

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

ALAIR DINIZ DA COSTA FILHO / USO DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO NA CULTURA DA SOJA.

USO DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO NA CULTURA DA SOJA.

ALAIR DINIZ DA COSTA FILHO / USO DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO NA CULTURA DA SOJA.

USO DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO NA CULTURA DA SOJA.

Uso de bacterias solubilizadoras de fosfato na cultura da soja. apresentada à Banca Examinadora do Curso de Bioinsumos Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr./Me./Esp. Matheus Vinicius Abadia Ventura.

Coorientador: Prof. Dr./Me./Esp. Edson Luiz Souche.

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

A317 Da Costa Filho, Alair Diniz
Uso de Bacterias Solubilizadoras de Fosfato na Cultura sa Soja /
Alair Diniz Da Costa Filho. Rio Verde 2025.
25f. il.
Orientador: Prof. Dr. Matheus Vinicius Abadia Ventura.
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
0230426 - Especialização em Bioinsumos - Rio Verde (Campus
Rio Verde).
I. Título.

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

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 10 dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 16 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Dr. Matheus Vinicius Abadia Ventura (orientador), Prof. Dr. Edson Luiz Souchie (membro interno) e Me. Hellen Regina Fernandes Batista Ventura (membro externo), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “USO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO NA CULTURA DA SOJA” de ALAIR DINIZ DA COSTA FILHO, estudante do curso de Especialização em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº 2024102304260001. 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 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.

Rio Verde, 10 de setembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **MATHEUS VINICIUS ABADIA VENTURA**
Data: 17/10/2025 20:57:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Matheus Vinicius Abadia Ventura

Orientador(a)

Documento assinado digitalmente
 **EDSON LUIZ SOUCHIE**
Data: 18/10/2025 10:45:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Edson Luiz Souchie

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **HELLEN REGINA FERNANDES BATISTA VENTURA**
Data: 17/10/2025 20:52:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Hellen Regina Fernandes Batista Ventura

Membro da Banca Examinadora

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)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

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

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais 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.

Local

/ /
Data

Alair Diniz Costa Filho

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Mathus Vinicius Abadio Ventura

Assinatura do(a) orientador(a)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, fonte de toda a minha força e inspiração, que me concedeu a saúde, a resiliência e a determinação necessárias para alcançar este momento tão especial. Sem a Sua guia e proteção, nada disso seria possível.

Aos meus pais e familiares, pilares da minha vida, que sempre me apoiaram incondicionalmente. O amor, o incentivo e a confiança que depositaram em mim foram fundamentais para superar os desafios e alcançar meus objetivos. Obrigado por acreditarem em mim, mesmo quando eu duvidei de mim mesma. À minha esposa, Morquilayra, meu amor e minha companheira de jornada. Seu apoio constante, seu amor incondicional e sua compreensão foram essenciais para que eu pudesse me dedicar a este trabalho. Você é a minha rocha, meu refúgio e minha inspiração. Eu amo você.

Aos meus professores e orientadores, que com paciência, sabedoria e dedicação, me guiaram pelo caminho da pesquisa e do conhecimento. Vocês são os verdadeiros arquitetos da minha formação acadêmica e profissional. E, por fim, dedico este trabalho a todos aqueles que, como eu, acreditam na educação como um instrumento poderoso de transformação social. Acredito que, juntos, podemos construir um futuro melhor, mais justo e mais igualitário. Este sonho não é apenas meu, mas de todos que lutam por uma sociedade mais consciente e mais humana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Bioinsumos do renomado Instituto Federal Goiano, e também à FAPEG, FUNAPE e CEBIO, que durante todo o programa desempenharam um papel brilhante, facilitando o caminho e cumprindo seu papel com excelência. Sem o apoio dessas instituições, certamente a trajetória seria mais complexa. Chegar até aqui e poder alcançar o título de mestre com o apoio de instituições renomadas, sem dúvida, agrega um grau de qualidade maior ao título de especialista.



