Dias e Santos, 2022; Corrêa et al, 2010).

3.3. Sustentabilidade na Agricultura

O uso excessivo de agrotóxicos e fertilizantes químicos tem causado sérios impactos ambientais e à saúde humana. A aplicação de bactérias promotoras de crescimento como bioinsumo na agricultura é uma estratégia que pode reduzir poluição do solo e da água causada pelo uso excessivo de fertilizantes e agrotóxicos, além de mitigar a emissão de gases do efeito estufa ligados às práticas agrícolas convencionais (Florêncio, 2022).

O uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas, além de apresentar bons resultados para a proteção da saúde humana e do meio ambiente, podem oferecer benefícios econômicos aos produtores (De Oliveira, 2018). Estudos demonstram que o uso de BPCPs pode aumentar significativamente o rendimento de diversas culturas, como trigo, milho, soja, arroz e hortaliças, uma vez que essas bactérias benéficas melhoram o crescimento e saúde de plantas e podem inibir o surgimento de doenças. Por exemplo, Dias e Santos (2022) cita estudos do efeito de bactérias promotoras de crescimento sob cultivares de trigo em condição de déficit hídrico e foi observado que cepas de *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* foram capazes de conferir tolerância à seca, aumentando diretamente a produtividade e a qualidade do grão mesmo em condições de seca.

O estudo publicado por Pavani sugere bons resultados econômicos com o uso de bioinsumo a base de BPCP devido ao aumento da produtividade. Nesse estudo foi apresentado que a inoculação de *A. brasiliensis* associada à adubação com nitrogênio em cobertura produziu os melhores resultados para todos os aspectos avaliados e, principalmente, foi o que obteve melhor produtividade (Pavani, 2022). Outros estudos sugerem que a inoculação com *Azospirillum* pode aumentar o crescimento de raízes e a

absorção de nitrogênio, enquanto *Bacillus subtilis* tem mostrado efeito positivo no controle biológico de doenças (Hungria, 2023).

O uso de bioinoculantes à base de BPCPs promove práticas agrícolas mais limpas, eficientes e resilientes, com ganhos ambientais e sociais. Por promover processos naturais e restabelecer o equilíbrio ecológico, elas se inserem nos princípios da agricultura sustentável. Entretanto, apesar das vantagens, existem desafios para a ampla adoção dessas tecnologias, conforme apresentado a seguir.

3.4. Desafios Tecnológicos e Perspectivas Futuras

Entre os desafios técnicos destacam-se a seletividade e especificidade entre cepas bacterianas e espécies agrícolas, variabilidade dos resultados em diferentes solos e climas (que interfere na viabilidade dos inoculantes), a necessidade de formulações estáveis adequadas para o transporte e aplicação em larga escala e a capacitação técnica dos produtores rurais (Hungria et al., 2010).

Segundo o boletim regional, urbano e ambiental do IPEA, a concentração das unidades produtoras no eixo Sudeste-Sul do Brasil indica que pode haver uma dificuldade de produção dos bioinsumos em algumas regiões, especialmente no Norte e no Nordeste, limitando a expansão do setor e fazendo com que se perca um grande potencial de fontes nacionais de insumos que poderiam estar inseridas no mercado de todo o país (Sambuichi, Policarpo e Alves, 2024).

Pesquisas emergentes em bioengenharia, genética microbiana e nanotecnologia de inoculantes prometem incrementar a eficácia e estabilidade das BPCP no campo, podendo potencializar sua adoção nas cadeias produtivas agrícolas. Nesse sentido, é fundamental o incentivo a pesquisas, políticas públicas e transferência de tecnologia para melhoria contínua da eficácia destes bioinsumos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As bactérias promotoras de crescimento de plantas representam uma ferramenta estratégica para promover uma agricultura mais limpa, eficiente e resiliente. Seu uso como bioinsumo contribui para a redução da dependência de insumos químicos, melhora a saúde do solo e aumenta a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

Assim, para que essa biotecnologia seja amplamente adotada, é necessário fortalecer a pesquisa científica, a produção de bioinoculantes de qualidade e a assistência técnica aos agricultores. Dessa forma, será possível alinhar produtividade e conservação ambiental, pilares fundamentais da agricultura sustentável.

5. REFERÊNCIAS

ABREU, C. M. P. et al. Mecanismos de ação e potencialidade do gênero *Bacillus* para promoção do crescimento vegetal. Cuiabá. **Editora Pantanal**, 2022

BARRETTI, P. B.; DE SOUZA, R. M.; POZZA, E. A. Bactérias endofíticas como agentes promotores do crescimento de plantas de tomateiro e de inibição in vitro de *Ralstonia solanacearum*. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 731-739, maio/jun., 2008.

BRITO, S. Bactéria da Caatinga vira insumo natural para proteger plantações da seca. **Embrapa Trigo**. 2025. Disponível em: https://www.embrapa.br/cultivos/busca-de-noticias/-/noticia/102094505/bacteria-da-caatinga-vira-insumo-natural-para-proteger-plantacoes-da-seca?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 25/08/2025.

