

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* EM BIOINSUMOS
CAMPUS CERES**

LEIDIOMAR RODRIGUES SANTOS

**POTENCIAL DE *Pantoea agglomerans* COMO BIOFERTILIZANTE NA
CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.): UMA REVISÃO DE ESCOPO**

CERES, GO

2026

LEIDIOMAR RODRIGUES SANTOS

**POTENCIAL DE *Pantoea agglomerans* COMO BIOFERTILIZANTE NA
CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.): UMA REVISÃO DE ESCOPO**

Monografia apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de Especialista em Biosinsumos, no Programa de Pós-Graduação *lato sensu* em Biosinsumos do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Kassia Cristina de Caldas Rabelo

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**

S237p Santos, Leidiomar Rodrigues
POTENCIAL DE Pantoea agglomerans COMO
BIOFERTILIZANTE NA CULTURA DO MILHO (Zea mays
L.): UMA REVISÃO DE ESCOPO / Leidiomar Rodrigues
Santos. Ceres 2026.

35f. il.

Orientadora: Prof^a. Dra. Kassia Cristina de Caldas Rabelo.
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
0330426 - Especialização em Bioinsumos - Ceres (Campus
Ceres).

1. Fósforo. 2. PGPB. 3. Solubilizador de nutrientes. 4.
Bioinsumos. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 1/2026 - GPPI/CMPCE/IFGOIANO

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

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 26 dias do mês de março de dois mil e vinte e seis, às 14 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Kassia Cristina de Caldas Rabelo (orientador), Prof. Janaína Batista de Lima Lopes e Prof. Wagner Gonçalves Vieira Júnior, para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado: "Potencial de *Pantoea agglomerans* como biofertilizante na cultura do milho (*Zea mays* L.): uma revisão de escopo de Leidiomar Rodrigues Santos, estudante do curso do Programa DE pós-graduação *lato sensu* em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Ceres, sob Matrícula nº 2024103304260012. 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 do(a) estudante. 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.

(Assinado Eletronicamente)

Kassia Cristina de Caldas Rabelo

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Janaína Batista de Lima Lopes

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Wagner Gonçalves Vieira Júnior

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Kassia Cristina de Caldas Rabelo, ENGENHEIRO-AREA**, em 26/03/2026 15:32:47.
- **Janaina Batista de Lima Lopes, 2025103330640012 - Discente**, em 27/03/2026 08:58:15.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/03/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 804714
Código de Autenticação: e96fa8e370



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Ceres
Rodovia GO-154, Km 03, SN, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000
(62) 3307-7100

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

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Leidiomar Rodrigues Santos

Matrícula:

2024103304260012

Título do trabalho:

POTENCIAL DE Pantoea agglomerans COMO BIOFERTILIZANTE NA CULTURA DO MILHO (Zea mays L.): UMA REVISÃO DE ESCOPO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 16 /04 / 2026

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 inclusos 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.

Ceres, GO

15 /04 / 2026

gov.br Documento assinado digitalmente
LEIDIOMAR RODRIGUES SANTOS
Data: 15/04/2026 21:52:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

gov.br Documento assinado digitalmente
KASSIA CRISTINA DE CALDAS RABELO
Data: 15/04/2026 13:40:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico este trabalho a minha esposa, Ailyn de Oliveira Vilela, por estar sempre ao meu lado, incentivando à busca constante pelo conhecimento e aprimoramento profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos em minha vida e por sempre me proporcionar oportunidades de aprendizado e crescimento.

À minha esposa, Ailyn de Oliveira Vilela, por todo o apoio, incentivo e compreensão ao longo dessa jornada.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Kassia Cristina de Caldas Rabelo pela orientação, paciência, dedicação e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Federal Goiano e a toda a equipe do CEBIO, pelo suporte e pela estrutura disponibilizada para a realização desta especialização.

Às instituições de fomento e apoio à pesquisa, FAPEG e FUNAPE, pelo incentivo e suporte à especialização em Bioinsumos.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

“OLHE PROFUNDAMENTE PARA A
NATUREZA E ENTÃO VOCÊ
ENTENDERÁ TUDO MELHOR.”

Albert Einstein

BIOGRAFIA DO ALUNO

Leidiomar Rodrigues Santos, brasileiro casado com Ailyn de Oliveira Vilela, filho de Leoneide Rodrigues Rezende e de Valter dos Santos Oliveira, é Engenheiro Agrônomo, com atuação voltada para aumentar a produtividade de forma saudável, financeiramente viável e ecologicamente sustentável. Ao longo de sua trajetória acadêmica e profissional, tem se dedicado ao estudo de fertilidade do solo, manejo consciente da adubação de plantas, utilização de bioinsumos para agregar a fertilidade e sementes com alta tecnologia entregando produtividade. Possui experiência em atividades de ensino, correção de solo e adubação de plantas, vendas de sementes de HF e trabalho de posicionamento de novos produtos comerciais. Seu interesse científico está relacionado à busca por soluções inovadoras e viáveis para o produtor rural.

RESUMO

A agricultura moderna enfrenta o desafio de reduzir a dependência de fertilizantes fosfatados minerais, que são recursos finitos e de baixa eficiência devido à rápida imobilização no solo. Nesse cenário, microrganismos solubilizadores de fósforo surgem como uma alternativa biotecnológica para promover sistemas produtivos mais sustentáveis. O presente estudo consiste em uma revisão de escopo com o objetivo de mapear e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre o uso da bactéria *Pantoea agglomerans* como biofertilizante na cultura do milho. A metodologia envolveu levantamento bibliográfico nas bases de dados Web of Science e Scopus, resultando na seleção de 15 artigos para análise detalhada. Os resultados demonstram que a *P. agglomerans* atua como uma bactéria promotora de crescimento vegetal (PGPB) multifuncional, utilizando mecanismos como a solubilização de fósforo, zinco e potássio, a produção de fitormônios (especialmente o ácido indol-3-acético - AIA) e a fixação biológica de nitrogênio. A aplicação deste bioinsumo no milho resultou em incrementos significativos na biomassa, no conteúdo nutricional das plantas e na produtividade de grãos, além de auxiliar na tolerância a estresses abióticos, como seca e salinidade. Conclui-se que a *P. agglomerans* possui elevado potencial para compor biofertilizantes comerciais, embora ainda existam lacunas relacionadas à consistência de desempenho em condições de campo e à necessidade de estudos em larga escala para validar sua eficácia comercial.

Palavras-chave: Fósforo. PGPB. Solubilizador de nutrientes. Bioinsumos.

ABSTRACT

Modern agriculture faces the challenge of reducing dependence on mineral phosphate fertilizers, which are finite resources and often exhibit low efficiency due to rapid immobilization in the soil. In this context, phosphorus-solubilizing microorganisms have emerged as a biotechnological alternative to promote more sustainable production systems. The present study consists of a scoping review aimed at mapping and synthesizing the available scientific evidence regarding the use of the bacterium *Pantoea agglomerans* as a biofertilizer in maize cultivation. The methodology involved a bibliographic survey in the Web of Science and Scopus databases, resulting in the selection of 15 articles for detailed analysis. The results demonstrate that *P. agglomerans* acts as a multifunctional plant growth-promoting bacterium (PGPB), employing mechanisms such as the solubilization of phosphorus, zinc, and potassium, the production of phytohormones (especially indole-3-acetic acid – IAA), and biological nitrogen fixation. The application of this bioinput in maize resulted in significant increases in biomass, plant nutritional content, and grain yield, in addition to contributing to tolerance to abiotic stresses such as drought and salinity. It is concluded that *P. agglomerans* has high potential for inclusion in commercial biofertilizers. However, there are still knowledge gaps related to performance consistency under field conditions and the need for large-scale studies to validate its commercial effectiveness.