BIOGRAFIA DO ALUNO

Alair Diniz da Costa Filho, Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual de Goiás (2023), desde a minha conclusão de curso tive algumas experiências na agricultura goiana e nem uma delas no mesmo ramo a começar pela instituição que realizei meu estágio obrigatório – IFAG (Instituto para Fortalecimento da Agropecuária de Goiás) que faz parte do sistema FAEG SENAR, onde tive a oportunidade de trabalhar com custo de produção agrícola de várias culturas dentre elas soja, milho, feijão etc, responsável por cotações agrícolas e boletins de soja e milho além de trazer de uma forma mais clara e resumida os boletins de safra da Conab (companhia nacional de abastecimento) e também do USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) além do projeto de viabilidade dos biossistemas em Goiás, atuei no IFAG por quase um ano.

Após fui auditor agrícola pela KPMG em parceria com a Bayer onde visitava armazéns de recebimento de soja nas cidades de Paraúna, Indiara, Edeia, Acreúna e Montes Claros. Onde ficava responsável pela testagem do grão recebido para teste de soja positiva ou negativa, atuando por 4 meses.

Em julho de 2024 passei atuar como mobilizador no SENAR Goiás em Palmeiras de Goiás, onde atuava na busca de produtores rurais para qualificação de seus funcionários, visando melhorar o desempenho das atividades da fazenda, atuava na representação do SENAR com o intuito de cada vez mais contribuir com o produtor levando assistência técnica e treinamentos.

Em janeiro de 2025 iniciei minha trajetória na pesquisa como assistente técnico de pesquisa pela Syntech Research em Palmeiras de Goiás, ficando responsável pela manutenção dos ensaios da estação, planejamento de irrigação, e organização da estação, e após 3 meses recebi o convite para subir para o cargo de pesquisador júnior na área de eficácia agrônoma, atuando na aplicação de itens de teste, e orientação das atividades de eficácia, e no último mês de junho passei a integrar a equipe de OGM ficando com os ensaios de NTO e degradabilidade.

RESUMO

A agricultura brasileira é um setor importante para a economia do país. Sendo o Brasil um dos principais produtores de soja, a cultura da soja é atualmente uma das principais culturas. No entanto, a produtividade da soja é limitada por vários fatores, como: alto custo de produção, dependência de fontes não renováveis, clima e vários outros fatores, incluindo a baixa fertilidade do solo, especialmente a deficiência de fósforo (P). E o uso de bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) pode ser uma alternativa para melhorar a absorção de P pelas plantas e aumentar a produtividade da soja, além de ter uma dependência menor de fertilizantes químicos. Este trabalho visa revisar a literatura científica sobre o uso de BSF na cultura da soja, destacando seus mecanismos de ação, efeitos na absorção de P e impactos na produtividade da planta.

Palavras-chave: Soja, fósforo, bactérias solubilizadoras de fósforo, produtividade, fertilidade do solo.

ABSTRACT

Brazilian agriculture is an important sector for the country's economy. As a leading soybean producer, soybean is currently one of the main crops. However, soybean productivity is limited by several factors, such as high production costs, dependence on non-renewable sources, climate, and several other factors, including low soil fertility, especially phosphorus (P) deficiency. The use of phosphorus-solubilizing bacteria (PBS) may be an alternative to improve P uptake by plants and increase soybean productivity, while also reducing dependence on chemical fertilizers. This study aims to review the scientific literature on the use of PBS in soybean, highlighting its mechanisms of action, effects on P uptake, and impacts on plant productivity.

Keyword: Soybeans, phosphorus, phosphorus-solubilizing bacteria, productivity, soil fertility.

SUMÁRIO

Resumo	8
Abstract	9
1. Introdução Geral.	11
2. Objetivos	14
3. Metodologia	15
4. Revisão literaria	16
5. Resultado	20
6. Considerações finais	22
7. Referencias.	23

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura brasileira é um setor econômico competitivo, responsável por criar empregos, gerar riqueza e fornecer alimentos para o país. Além disso, é um dos principais responsáveis pelo crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. A pesquisa agropecuária tem a importante função de desenvolver tecnologias que assegurem a consolidação de sistemas agrícolas, que terão de atender o aumento da demanda por alimentos e, ao mesmo tempo, adotar práticas que causem menor impacto ao meio ambiente (BARBOSA; BRISOLA, 2024).