CORRÊA, E. B.; BETTIOL, W.; SUTTON, J. C. Controle biológico da podridão radicular (*Pythium aphanidermatum*) e promoção de crescimento por *Pseudomonas chlororaphis* 63-28 e *Bacillus subtilis* GB03 em alface hidropônica. **Summa Phytopathol.**, Botucatu, v. 36, n. 4, p. 275-281, 2010.

DIAS, A. S.; SANTOS, C. C. Bactérias promotoras de crescimento de plantas: conceitos e potencial de uso. **Pantanal editora**. 2022.

DE ANDRADE, L.A. et al. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production. *Microorganisms* 2023, 11, 1088. MDPI. 2023.

DE OLIVEIRA, H. Embrapa Arroz e Feijão. Combinação de microrganismos pode aumentar a produtividade do feijão em até 11%. 2018. Disponível <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34422008/combinacao-de-microrganismos-pode-aumentar-a-produtividade-do-feijao-em-ate-11>. Acesso em 30/08/2025.

FLORÊNCIO, C. ET AL. Avanços Na Produção E Formulação De Inoculantes Microbianos Visando Uma Agricultura Mais Sustentável. **Quim. Nova**, Vol. 45, No. 9, 1133-1145, 2022.

HASLINGER, B. ET AL. Avaliação Da Eficácia Do Tratamento Integrado Com *Bacillus subtilis* e *Pydiflumetofen* No Controle De Patógenos Em Sementes De Milho. 2025. **Revista Ft. Ciências Agrárias**, Volume 29 – Edição 147/JUN 2025 / 07/06/2025.

HUNGRIA, M. et al. Uso de *Azospirillum brasilense* para aumentar produtividade e reduzir fertilizantes nitrogenados. Embrapa Soja, Circular Técnica, 2010.

HUNGRIA, M. Avanços no uso de *Azospirillum* na agricultura sustentável. **Revista Brasileira de Microbiologia**, 2022.

HUNGRIA, M. NOGUEIRA, M. Auxílio para o Milho. Revista Cultivar, pág. 19. Março, 2023. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/revistas/grandes-culturas/286>. Acesso em 30/08/2025.

MARIANO, R. L. R. et al. Importância De Bactérias Promotoras De Crescimento E De Biocontrole De Doenças De Plantas Para Uma Agricultura Sustentável. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, vol. 1, p.89-111, 2004.

NAKATANI, A. ET AL. Consórcio de *Azospirillum* e *Pseudomonas* aumenta o desenvolvimento vegetal e produtividade da cultura da soja. **Revista Delos**. 2024.

PAVANI, Vinicius et al. *Azospirillum brasiliense* associado com nitrogênio no desempenho da cultura do milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 1–16, 2022. DOI: 10.17765/2176-9168.2022v15n3e9899. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/9899>. Acesso em: 30 ago. 2025.

RODRIGUES, V. Efeitos Da Inoculação De *Bacillus* Solubilizadores De Fosfato Sobre A Morfologia E Produtividade De Milho. 2024.

RUIZ-HERNANDEZ, I.H. Et al. The potential use of *Pseudomonas* in terrestrial and space agriculture (O uso potencial de *Pseudomonas* na agricultura terrestre e espacial). **Brazilian Journal of Biology**, 2024, vol. 84, e282664. 2024.

SAMBUICHI, R. H. R.; POLICARPO, M. A.; ALVES, F. Produção de bioinsumos no brasil: desafios e potencialidades. Boletim regional, urbano e ambiental -32-jul.-dez. IPEA, 2024.

SOUZA, A. P. de et al. Bactérias promotoras do crescimento vegetal na germinação e crescimento vegetativo do milho verde. Rio Verde: Instituto Federal Goiano, 2024.

SILVA, F. ET AL. Adubação nitrogenada e inoculação com *Rhizobium tropici* na cultura do feijão comum. **Revista Cultivando o Saber**. ISSN 2175-2214 385 Volume 11 - n° 4, p. 385 a 392. Outubro a Dezembro de 2018.

TORDIN, C. Uso de grupos de microrganismos é a nova fronteira em bioinsumo. Embrapa. 2024. Embrapa Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/89417452/uso-de-grupos-de-microrganismos-e-a-nova-fronteira-em-bioinsumos>. Acesso em 29/08/2025.

VELLOSO, C. Caracterização De Cepas De *Bacillus* E Avaliação Do Seu Potencial De Promoção De Crescimento Em Genótipos De Milho. Universidade Federal de São João del-Rei. 2019.

Xin, XF., Kvitko, B. & He, S. *Pseudomonas syringae*: what it takes to be a pathogen. (*Pseudomonas syringae*: o que é preciso para ser um patógeno) *Nat Rev Microbiol* **16**, 316–328. (2018). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.17>. 2018