Keyword: Phosphorus. PGPB. Nutrient solubilizer. Bioinputs.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. OBJETIVOS	15
3. CAPÍTULO I	17
3.1 INTRODUÇÃO	18
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.3.1 Aplicação de <i>P. agglomerans</i> no cultivo do milho.....	20
3.3.2 Eficácia de <i>P. agglomerans</i> na solubilização de nutrientes	27
3.3.3 Eficácia de <i>P. agglomerans</i> na produção de fitohormônios	28
3.3.4 Limitações dos estudos e aplicação da <i>P. agglomerans</i> no cultivo do milho	28
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
3.5 REFERÊNCIAS	29
4. CONCLUSÃO GERAL	33
5. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO GERAL

O fósforo (P) é considerado o segundo macronutriente mais limitante para a produção agrícola, ficando atrás apenas do nitrogênio. Apesar de sua abundância total no solo, apenas uma pequena fração (cerca de 1–2,5%) encontra-se em formas prontamente absorvíveis pelas plantas, enquanto a maior parte permanece complexada com cálcio, ferro e alumínio ou associada a compostos orgânicos de baixa disponibilidade (Pang et al., 2024; Tian et al., 2021). Para suprir essa limitação, a agricultura moderna passou a depender intensivamente de fertilizantes fosfatados solúveis derivados da rocha fosfática, um recurso natural finito e geograficamente concentrado. Além das preocupações relacionadas à disponibilidade e à volatilidade de preços, o uso excessivo desses fertilizantes está associado a impactos ambientais relevantes, como eutrofização de corpos d'água, desequilíbrios na microbiota do solo e baixa eficiência de uso, uma vez que grande parte do fósforo aplicado é rapidamente imobilizada no solo (Alori et al., 2017).

Diante desse cenário, microrganismos solubilizadores de fósforo (phosphate-solubilizing microorganisms – PSM), especialmente bactérias solubilizadoras de fosfato (PSB), têm sido amplamente investigados como alternativa biotecnológica para aumentar a disponibilidade de P no solo e melhorar a eficiência do uso de fertilizantes (Pang et al., 2024). Esses microrganismos atuam principalmente por meio da produção de ácidos orgânicos que promovem a solubilização de fosfatos minerais, da mineralização de formas orgânicas de fósforo por enzimas como fosfatases e fitases e da atuação como bactérias promotoras de crescimento de plantas (plant growth-promoting bacteria – PGPB), produzindo compostos como fitormônios, sideróforos e ACC-desaminase (Elhaissofi et al., 2021). O interesse científico nesse grupo tem crescido significativamente nas últimas décadas, refletindo a busca por sistemas agrícolas mais sustentáveis e eficientes no uso de nutrientes (Tian et al., 2021).

Entre os diversos gêneros de bactérias com potencial solubilizador de fósforo, destacam-se *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Serratia*, *Arthrobacter* e *Pantoea* (Pan e Cai, 2023). Dentro desse grupo, a espécie *Pantoea agglomerans* tem recebido atenção crescente por apresentar características multifuncionais associadas à promoção do crescimento vegetal. Cepas dessa bactéria, frequentemente isoladas da rizosfera ou como endófitos, demonstram elevada capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis, principalmente por meio da produção de ácido glucônico, processo associado à presença

de genes como *pqq* e *gcd* envolvidos nessa via metabólica (Saadouli et al., 2021). Além da solubilização de fósforo, *P. agglomerans* pode produzir ácido indol-3-acético (AIA), sideróforos e outras moléculas que contribuem para a nutrição e o desenvolvimento das plantas.

Na cultura do milho (*Zea mays* L.), diversos estudos relatam efeitos positivos da inoculação com *P. agglomerans* ou espécies relacionadas do gênero *Pantoea*, incluindo aumento da altura das plantas, da biomassa e do acúmulo de nutrientes, além da melhoria na disponibilidade de fósforo no solo (Mishra et al., 2011; Luo et al., 2024). Essas bactérias também podem atuar modulando a microbiota rizosférica, favorecendo o estabelecimento de comunidades microbianas associadas à ciclagem de nutrientes e à promoção do crescimento vegetal (Saadouli et al., 2021; Pang et al., 2024). Em alguns casos, estudos indicam ainda a possibilidade de redução parcial da necessidade de fertilizantes minerais quando esses microrganismos são integrados às práticas de manejo (Marag e Suman, 2018).

O interesse por biofertilizantes à base de microrganismos solubilizadores de fósforo tem aumentado globalmente, impulsionado pela necessidade de reduzir custos com fertilizantes, mitigar impactos ambientais e promover sistemas produtivos mais resilientes (Kaur et al., 2024). Países com agricultura intensiva e solos altamente intemperizados, como Brasil, Índia e China, têm se destacado no desenvolvimento e na adoção de bioinsumos baseados nesses microrganismos. Nesse contexto, espécies multifuncionais como *P. agglomerans* apresentam grande potencial, pois combinam mecanismos relacionados à nutrição vegetal, tolerância a estresses abióticos e interação positiva com a microbiota do solo.

Apesar dos avanços observados, ainda existem desafios relacionados à variabilidade de desempenho em condições de campo, à competição com a microbiota nativa e ao desenvolvimento de formulações e estratégias de inoculação mais eficientes (Elhaissofi et al., 2021). Além disso, o conhecimento disponível encontra-se disperso em diferentes abordagens experimentais, espécies vegetais e contextos edafoclimáticos, dificultando uma compreensão integrada do potencial dessa bactéria como biofertilizante.

Diante desse contexto, torna-se relevante sintetizar e mapear o conhecimento científico existente sobre o uso de *Pantoea agglomerans* na promoção do crescimento e na melhoria da nutrição fosfatada do milho. Assim, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão de escopo para sintetizar esse conhecimento para identificar as

principais tendências da literatura, bem como as lacunas de conhecimento relacionadas ao uso dessa espécie como biofertilizante na cultura do milho.

2. OBJETIVOS

GERAL: Mapear e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre o uso da espécie *Pantoea agglomerans* como biofertilizante na cultura do milho.

ESPECÍFICOS:

1. Identificar e caracterizar os estudos científicos que investigam *Pantoea agglomerans* associada ao crescimento ou nutrição do milho.
2. Descrever os principais mecanismos de promoção de crescimento vegetal atribuídos a *P. agglomerans* relatados na literatura, como solubilização de fósforo, produção de fitormônios e interação com a microbiota do solo.
3. Analisar os contextos experimentais em que a bactéria tem sido estudada, incluindo condições in vitro, casa de vegetação e experimentos de campo.
4. Sintetizar os principais resultados reportados quanto aos efeitos sobre crescimento, nutrição mineral, disponibilidade de fósforo no solo e produtividade do milho.
5. Identificar lacunas de conhecimento e limitações metodológicas presentes nos estudos existentes, apontando oportunidades para futuras pesquisas e desenvolvimento de biofertilizantes.