Até 2030, um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) visam a garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (ONU, 2025).

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) desde sua introdução no Brasil, tornou-se uma commodity muito importante para a balança comercial brasileira. O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de soja do mundo e, na safra 2024/25, a safra cobriu 49,01 milhões de hectares e produziu 169,1 milhões de toneladas, com produtividade média de 3.440 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2025).

Bevilaqua et al. (2002) dizem que os avanços tecnológicos quanto a exigências nutricionais da soja nos sistemas produtivos podem proporcionar um manejo mais eficiente da cultura, aumentando assim a produtividade. Apesar disso, os métodos de produção agrícola no Brasil estão em constante afetados pela baixa fertilidade do solo, o que resulta no uso intensivo de fertilizantes químicos sintéticos, que aumentam os custos de produção tanto econômicos quanto ambientais, além de incentivar a dependência da importação de materiais.

A produtividade da cultura da soja é limitada por diversos fatores, como escassez de água, acidez do solo e fotoperíodo. No entanto, a fertilidade do solo é um dos aspectos mais importantes na produção dessa leguminosa, pois vários macros e micronutrientes são essenciais para diversos processos biológicos nos vegetais, que estão diretamente relacionados à produtividade da cultura (RISSI, 2021).

Dentre eles, o fósforo (P) é um macronutriente cuja concentração natural nos solos brasileiros é muito baixa, o que limita a produtividade, pois desempenha um papel fundamental na fotossíntese e no crescimento das plantas (NOVAIS et al., 2007).

São várias funções que o fósforo atua nas plantas. Participa dos processos metabólicos, da transferência de energia, da fase inicial das partes reprodutivas, do desenvolvimento radicular e da formação de frutos e sementes (RAIJ, 1991). De acordo com Schachtman (1998), o fósforo participa com cerca de 2 g kg⁻¹ do peso da matéria seca. Sendo que na soja, há uma imobilização média de 20 kg ha⁻¹ de fósforo em toda sua biomassa (NOVAIS et al., 2007).

Quando em deficiência, deste nutriente pode diminuir o rendimento das plantas, afetando a parte aérea e o sistema radicular, conseqüentemente a planta terá menor formação e baixa atividade dos nódulos fixadores de nitrogênio (N), além de comprometer a exploração do solo por água e nutrientes, isso fará com que ocorra uma diminuição da área foliar, que resultará em menor produção de flores e vagens (OLIVEIRA JÚNIOR; PROCHNOW; KLEPKER, 2011).

Um dos fatores responsáveis pela baixa disponibilidade de fósforo (P), nos solos das regiões tropicais, é o fenômeno de fixação do P em reações com componentes do solo, necessitando, portanto, da aplicação de maiores quantidades de fosfatos para viabilizar o uso agrícola desses solos (RAIJ, 1991).

Existem várias práticas agronômicas voltadas a aumentar a eficiência das adubações fosfatadas, incluindo o uso de diversas tecnologias. Entre essas práticas, destacam-se os microrganismos solubilizadores de fosfato, que são fáceis de aplicar no campo, têm baixo custo (on farm) e podem suplementar os fertilizantes químicos (OLIVEIRA et al., 2020). Neste contexto, visando a aumentar a eficiência da adubação, os agricultores passaram a utilizar a técnica da inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato (ZHU et al., 2018).

Os microrganismos solubilizadores de fosfato (MSP) podem promover o crescimento de plantas, desempenhando um papel fundamental, devido à sua capacidade em solubilizar fosfatos insolúveis no solo (GUIMARÃES et al., 2021; RODRIGUES et al. 2022; SILVA et al., 2023) e a sua utilização na agricultura representa uma alternativa biotecnológica sustentável, que pode proporcionar a redução do custo da produção agrícola (PATEL et al., 2018; MENDONÇA et al., 2020).