FOLHA DE ROSTO

Após a conclusão do trabalho, o manuscrito será submetido a um periódico científico da área, cujas normas editoriais orientaram a organização e formatação deste artigo. A escolha da revista considerará sua classificação no sistema Qualis CAPES e, quando aplicável, o fator de impacto definido pelo Journal Citation Reports (JCR).

3. CAPÍTULO I

APLICAÇÃO DA *P. agglomerans* NO CULTIVO DE MILHO: UMA REVISÃO DE ESCOPO

Resumo: Esta revisão de escopo examina o potencial da bactéria *Pantoea agglomerans* como um biofertilizante sustentável voltado especificamente para a cultura do milho. O texto detalha como diversas cepas desse microrganismo promovem o crescimento vegetal por meio da solubilização de nutrientes essenciais, como fósforo e zinco, além da produção de hormônios reguladores como a auxina. As evidências apresentadas indicam que a inoculação bacteriana pode elevar a produtividade dos grãos, melhorar a absorção mineral e aumentar a resistência das plantas a estresses ambientais, como a seca e a salinidade. Apesar dos resultados laboratoriais e em estufas serem promissores, os autores ressaltam a necessidade de ensaios de campo em larga escala para validar sua eficácia comercial. O material conclui que a espécie é uma ferramenta biotecnológica valiosa para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, embora lacunas genéticas ainda precisem ser exploradas.

Palavras-chave: Biofertilizante. PGPB. Zea mays. AIA. Solubilizador de fosfato.

APPLICATION OF *P. agglomerans* IN MAIZE CULTIVATION: A SCOPING REVIEW

Abstract: This scoping review examines the potential of the bacterium *Pantoea agglomerans* as a sustainable biofertilizer specifically for maize cultivation. The study describes how different strains of this microorganism promote plant growth through the solubilization of essential nutrients such as phosphorus and zinc, as well as the production of regulatory hormones like auxin. The evidence presented indicates that bacterial inoculation can increase grain yield, improve mineral uptake, and enhance plant tolerance to environmental stresses such as drought and salinity. Although laboratory and greenhouse results are promising, the authors emphasize the need for large-scale field trials to validate its commercial effectiveness. The review concludes that this species represents a valuable biotechnological tool for reducing dependence on chemical fertilizers, although genetic knowledge gaps still need to be explored.

Key-words: Biofertilizer. PGPB. Zea mays. IAA. Phosphate-solubilizing bacteria.

3.1 INTRODUÇÃO

A espécie bacteriana *Pantoea agglomerans* tem ganhado destaque como biofertilizante devido às suas múltiplas capacidades de promover o crescimento vegetal, especialmente em culturas como o milho. Estudos indicam que essa bactéria pode solubilizar fosfatos, fixar nitrogênio e produzir fitormônios como auxinas, contribuindo para a melhoria da nutrição e do desenvolvimento das plantas (Li et al., 2020; Kumar et al., 2022). Além disso, *P. agglomerans* demonstra tolerância a condições adversas, como estresse salino e seca, o que potencializa seu uso em ambientes agrícolas desafiadores (Cherif-Silini et al., 2019). Pesquisas recentes também destacam sua capacidade de modular a microbiota do rizosfera, favorecendo a colonização estável e o aumento da produtividade das culturas (Suman et al., 2020).

Contudo, lacunas importantes persistem, incluindo a necessidade de melhor compreensão da diversidade genética das cepas e dos mecanismos moleculares envolvidos na promoção do crescimento e na interação com plantas hospedeiras (Pajuelo et al., 2021; Lorenzi et al., 2022). Assim, esta revisão busca sintetizar as principais tendências e identificar as lacunas no conhecimento científico sobre o uso de *P. agglomerans* como biofertilizante na cultura do milho, visando orientar futuras pesquisas e aplicações práticas sustentáveis.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho trata-se de uma revisão de escopo. Neste tipo de revisão, busca-se explorar os principais conceitos do tema em questão, averiguar a dimensão, o alcance e a natureza dos estudos, condensando e publicando os dados, possibilitando apontar as lacunas nas pesquisas existentes (Arksey e O'Malley, 2005). A pergunta norteadora do trabalho foi: Quais são as principais tendências e lacunas do conhecimento científico acerca da espécie *Pantoea agglomerans* como biofertilizante na cultura do milho?

Os dados foram obtidos utilizando a seguinte string: ("*Pantoea agglomerans*" OR "*Enterobacter agglomerans*") AND ("bioinput" OR "biofertilizer*" OR "biofertiliser*" OR "fertilizer*" OR "fertiliser*" OR "phosphor* solubiliz*" OR "PSB" OR "PSM" OR "plant growth promoting" OR "PGP*" OR "microbial inoculant") AND ("maize" OR "corn" OR "*Zea mays*") com a delimitação de publicações até dezembro de 2025. Os termos foram escolhidos seguindo o modelo PCC (População, Conceito, Contexto), onde a população

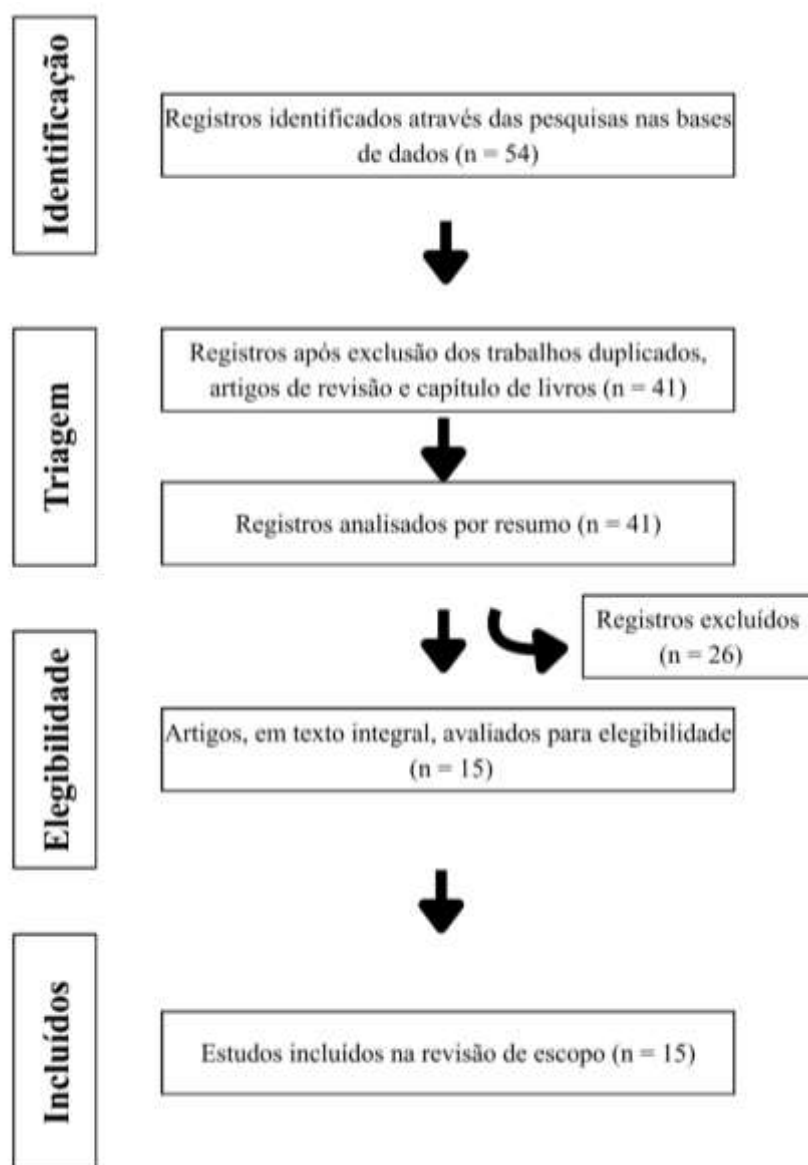
do estudo é a bactéria *P. agglomerans* (nome antigo: *Enterobacter agglomerans*), o conceito é o uso dela como biofertilizante e o contexto é a sua aplicação na cultura do milho.