Nesse contexto, os microrganismos solubilizadores de fosfato (MSP) surgem como alternativa promissora e sustentável. Esses organismos, que incluem bactérias e fungos, são capazes de converter formas insolúveis de fósforo presentes no solo em formas assimiláveis pelas plantas. Portanto, os MSP representam uma estratégia inovadora e ecologicamente viável para otimizar o uso do fósforo nos sistemas agrícolas, contribuindo para a sustentabilidade da produção e a preservação dos recursos naturais (XU et al., 2024).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, analisar o uso de bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) na cultura da soja, destacando seus mecanismos de ação, efeitos na absorção de fósforo e impactos na produtividade da planta.

OBJETIVOS

Geral

Analisar o uso das bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) destacando seus mecanismos de ação, efeitos na absorção de fósforo e impactos na produtividade da planta da soja.

Específicos

- Os mecanismos de solubilização de fósforo empregados pelas bactérias;
- Os benefícios e limitações do uso de BSF como bioinsumo sustentável;
- A importância do fósforo para a cultura da soja e os principais gêneros e espécies de BSF utilizados;
- As aplicações práticas e potenciais de BSF na agricultura moderna, especialmente na cultura da soja.

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de avaliar o potencial das bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) como bioinsumo sustentável para melhorar a produtividade da soja e reduzir a dependência de fertilizantes químicos fosfatados foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica explicativa, através de material já elaborado e publicado sobre obras de autores que citam o tema. Portanto para cumprir esse objetivo, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

Este é um estudo de revisão de literatura de natureza descritiva. De acordo com Gil (2002), as pesquisas exploratórias visam proporcionar uma maior familiaridade com o problema, tornando-o mais claro, enquanto as pesquisas descritivas visam estabelecer uma maior intimidade entre o pesquisador e o assunto investigado.

A metodologia empregada para a realização do trabalho foi feita através da coleta de dados em livros, trabalhos de conclusão de curso, artigos científicos publicados em periódicos científicos em bases de dados eletrônicos como Google Scholar e sites de acesso livre de trabalhos publicados sem um período de data.

Foi realizada uma pesquisa dos seguintes descritores: solubilizadores de fosfatos, BSF, bioinsumo fosfato, solubilizadores na soja. Ambos os termos em língua portuguesa e inglesa. Restringiu-se a artigos publicados na literatura nacional e internacional de língua portuguesa e inglesa. Os estudos foram pré-selecionados por via dos títulos e da leitura prévia de seus respectivos resumos

REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Importância e mecanismos de solubilização de fosfatos

O fósforo (P) é um macronutriente essencial para as plantas, participando de processos fundamentais como a fotossíntese, o metabolismo energético, a síntese de ácidos nucleicos e o crescimento radicular. Está presente no ATP e no NADPH, moléculas responsáveis pelo armazenamento e transferência de energia, além de compor a estrutura do DNA e RNA. Sua disponibilidade adequada favorece a divisão celular e o desenvolvimento radicular, ampliando a exploração do solo e a absorção de água e nutrientes (TAIZ; ZEIGER, 2017; MARSCHNER, 2012).

A baixa disponibilidade natural de fósforo em solos tropicais constitui um dos principais fatores limitantes da agricultura. Nesse sentido, compreender os mecanismos de solubilização e investir no uso de microrganismos solubilizadores de fosfato representa uma estratégia sustentável para aumentar a eficiência no uso desse nutriente, reduzir a dependência de fertilizantes químicos e garantir maior produtividade agrícola (VANCE et al., 2003; RICHARDSON et al., 2009).

A aplicação de fósforo (P) em doses elevadas em solos intemperizados é justificada pela intensa fixação desse elemento, o que ocasiona baixo conteúdo de P disponível, especialmente em solos com predomínio de minerais sesquióxidos (BÜLL et al., 1998; NOVAIS & SMYTH, 1999).