Para tanto, foi utilizado o banco de dados disponível nas plataformas de pesquisa Web of Science (WoS) e Scopus, utilizadas usualmente como ferramentas para levantamentos cienciométricos e de revisão, devido à sua abrangência quanto ao número de publicações e qualidade das revistas científicas indexadas.

Foi estabelecido como critérios de inclusão, artigos que apresentassem a bactéria *P. agglomerans* como objeto de estudo, com análises quantitativas e/ou qualitativas da sua função como biofertilizante, independente da língua ou ano de publicação. Foram estabelecidos como critérios de exclusão artigos de revisão ou artigos em que a espécie foi estudada apenas *in vitro* e quando aplicada em outras culturas que não fosse o milho. Foi realizada uma triagem inicial dos títulos e resumos dos artigos, para inclusão ou exclusão destes. Posteriormente, os artigos selecionados foram submetidos a uma nova triagem, porém com a leitura integral dos mesmos. Os artigos foram organizados e registrados em uma planilha no Excel, a fim de organização, categorização e análise dos resultados.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As buscas na base WoS e Scopus apontaram 54 publicações, sendo o primeiro documento publicado no ano de 1998. Foram identificadas e excluídas 13 publicações que se tratavam de capítulos de livro, artigos de revisão e trabalhos duplicados. Desta forma, 41 foram selecionados para análise. Desses, 26 trabalhos foram excluídos após avaliação dos resumos, por não estarem associados a trabalhos experimentais da aplicação de *P. agglomerans* no cultivo de milho. Dessa forma, foram incluídos nessa revisão 15 trabalhos (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma do processo de seleção de artigos

Fonte: O autor (2026).

3.3.1 Aplicação de *P. agglomerans* no cultivo do milho

Dos 54 registros identificados por meio das pesquisas nas bases de dados, apenas 15 artigos relatam experimentos em campo onde foi realizada a aplicação de diferentes cepas da *P. agglomerans* no cultivo de milho (Tabela 1).

Tabela 1. País, tipo, cepa, mecanismo de ação e principais resultados dos trabalhos sobre o uso de *P. agglomerans* na cultura do milho.

País do Estudo	Tipo de estudo	Cepa	Mecanismo de ação	Resultado Observado no Milho	Referência
Alemanha	Laboratório	D5/23	FBN	-	(Hecht-Buchholz, 1998)
Estados Unidos	Estufa/Vasos e Campo	P01, P02 e P03	produção de fitohormônios	incremento na produtividade de grãos de milho	(Riggs et al., 2001)
Índia	Campo	NBRISRM	produção de fitohormônios e solubilização de fosfato tricálcico	incremento no comprimento da parte aérea, peso seco, número de espigas e peso de 100 sementes, além de incremento no acúmulo de nutrientes na planta (N, P e K)	(Mishra et al., 2011)
Sri Lanka	Campo	-	FBN, solubilização de P e produção de fitohormônios	incremento na biomassa seca da parte aérea e maior teor de nitrogênio disponível no solo	(Katulanda e Rajapaksha, 2012)
China	Estufa/Vasos	KMC-7	solubilização de P, produção de fitohormônios e sideróforos	incremento no diâmetro do caule, no peso seco da parte aérea, e no conteúdo de fósforo nas folhas	(Zhu et al., 2014)
Irã	Estufa/Vasos	RPS7 e RPS9	solubilização de P, produção de fitohormônios e sideróforos	incremento no peso fresco e seco total das plantas de milho, bem como no conteúdo de fósforo na raiz e parte aérea	(Sarikhani et al., 2019)
Índia	Estufa/Vasos	IARI-BHD-15	solubilização de P	incremento na altura de planta, peso fresco e seco da parte aérea, comprimento das raízes e peso seco das raízes	(Suman et al., 2020)
Índia	Estufa/Vasos	EU-E1RT3-1	solubilização de P e K e produção de fitohormônios, sideróforos e amônia	incremento no comprimento da parte aérea, nos teores de clorofila total, antocianina, ferro e proteína total nas folhas	(Rana et al., 2021)

Romênia	Estufa/Caixas	8G/3	solubilização de P, produção de fitohormônios, sideróforos e exopolissacarídeos	incremento no comprimento total, na biomassa e no conteúdo de clorofila das plantas de milho	(Becze et al., 2021)
Índia	Vasos	PC4	solubilização de P e Zn, produção de fitohormônios, sideróforos e HCN	incremento na altura das plantas, no número de folhas, nos pigmentos fotossintéticos, açúcares, proteínas, fenois totais e flavonoides	(Agri et al., 2022)
Índia	Campo	ZTB17	solubilização de zinco	incremento no rendimento de grãos, palha e rendimento biológico	(Verma et al., 2023)
-	Estufa/Vasos e Campo	ZSB17	solubilização de Zn, P, K e sílica e produção de fitohormônios, sideróforos, NH ₃ e HCN e a atividade da enzima ACC-deaminase	incremento na produtividade do milho e na translocação de zinco para os grãos	(Sukhwal et al., 2023)
Irã	Estufa/Vasos	-	FBN, produção de fitohormônios e mineralização da matéria orgânica	incremento na concentração de K, Fe, Cu e Zn na parte aérea e aumento nos teores de prolina, aminoácidos e açúcares solúveis total	(Samadi et al., 2024)
Paquistão	Estufa/Vasos	BCH-1	solubilização de P, produção de fitohormônios e síntese de amônia	incremento no crescimento das plantas sob seca, no acúmulo de osmoprotetores, na aquisição de nutrientes essenciais e nos teores de clorofila	(Tariq et al., 2025)
México	Campo	EMH25	FBN, solubilização de P e produção de fitohormônios	incremento na produtividade média de grãos e redução na incidência de doenças	(Hernández-García et al., 2025)

O primeiro registro encontrado na literatura disponível de estudos da *Pantoea agglomerans* no cultivo de milho foi em um trabalho de revisão, do ano de 1998, que analisou o impacto de bactérias endofíticas que realizam a fixação biológica de nitrogênio em plantas não leguminosas, como a cana-de-açúcar, o arroz e o milho (Hecht-Buchholz, 1998). Nessa revisão, a autora trouxe resultados obtidos por ela mas que não foram publicados na literatura, relatando o papel significativo da *P. agglomerans* como bactéria endofítica e fixadora de nitrogênio na cultura do milho. Na sua pesquisa, a partir de sementes de milho inoculadas com *P. agglomerans* D5/23, ela observou que as bactérias colonizam tanto a superfície das raízes, onde fica embebida em mucilagem, quanto o interior dos tecidos, onde é encontrada nos espaços intercelulares do córtex radicular, também envolvida por uma substância semelhante a mucilagem. Foi detectada uma colonização aumentada na zona de raízes laterais, devido a rupturas no tecido que são causadas pela emergência das raízes laterais, facilitando a entrada das bactérias. Por fim, essa pesquisa não publicada enfatiza que o assentamento endofítico em espaços intercelulares, como o observado no milho, pode ser mais eficaz para a troca de metabólitos (como o fornecimento de nitrogênio fixado pela bactéria em troca de fontes de carbono da planta) do que a associação apenas na superfície da raiz.

Mais tarde, Riggs et al. (2001) investigaram, durante 3 anos, o uso de bactérias fixadoras de nitrogênio no aumento da produtividade em diversas linhagens de milho, incluindo o uso de *P. agglomerans*. Foram testadas duas cepas isoladas de *switchgrass* (P101 e P102) e uma cepa isolada de milho (P103), as quais promoveram um aumento significativo na produtividade de algumas linhagens de milho. Nos testes sem aplicação de nitrogênio (N), as cepas P101 e P103 chegaram a aumentar a produtividade da linhagem 3921 em 13,1% e 30,1%, respectivamente, e a cepa P102 contribuiu no rendimento do híbrido B73 × Mo17 com um aumento de 19,9%. Apesar do aumento da eficiência da cultura do milho, as cepas foram incapazes de reverter a clorose em plantas não fertilizadas com N, sugerindo que o aumento na biomassa e nos grãos seja provavelmente causado por uma resposta a reguladores de crescimento (fitohormônios) produzidos pelas bactérias, e não pela fixação biológica de nitrogênio.

Por meio de um experimento em microparcels em campo, Mishra et al. (2011) relataram que a inoculação das sementes de milho com suspensão bacteriana da cepa NBRISRM de *P. agglomerans* foi eficaz para o aumento significativo em todos os parâmetros de crescimento do milho quando comparado com o grupo controle: comprimento da parte aérea (11,2%), peso seco (10,9%), número de espigas (13,9%) e

peso de 100 sementes (12,5%). O acúmulo de nutrientes na planta também foi influenciado positivamente, com aumento de 34% para N, 41% para P e 19% para K. Além disso, a cepa mostrou-se altamente competente na colonização da rizosfera, mantendo populações estáveis sem alterar a diversidade funcional microbiana nativa.

Um outro estudo foi realizado para investigar como o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal pode otimizar o cultivo de milho no Sri Lanka (Katulanda e Rajapaksha, 2012). No experimento de campo, a *E. agglomerans* foi utilizada como parte de um inoculante duplo (combinado com *Agrobacterium radiobacter*) e resultou em um teor significativamente maior de nitrogênio disponível no solo (94 mg/kg) em comparação ao controle fertilizado (50 mg/kg), e em um aumento de 19% na biomassa seca da parte aérea em relação ao controle. Contudo, apesar do crescimento vegetativo superior, o tratamento não aumentou significativamente o peso da espiga (produtividade de grãos) em comparação aos controles fertilizados. Os autores sugerem que a produtividade pode ter sido limitada por algum micronutriente.

Zhu et al. (2014), também realizaram experimentos com inoculação de milho. Na casa de vegetação, a inoculação resultou em aumentos significativos de 4,1% no diâmetro do caule e 14,1% no peso seco da parte aérea do milho em relação ao controle, além de um aumento de 16,2% no conteúdo de fósforo acumulado nas folhas, sugerindo uma melhor utilização desse nutriente do solo pela ação da bactéria.

Outro estudo experimental em estufa utilizou duas cepas de *P. agglomerans* (RPS9 e RPS7), e relata que a inoculação do milho com fertilizante microbiano contendo a cepa RPS9 resultou em um aumento significativo no peso fresco e seco total (raízes e parte aérea), além de elevar o conteúdo de P na planta (Sarinkhani et al., 2019). Os autores relatam que os efeitos da cepa RPS9 no crescimento e na nutrição fosfatada foram comparáveis à aplicação de 50% da dose recomendada de superfosfato triplo (TSP), e também que houve uma melhoria na absorção de potássio (K), ferro (Fe) e zinco (Zn).

Suman et al. (2020) investigaram o potencial de diversas estirpes da bactéria *Pantoea*, inclusive a *P. agglomerans*, como biofertilizantes para as culturas de milho, trigo e arroz. A parte experimental com o milho inoculado com a cepa IARI-BHD-15 foi realizada em vasos em estufa, e os resultados mostraram que a inoculação com *P. agglomerans* promoveu um dos melhores desempenhos entre as cepas testadas, com a planta atingindo 146 cm de comprimento de parte aérea, sendo que os controles positivos e negativos apresentaram comprimento de 124 e 92 cm, respectivamente. Além disso, houve incrementos no peso fresco e seco da parte aérea (59% e 63,5%, respectivamente),

no comprimento das raízes (14,3%) e no peso seco das raízes (38%), quando comparados com o controle negativo.

Outra pesquisa investigou o potencial de bactérias endofíticas isoladas de milho para atuar como biofertilizantes, dentre elas a *P. agglomerans* (Rana et al., 2021). O tratamento do experimento em estufa com a cepa EU-E1RT3-1 resultou em um comprimento da parte aérea significativamente maior (127,5 cm aos 90 dias) em comparação ao controle não tratado e superior até mesmo ao tratamento com dose total de fertilizante químico (DAP). Também, observou-se um aumento máximo no conteúdo de clorofila total e de antocianina após 60 dias de crescimento, um aumento de duas vezes no teor de ferro (Fe) fisiologicamente disponível e níveis mais elevados de proteína total nas folhas de milho bacterizadas.

Becze et al. (2021), investigaram como as bactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPB) auxiliam no desenvolvimento do milho sob condições de estresse por metais pesados e salinidade. Dentre as bactérias estudadas, a *P. agglomerans* foi a única cepa testada que manteve a característica de solubilizadora de fósforo inorgânico sob estresse salino. Nos experimentos em ambiente controlado de cultivo de milho com a cepa 8G/3 de *P. agglomerans*, os autores relataram que na ausência de estresse, a inoculação aumentou o comprimento total, a biomassa e o conteúdo de clorofila das plantas de milho, e que; sob estresse salino de 5 g/L de NaCl, houve um aumento de 46% no conteúdo de clorofila em comparação às plantas não inoculadas, e sob estresse salino de 7 g/L e 9 g/L de NaCl, a inoculação aumentou significativamente a atividade da enzima antioxidante guaiacol peroxidase (GPOX), o que indica um aumento na tolerância da planta ao estresse abiótico.