A eficiência agrônômica dos adubos fosfatados pode ser influenciada pelas fontes de fosfato, pelas propriedades do solo, pelos modos de aplicação e pelas espécies vegetais cultivadas (CHIEN & MENON, 1995).

No cerrado brasileiro, o fornecimento adequado de macro e micronutrientes, em particular do fósforo, constitui-se em ferramenta indispensável para o alcance de altas produtividades. Isso se deve ao fato de que os solos do cerrado são, em sua maioria, ácidos e apresentam baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente do fósforo. Além disso, esse nutriente está sujeito à retenção por oxi-hidróxidos de ferro e alumínio, minerais comuns em solos tropicais, o que restringe a absorção adequada de fósforo pelo sistema radicular das plantas (MALAVOLTA, 2006).

A produtividade das culturas depende da disponibilidade de fósforo para a fotossíntese (VENEKLAAS et al., 2012). Dessa forma, a prática de adubação fosfatada não apenas é essencial para obter altas produtividades, como também pode contribuir para aumentar o teor de fósforo nas sementes.

A eficiência agronômica dos fosfatos depende de diversos fatores, como as propriedades físicas e químicas do solo, as condições climáticas e a cultura implantada. Assim, compreender os processos que envolvem a dinâmica do fósforo no solo e sua interação com os diferentes componentes, bem como as formas em que o nutriente se torna disponível para as plantas, é fundamental para determinar a necessidade de adubação e, conseqüentemente, definir a dose e o modo de aplicação dos fertilizantes fosfatados. (RAIJ, 2011).

Portanto, esforços devem ser feitos para melhorar a absorção e utilização das plantas, o que pode ser alcançado por meio do controle do pH e uso de microrganismos que permitem melhor aproveitamento do P (INUI, 2009). Na teoria de Oliveira (2009) “o fósforo é um elemento essencial para a cultura da soja, e este nutriente em níveis não adequados reflete em todo o desenvolvimento vegetal”, no entanto, na descrição do autor é correto dizer que a ausência do fósforo a cultura da soja não desenvolve o necessário para ter uma boa produtividade.

As bactérias solubilizadoras de fósforo (BSP) desempenham papel fundamental no aumento da disponibilidade desse nutriente para as plantas, especialmente em solos tropicais, onde grande parte do fósforo encontra-se na forma insolúvel. Esses microrganismos utilizam diferentes mecanismos bioquímicos e fisiológicos para liberar o P do solo.

A acidificação da rizosfera é um mecanismo importante pelo qual o fósforo é solubilizado a partir de fontes minerais indisponíveis, podendo também melhorar a atividade de algumas das enzimas solubilizadoras de fosfato (RATHINASABAPATHI et al., 2018).

Dentre os mecanismos utilizados pelos microrganismos na transformação de fosfato pouco solúveis em solúveis, estão a ocorrência de processos como o desencadeamento de metabólitos de enzimas extracelulares e ácidos orgânicos, processos de acidificação, reações de trocas e quelação (ABREU et al., 2017).

A utilização de microrganismos na cultura da soja já é conhecida há muitos anos, principalmente pela utilização de *Bradyrhizobium* sp. que realizam o processo de fixação biológica de nitrogênio, e mais recentemente pela coinoculação, utilização de

Bradyrhizobium sp. e *Azospirillum* brasilense, sendo estas bactérias responsáveis pela demanda de nitrogênio e promoção de crescimento dos pelos radiculares, respectivamente, na cultura da soja (HUNGRIA et al., 2007; HUNGRIA, 2013; HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019).

4.2. Principais gêneros e espécies de BSF utilizados na soja

De acordo com Alves et al. (2002), a inoculação de microrganismos solubilizadores provoca um efeito positivo no teor de fósforo da parte aérea de plantas perenes, e isso significa que há absorção facilitada de P lábil do solo na presença dos microrganismos. Desse modo os autores verificaram que existem microrganismos aptos para serem utilizados na tecnologia de produção de inoculantes para o agronegócio.