Em um outro estudo, a cepa PC4 de *P. agglomerans* foi aplicada em conjunto com nanoquisotana no cultivo de milho em condições de vasos em estufa (Agri et al., 2022). Essa combinação contribuiu para um aumento de 54% na altura das plantas e 67,18% no número de folha, além de incrementos significativos nos pigmentos fotossintéticos (65,62%), açúcares (79,13%), proteínas (71,93%), fenóis totais e flavonoides, na bioquímica da planta, e aumento na atividade das enzimas catalase (80,15%) e peroxidase (25,52%), sugerindo indução de mecanismos de tolerância ao estresse.

Verma et al. (2023) investigaram como o uso de bactérias solubilizadoras de zinco (ZSB), especificamente a cepa ZTB17 de *P. agglomerans*, pode otimizar o cultivo de milho ao aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo. A aplicação de *P.*

agglomerans combinada com fertilizante de zinco resultou em maior rendimento de grãos, palha e rendimento biológico. Os autores mostraram que o tratamento com 75% de ZnSO₄ + ZSB foi estatisticamente equivalente ao de 100% de ZnSO₄ + ZSB, demonstrando uma economia de 25% no uso de fertilizante de zinco. Em outro estudo do grupo de pesquisa, eles estudaram os efeitos da cepa ZSB17 na solubilização de zinco e relataram um aumento de 17, 64% na produtividade do milho, além do aumento da translocação de zinco para os grãos, da mobilização substancial de zinco no solo e restauração da saúde do solo (Sukhwai et al., 2023).

Outro estudo investigou como o uso de biofertilizantes e sulfato de potássio pode mitigar os danos causados pela escassez hídrica em plantações de milho. Samadi et al. (2024) relataram que a aplicação de biofertilizantes (incluindo *P. agglomerans*) aumentou o peso fresco e seco da parte aérea e das raízes sob condições de seca, superando os efeitos do fertilizante químico (SOP). Além disso, a aplicação de biofertilizantes contribuiu para um aumento significativo na concentração de potássio (K) e micronutrientes como ferro (Fe), cobre (Cu) e zinco (Zn) na parte aérea sob estresse hídrico e para um aumento substancial nos teores de prolina, aminoácidos e açúcares solúveis totais, que ajudam a planta a tolerar a seca.

Tariq et al. (2025) investigaram o uso de *P. agglomerans* BCH-1 na mitigação dos efeitos da escassez hídrica no milho. Os autores relataram aumento significativo no crescimento das plantas sob seca, incluindo biomassa (peso fresco e seco), comprimento de raízes e parte aérea, e área foliar. Também observaram melhoria no sistema de defesa antioxidante (enzimático e não enzimático), com redução de danos celulares e marcadores de estresse oxidativo, como o malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), maior acúmulo de osmoprotetores (prolina, açúcares e glicina betaína) e melhoria no conteúdo relativo de água nas folhas. Além do aumento na aquisição de nutrientes essenciais (N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn) e nos teores de clorofila. No estudo, eles também avaliaram o efeito da co-inoculação da *P. agglomerans* BCH-1 com *Bacillus pseudomycooides* BCH-3, e obtiveram resultados superiores à aplicação individual.

Por último, Hernández- Garcia et al. (2025) investigaram o impacto de diferentes estratégias de fertilização no microbioma do solo e na produtividade de cultivos de milho no México, onde um dos métodos foi a aplicação de um consórcio microbiano que continha a cepa EMH25 de *P. agglomerans*. O estudo mostrou que a biofertilização, especialmente via drone, resultou na maior produtividade média de grãos (7,4 t/ha), e mostrou uma redução expressiva na incidência de doenças, como a murcha de Fusarium

(reduzida para 20%), carvão do topo e podridões radiculares. Além disso, o estudo mostrou melhoria nos parâmetros fisiológicos das plantas, incluindo maior conteúdo de clorofila e melhor absorção de nitrogênio, fósforo e potássio, e aumento da complexidade das redes de interação microbiana, promovendo a resiliência do solo.

3.3.2 Eficácia de *P. agglomerans* na solubilização de nutrientes

A *P. agglomerans* demonstra ser uma bactéria altamente eficaz na solubilização de diversos nutrientes essenciais para o milho, especialmente fósforo (P), potássio (K) e zinco (Zn). Sua eficácia varia consideravelmente conforme a cepa e as condições ambientais, como salinidade e temperatura (Mirsha et al., 2011; Sarinkhani et al., 2019; Becze et al., 2021).

Entre os trabalhos, a solubilização de fósforo foi a mais documentada. Grande parte do fósforo presente no solo está em formas insolúveis e indisponíveis para absorção pelas raízes, e microorganismos solubilizadores de fósforo liberam esse nutriente aumentando a eficiência do seu uso no solo (Silva et al., 2023). A solubilização ocorre principalmente pela secreção de ácidos orgânicos (como oxálico, láctico, cítrico e succínico), que reduzem o pH do meio e liberam o fósforo. Nesse sentido a cepa RPS9, estudada por Sarikhani et al. (2019), apresentou uma das maiores capacidades registradas, solubilizando 563,8 mg/L de fosfato tricálcico (TCP) em meio líquido. A cepa KMC-7 solubilizou $435,4 \pm 15,6$ mg/L de TCP (Zhu et al., 2014), o estudo com a cepa EU-E1RT3.1 registrou a solubilização de $326,7 \pm 0,08$ mg/L (Rana et al., 2021), e a cepa NBRISRM foi responsável por solubilizar 77,5 µg/mL de TCP (Mishra et al., 2011).

Além do fósforo, a cepa IARI-BHD-15 destacou-se pelos altos índices de solubilização de K (5,0) e Zn (6,2) (Suman et al., 2020). A cepa EU-E1RT3.1 também foi confirmada como solubilizadora de K, resultando em aumentos de até 19% na acumulação deste nutriente em plantas de milho (Mishra et al., 2011). Em resumo, a eficácia da *P. agglomerans* reside na sua habilidade de atuar como um biofertilizante multifuncional, que não apenas solubiliza fósforo em níveis que podem substituir até 50% da dose recomendada de fertilizantes químicos (TSP), mas também melhora a disponibilidade de potássio e micronutrientes como o zinco (Sarinkhani et al., 2019; Suman et al., 2020).

3.3.3 Eficácia de *P. agglomerans* na produção de fitohormônios

Nos trabalhos da presente revisão, a bactéria *P. agglomerans* é descrita como um microrganismo altamente eficaz na produção de fitohormônios, sendo esta uma das suas principais estratégias para promover o crescimento vegetal (Hecht-Buchholz, 1998). O fitohormônio mais documentado nos testes *in vitro* realizados nesses trabalhos, é o ácido indol-3-acético (AIA), uma auxina que estimula o desenvolvimento radicular e a alongação celular.

A eficácia da produção de AIA variou significativamente entre diferentes cepas de *P. agglomerans*. Nos ensaios *in vitro* para caracterização bioquímica, Mirsha et al., (2011) relataram que a bactéria promotora de crescimento vegetal *P. agglomerans* (NBRISRM) foi capaz de produzir 60,4 µg/ml de AIA em condições ideais (pH de 7,0 e temperatura de 30 °C), e quando adicionado 2% de NaCl (p/v) ao meio a produção de AIA foi induzida em 11%. Zhu et al. (2014) e Suman et al. (2020), também realizaram testes *in vitro* onde as cepas KMC-7 e IARI-BHD-15 de *E. agglomerans* apresentaram uma produção elevada de AIA (64,7 mg/l e 131,8 µg mg⁻¹ de proteína, respectivamente).

Tariq et al. (2025) relataram que a cepa BCH-1 demonstrou uma produção de AIA de 47,68 ± 0,15 µg/mL em condições normais e 31,93 ± 0,09 µg/mL sob estresse osmótico (30% de PEG 6000). Além disso, os resultados sugerem que o AIA foi sintetizado em um nível ideal, uma vez que promoveu o crescimento sem causar os efeitos negativos associados ao excesso desse hormônio (Tariq et al., 2025). A produção de AIA por *P. agglomerans* é frequentemente associada à presença de L-triptofano como precursor no meio. No entanto, o trabalho de Rana et al. (2021) relata que a cepa EU-E1RT3.1 mostrou maior produção de AIA na ausência desse aminoácido (21,00 mg/L).

3.3.4 Limitações dos estudos e aplicação da *P. agglomerans* no cultivo do milho

Os trabalhos indicam que, apesar do potencial da *P. agglomerans* como biofertilizante, os estudos enfrentam diversas limitações e desafios técnicos que dificultam sua aplicação comercial no cultivo de milho. Entre elas, ainda é incerto se a bactéria *P. agglomerans* desempenha papel decisivo na solubilização de fósforo ou se o efeito é puramente fitohormonal. Alguns dos trabalhos sugerem que o aumento na produtividade do milho se deve a uma resposta aos fitohormônios (principalmente o AIA), e não à solubilização dos nutrientes (Riggs et al., 2001; Katulanda e Rajapaksha, 2012).

Além disso, há uma falta de ensaios de campo em larga escala e multilocais para estabelecer segurança e eficiência da aplicação da bactéria como bioinoculante. Mishra et al. (2011) relata que, embora os resultados em microparcelas tenham sido positivos, são necessários ensaios de campo em larga escala e multilocacionais para validar a eficácia da cepa como um bioinoculante comercial. Assim como os outros estudos que fizeram o estudo experimental em vasos em estufa ou casa de vegetação e, por vezes, avaliaram apenas por um período de 8 semanas, o que pode não representar totalmente o comportamento da bactéria em condições reais de campo (Zhu et al., 2014; Suman et al., 2020; Rana et al., 2021; Agri et al., 2022; Samadi et al., 2024; Tariq et al., 2025).

Outro desafio que deve ser levado em consideração, é o fato da influência do solo nos estudos de campo. Katulanda e Rajapaksha (2012) sugerem que o estudo deve excluir efeitos residuais de fertilizantes e avaliar o desempenho dos inoculantes na ausência total de fertilização química. Já Sarinkhani et al. (2019) sugeriram não realizar o estudo em solo esterilizado, pois não reflete a competição microbiana real encontrada no campo.

3.4 CONCLUSÃO

A bactéria *Pantoea Agglomerans* apresenta benefícios para a rizosfera de diversas culturas, incluindo o milho. Diversas cepas já estudadas mostram eficiência na solubilização de fósforo, zinco e potássio, além de produção de fitormônios que melhoram o desempenho produtivo das plantas, melhorando a absorção de outros nutrientes. Também é observado que o uso de diversas cepas equilibra o ecossistema microbiológico do solo. Esses resultados indicam a *P. agglomerans* como um potencial microorganismo para produção em escala comercial, mas necessita de mais estudos em escala de campo quando se diz respeito à cultura do milho.

3.5 REFERÊNCIAS

Agri, U.; Chaudhary, P.; Sharma, A; Kukreti, B. Physiological response of maize plants and its rhizospheric microbiome under the influence of potential bioinoculants and nanochitosan. **Plant and Soil**, v. 474, p. 451-468, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05351-2>

- Arksey, H.; O'Malley, L. Scoping studies: towards a methodological framework. **International Journal of Social Research Methodology**, v. 8, n. 1, p. 19-32, 2005. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>.
- Becze, A.; Vincze, E. B.; Varga, H. M.; Gyöngyvér, M. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on *Zea mays* development and growth under heavy metal and salt stress condition. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 20, n. 4, p. 547-557, 2021.
- Cherif-Silini, H.; Thissera, B.; Bouket, A. C.; Saadaoui, N.; Silini, A.; Eshelli, M.; Alenezi, F. N.; Vallat, A.; Luptakova, L.; Yahiaoui, B.; Cherrad, S.; Vacher, S.; Rabet, M. E.; Belbahri, L. Durum wheat stress tolerance induced by endophyte *Pantoea agglomerans* with genes contributing to plant functions and secondary metabolite arsenal. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 16, p. e3989, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijms20163989>
- Hecht-Buchholz, C. The apoplast-habitat of endophytic dinitrogen-fixing bacteria and their significance for the nitrogen nutrition of nonleguminous plants. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 161, n. 5, p. 509-520, 1998.
- Hernández-García, J. A.; Bernal, J. S.; Antony-Babu, S.; Villa-Tanaca, L.; Hernández-Rodríguez, C.; De-la-Vega-Camarillo, E. Teosinte-derived SynCom and precision biofertilization modulate the maize microbiome, enhancing growth, yield, and soil functionality in a Mexican field. **Frontiers in Microbiology**, v. 16, p. e1534327, 2025. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1534327>
- Katulanda, P.; Rajapaksha, C. P. Response of maize grown in an alfisol of Sri Lanka to inoculants of plant growth promoting rhizobacteria. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n. 13, p. 1984-1996, 2012. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.716891>
- Kumar, P.; Rani, S.; Dahiya, P.; Kumar, A.; Dang, A. S.; Suneja, P. Whole genome analysis for plant growth promotion profiling of *Pantoea agglomerans* CPHN2, a non-rhizobial nodule endophyte. **Frontiers in Microbiology**, v.13, 2022. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.998821>
- Li, L.; Chen, R.; Zuo, Z.; Lv, Z.; Yang, Z.; Mao, W.; Liu, Y.; Zhou, Y.; Huang, J.; Song, Z. Evaluation and improvement of phosphate solubilization by an isolated bacterium *Pantoea agglomerans* ZB. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 36, n. 27, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2744-4>
- Lorenzi, A. S.; Bonatelli, A. L.; Chia, M. A.; Peressim, L.; Quecine, M. C. Opposite sides of *Pantoea agglomerans* and its associated commercial outlook. **Microorganisms**, v. 10, n. 10, p. 2072, 2022. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102072>
- Mishra, A.; Chauhan, P. S.; Chaudhry, V.; Tripathi, M.; Nautiyal, C. S. Rhizosphere competent *Pantoea agglomerans* enhance maize (*Zea mays*) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth, without altering the rhizosphere functional diversity. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 100, p. 405-413, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10482-011-9596-8>