Uma das primeiras tecnologias para o processo de solubilização fosfatada no Brasil é o BiomaPhos, que é um inoculante líquido indicado para tratamento de sementes e aplicação por jato no sulco. Ao usar o BiomaPhos, ele inicialmente se combina com as plantas para formar raízes. As bactérias presentes no produto colonizam e se multiplicam na rizosfera da planta. Durante este processo, as cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) começaram a produzir uma variedade de ácidos orgânicos.

O uso de bioinsumos representa uma alternativa estratégica e sustentável para o manejo de pragas e doenças na cultura da soja, reduzindo a dependência de defensivos químicos e seus impactos negativos. Microrganismos como fungos, bactérias e vírus demonstram elevado potencial no controle biológico, além de proporcionarem benefícios adicionais como a solubilização do fósforo e o estímulo ao crescimento vegetal.

Tecnologias inovadoras, como o BiomaPhos, reforçam a aplicabilidade prática dessas soluções no agronegócio, evidenciando que a integração de bioinsumos pode contribuir para maior produtividade, sustentabilidade ambiental e competitividade da produção de soja no Brasil.

4.3. Benefícios e limitações do uso dessas bactérias como bioinsumo sustentável

O uso de bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) tem sido apontado como uma alternativa promissora para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, melhorar a eficiência do uso do fósforo e promover práticas agrícolas sustentáveis. Estudos demonstram que essas bactérias podem aumentar a disponibilidade de fósforo no solo, estimular o crescimento e a produtividade da soja e, ainda, contribuir para a melhoria da resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos (ZHU et al., 2024; SILVA, 2023;

FENG et al., 2024).

Além disso, revisões recentes mostram que as BSF apresentam mecanismos múltiplos de atuação, como produção de ácidos orgânicos, fosfatases, sideróforos e exopolissacarídeos, resultando em ganhos consistentes no crescimento e na qualidade das plantas (SILVA, 2023; REZENDE et al., 2024).

Por outro lado, algumas limitações precisam ser consideradas. A eficácia desses microrganismos em campo ainda apresenta resultados inconsistentes, uma vez que fatores ambientais, como pH, umidade, temperatura e composição do solo, influenciam diretamente sua sobrevivência e atividade (ZHU et al., 2024). Revisões também apontam que, embora muitos isolados apresentem alta capacidade de solubilização em condições in vitro, essa resposta nem sempre se traduz de forma eficiente em sistemas agrícolas reais, o que representa um desafio para sua aplicação em larga escala (NAIR, 2019).

O uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal, podem solucionar vários problemas encontrados no dia a dia do produtor, trazendo de forma sustentável meios para aumento de produtividade os benefícios de usar bactérias como bioinsumo sustentável dando enfoque principalmente as solubilizadoras de fosfato são:

- Aumento da disponibilidade de fósforo.

- Redução da dependência de fertilizantes minerais.

- Sustentabilidade ambiental.

- Estímulo ao crescimento vegetal.

- Melhoria da saúde do solo.

4.4. Perspectivas futuras e tendências

As investigações sobre bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) têm avançado em diferentes direções, destacando-se o uso de consórcios microbianos, nos quais o emprego combinado de BSF com microrganismos fixadores de nitrogênio (*Bradyrhizobium*, *Azospirillum*) e promotores de crescimento vegetal tem demonstrado efeito sinérgico na disponibilização de nutrientes e no estímulo ao crescimento radicular (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019; VENEKLAAS et al., 2012).

Nos avanços em biotecnologia, a engenharia genética e técnicas modernas de edição genômica, como o CRISPR-Cas9, vêm sendo exploradas para ampliar a eficiência metabólica das BSF, tornando-as mais eficazes na solubilização de fósforo e adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas (RATHINASABAPATHI et al., 2018; ZHU et al.,

2024).

Outra tendência é o desenvolvimento de inoculantes mais estáveis, com formulações que aumentam a viabilidade celular durante o armazenamento e a resiliência em campo frente a variações de pH, umidade e temperatura (RAIJ, 2011; NAIR, 2019).