- Pajuelo, E.; Arjona, S.; Rodríguez-Llorente, I. D.; Mateos-Naranjo, E.; Redondo-Gómez, S.; Merchán, F.; Navarro-Torre, S. Coastal ecosystems as sources of biofertilizers in agriculture: From genomics to application in an urban orchard. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, p. e685076, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.685076>
- Rana, K. L.; Kour, D.; Kaur, T.; Devi, R.; Yadav, A.; Yadav, A. N. Bioprospecting of endophytic bacteria from the Indian Himalayas and their role in plant growth promotion of maize (*Zea mays* L.). **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, v. 9, n. 3, p. 41-50, 2021. <https://doi.org/10.7324/JABB.2021.9306>
- Riggs, P. J.; Chelius, M. K.; Iniguez, A. L.; Kaeppler, S. M.; Triplett, E. W. Enhanced maize productivity by inoculation with diazotrophic bacteria. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, n. 9, p. 829-836, 2001. <https://doi.org/10.1071/PP01045>
- Samadi, A.; Derafshi, M.; Hassani, A.; Gholamhoseini, M.; Lajayer, B. A.; Astatkie, T.; Price, G. W. Effects of biofertilizers and potassium sulfate on nutrients uptake and physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. **Journal of Crop Health**, v. 76, p. 209-218, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00954-w>
- Sarikhani, M. R.; Khoshru, B.; Greiner, R. Isolation and identification of temperature tolerant phosphate solubilizing bacteria as a potential microbial fertilizer. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 35, n. 126, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2702-1>
- Silva, L. I.; Pereira, M. C.; Carvalho, A. M. X.; Buttrós, V. H.; Pasqual, M.; Dória, J. Phosphorus-solubilizing microorganisms: A key to sustainable agriculture. **Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 462, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020462>
- Sukhwai, A.; Jain, D.; Sharma, V.; Ojha, S. N.; Jat, G.; Upadhyay, S. K.; Singh, A.; Mohanty, S. R. Efficacy evaluation of newly isolated zinc solubilizing bacteria for their potential effect on maize (*Zea mays* L.) under zinc deficient soil conditions. **Land Degradation & Development**, v. 34, n. 16, p. 4912-4923, 2023. <https://doi.org/10.1002/ldr.4818>
- Suman, A.; Shukla, L.; Marag, P. S.; Verma, P.; Gond, S.; Prasad, J. S. Potential use of plant colonizing *Pantoea* as generic plant growth promoting bacteria for cereal crops. **Journal of Environmental Biology**, v. 41, p. 987-994, 2020. <http://doi.org/10.22438/jeb/41/5/MRN-1250>
- Tariq, A.; Salman, M.; Ashraf, M. A.; Bukhari, S. A.; Mustafa, G. Exploring synergistic effects of *Pantoea agglomerans* BCH-1 and *Bacillus pseudomycolides* BCH-3 to enhance maize adaptations under drought condition. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 25, p. 4747-4766, 2025. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02426-8>
- Verma, D.; Meena, R. H.; Sukhwai, A.; Jat, G.; Meena, S. C.; Upadhyay, S. K.; Jain, D. Effect of ZSB with graded levels of zinc fertilizer on yield and zinc uptake under maize cultivation. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 93, p. 379-385, 2023. <https://doi.org/10.1007/s40011-022-01433-4>

Zhu, X.; Dong, L.; Xu, Y.; Zhang, J.; Liu, J.; Wang, H. Plant growth promoting activities of phosphate-solubilizing bacteria *Acinetobacter calcoaceticus* YC-5a and *Enterobacter agglomerans* KMC-7. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 8, n. 4, p. 2613-2618, 2014.

4. CONCLUSÃO GERAL

O presente estudo permitiu concluir que a bactéria *Pantoea agglomerans* apresenta um elevado potencial biotecnológico para ser utilizada como biofertilizante na cultura do milho. A revisão de escopo evidenciou que essa espécie atua como uma bactéria promotora de crescimento vegetal (PGPB) multifuncional, cujos principais mecanismos incluem a solubilização de fósforo, zinco e potássio, a produção de fitormônios (especialmente o ácido indol-3-acético - AIA) e a fixação biológica de nitrogênio.

Em suma, a *P. agglomerans* consolida-se como uma alternativa sustentável para a agricultura moderna, capaz de contribuir para a redução da dependência de fertilizantes químicos e para a promoção de sistemas produtivos mais equilibrados e eficientes. O avanço nas pesquisas de formulação e validação em campo será fundamental para que esse potencial se transforme em uma solução comercial consolidada para o produtor rural.

5. REFERÊNCIAS

- Alori, E. T.; Glick, B. R.; Babalola, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 971, 2017. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Elhaissoufi, W.; Ghoulam, C.; Barakat, A.; Zeroual, Y.; Bargaz, A. Phosphate bacterial solubilization: A key rhizosphere driving force enabling higher P use efficiency and crop productivity. **Journal of Advanced Research**, v. 38, p. 13-28, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.08.014>.
- Kaur, H.; Mir, R. A.; Hussain, S. J.; Prasad, B.; Kumar, P.; Aloo, B. N.; Sharma, C. M.; Dubey, R. C. Prospects of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 40, n. 291, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11274-024-04086-9>
- Luo, D.; Shi, J.; Li, M.; Chen, J.; Wang, T.; Zhang, Q.; Yang, L.; Zhu, N.; Wang, Y. Consortium of phosphorus-solubilizing bacteria promotes maize growth and changes the microbial community composition of rhizosphere soil. **Agronomy**, v. 14, n. 7, p. e1535, 2024. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071535>.
- Marag, P. S.; Suman, A. Growth stage and tissue specific colonization of endophytic bacteria having plant growth promoting traits in hybrid and composite maize (*Zea mays* L.). **Microbiological Research**, v. 214, p. 101-113, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.05.016>
- Mishra, A.; Chauhan, P. S.; Chaudhry, V.; Tripathi, M.; Nautiyal, C. S. Rhizosphere competent *Pantoea agglomerans* enhance maize (*Zea mays*) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth, without altering the rhizosphere functional diversity. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 100, p. 405-413, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10482-011-9596-8>
- Pan, L.; Cai, B. Phosphate-solubilizing bacteria: Advances in their physiology, molecular mechanisms and microbial community effects. **Microorganisms**, v. 11, n. 12, p. e2904, 2023. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
- Pang, F.; Li, Q.; Solanki, M. K.; Wang, Z.; Xing, Y-X.; Dong, D-F. Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by phosphate-solubilizing microorganisms. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. e1383813, 2024. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383813>
- Saadouli, I.; Mosbah, A.; Ferjani, R.; Stathopoulou, P.; Galiatsatos, I.; Asimakis, E.; Marasco, R.; Daffonchio, D.; Tsiamis, G.; Ouzari, H.-I. The impact of the inoculation of phosphate-solubilizing bacteria *Pantoea agglomerans* on phosphorus availability and bacterial community dynamics of a semi-arid soil. **Microorganisms**, v. 9, n. 8, p. e1661, 2021. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081661>
- Tian, J.; Ge, F.; Zhang, D.; Deng, S.; Liu, X. Roles of phosphate solubilizing microorganisms from managing soil phosphorus deficiency to mediating

biogeochemical P cycle. **Biology**, v. 10, n. 2, p. 158, 2021.
<https://doi.org/10.3390/biology10020158>