Por fim, destaca-se a integração das BSF em programas de manejo integrado de nutrientes, buscando equilibrar a adubação mineral e biológica, otimizar a eficiência de uso do fósforo e, simultaneamente, reduzir impactos ambientais (MALAVOLTA, 2006; REZENDE et al., 2024).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) despontam como alternativas promissoras, contribuindo não apenas para a maior eficiência no aproveitamento do fósforo presente no solo, mas também para a sustentabilidade do sistema produtivo.

Os diferentes mecanismos bioquímicos empregados por essas bactérias, como a produção de ácidos orgânicos e enzimas, promovem maior disponibilidade do nutriente, estimulando o crescimento vegetal e a fixação biológica de nitrogênio.

Apesar dos benefícios evidenciados em estudos de campo e laboratório, ainda existem limitações quanto à eficiência dessas bactérias em condições reais de cultivo, visto que fatores edafoclimáticos podem comprometer sua ação.

Avanços em pesquisas aplicadas, formulações mais estáveis e estratégias integradas de manejo tornam-se fundamentais para ampliar o uso efetivo das BSF.

Portanto, o uso de bioinsumos como as BSF representa uma ferramenta estratégica para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, aumentar a produtividade da soja e, ao mesmo tempo, preservar a sustentabilidade ambiental da agricultura brasileira.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, C. S.; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, V. L.; GOMES, E. A.; ALVES, L.; MENDONZA, E. A.; SILVA FILHO, G. N. Microrganismos solubilizadores de fosfatos e o crescimento de pinus e eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 4, p. 939-947, 2002.
- BARBOSA, V. C. R.; BRISOLA, M. V. Além dos campos: as prospecções tecnológicas sustentáveis da EMBRAPA para o agronegócio brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 62, n. 3, p. e270441, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.270441pt>.
- BEVILAQUA, G. A. P.; SILVA FILHO, P. M.; POSSENTI, J. C. Aplicação foliar de cálcio e boro e componentes de rendimento e qualidade de sementes de soja. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 31-34, 2002.
- BURNS JR., T. A.; BISHOP, P. E.; ISRAEL, D. W. Nodulação aumentada das raízes de plantas leguminosas por culturas mistas de *Azotobacter vinelandii* e *Rhizobium*. *Plant and Soil*, v. 62, p. 399-412, 1981.
- BÜLL, L. T.; FORLI, F.; TECCHIO, M. A.; CORRÊA, J. C. Relação entre fósforo extraído por resina e resposta da cultura do alho vernalizado à adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 459-470, 1998.
- CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fertilizer Research*, v. 41, p. 227-234, 1995.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2019/20 – Nono levantamento. Brasília, v. 7, p. 166, jun. 2020.
- COUTINHO, R. R. *Pochonia chlamydosporia*: controle de *Meloidogyne javanica* em soja, associação com culturas de cobertura e interação com bactérias fixadoras de nitrogênio e com o pH do solo. 2018. 91 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CRESPO, Â. L. B. et al. Assessment of soil persistence and field efficacy of *Metarhizium* applied for soybean insect pest control. *Journal of Fungi*, v. 10, n. 3, p. 216, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof10030216>.
- DUARTE, A. L. A. et al. Virulência de fungos entomopatogênicos contra *Helicoverpa armigera* em soja. *Revista Caatinga*, v. 32, n. 2, p. 425-434, 2019.
- FENG, Y. et al. Phosphate solubilizing microorganisms: a sustainability-promoting tool across diverse ecosystems. *Frontiers in Microbiology*, 2024.
- FENG, Y.; HE, J.; ZHANG, H.; et al. Phosphate-solubilizing microorganisms: a sustainability strategy to improve urban ecosystems. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, 2024. DOI:

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383813>.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Bradyrhizobium* e desafios para uma agricultura mais sustentável. Cadernos de Ciência & Tecnologia, v. 30, n. 1, p. 175-200, 2013.

GUIMARÃES, V. F. et al. Eficiência de inoculante contendo *Bacillus megaterium* (B119) e *Bacillus subtilis* (B2084) para a cultura do milho, associado à fertilização fosfatada. Research, Society and Development, v. 10, n. 12, p. e431101220920, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20920>.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; GRAHAM, P. H. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. Soil Biology and Biochemistry, v. 39, p. 880-896, 2007.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. American Journal of Plant Sciences, v. 10, p. 1278-1305, 2019.

INUI, T. Efeitos de microrganismos solubilizadores de fosfato e do pH do solo na disponibilidade de fósforo para as plantas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 6, p. 1653-1661, 2009.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MENDONÇA, J. J. et al. Diversidade, mecanismos de atuação e potencial agrícola de bactérias promotoras de crescimento de plantas, usando milho como cultura exemplo. Pesquisa Agropecuária Pernambucana, v. 25, n. 2, p. e228225202, 2020. DOI: <https://doi.org/10.12661/pap.2020.010>.

NAIR, D. N.; PADMAVATHI, G. Phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: an overview. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, v. 8, n. 4, p. 2315-2324, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2019.804.269>.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIVEIRA, I. P. de. Adubação fosfatada na cultura da soja. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (ANDA/IPNI), 2009. p. 395-422.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. F. Fósforo. In: PROCHNOW, L.

I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute – Brasil, 2011. v. 2, p. 83-149.

OLIVEIRA, C. A. et al. Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 18 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 6 set. 2025.

PATEL, T. S.; MINOCHEHERHOMJI, F. P. Plant growth promoting rhizobacteria: blessing to agriculture. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, v. 6, n. 2, p. 481-492, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.6383>.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres/Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2011.

RATHINASABAPATHI, B.; LIU, X.; FISCHER, R. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crops. *Plant Science*, v. 271, p. 115-125, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.03.014>.

REZENDE, J. C. F.; SANTOS, L. M.; OLIVEIRA, R. P.; et al. Phosphate-solubilizing microorganisms and their multiple mechanisms for improving plant growth and productivity: a review. *Frontiers in Microbiology*, v. 15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383813>.

RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. A.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. *Genetics and Molecular Research*, v. 16, n. 1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr16019371>.

RISSI, Y. R. A importância do fósforo na cultura da soja. PET Agronomia – UFSM, Santa Maria, 29 jun. 2021. Disponível em: <https://www.ufsm.br/petagrnomia>. Acesso em: 6 set. 2025.

RODRIGUES, D. A. et al. Desenvolvimento da forrageira *Pennisetum purpureum* (Schumach) cv. BRS Kurumi sobre aplicação *Azospirillum brasiliense* (N), *Bacillus subtilis* (P). *Research, Society and Development*, v. 11, n. 9, p. e7111931551, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31551>.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, v. 116, n. 2, p. 447-453, 1998.

SILVA, A. M. M. et al. Economic gains using organic P source and inoculation with P-solubilizing bacteria in sugarcane. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, n. 2, p. 101-107, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p101-107>.

SILVA, L. Phosphorus-Solubilizing Microorganisms: A Key to Sustainable Use of Phosphorus in Agriculture? *Agriculture*, v. 13, n. 2, p. 462, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020462>.

VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; BRAGG, J.; FINNEGAN, P. M.; LOVELAND, J. E.; PRICE, C. A.; SCOTT, P.; SHANE, M. W.; WHITE, P. J.; RAVEN, J. A. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New Phytologist*, v. 195, p. 306-320, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04190.x>.

ZHU, Y.; XING, Y.; LI, Y.; JIA, J.; YING, Y.; SHI, W. The role of phosphate-solubilizing microbial interactions in phosphorus activation and utilization in plant–soil systems: A review. *Plants*, v. 13, n. 19, p. 2686, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13192686>.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

ZHU, J.; LI, M.; WHELAN, M. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Science of the Total Environment*, v. 612, p. 522-537, 2018.