

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
CARLOS HENRIQUE CAETANO

USO DE BIOINSUMOS EM HORTALIÇAS: ESTADO DA ARTE E PERSPECTIVAS

CERES – GO
2025

CARLOS HENRIQUE CAETANO

USO DE BIOINSUMOS EM HORTALIÇAS: ESTADO DA ARTE E PERSPECTIVAS

Trabalho de curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação da Profa. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari.

**CERES – GO
2025**



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

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 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo:

Nome Completo do Autor: Carlos Henrique Caetano

Matrícula: 2018103200240050

Título do Trabalho: Uso de bioinsumos em hortaliças: estado da arte e perspectivas.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/08/2025.

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;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, 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;
- 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, 11 de junho de 2025.

Assinatura eletrônica do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura eletrônica do orientador

Documento assinado eletronicamente por:

- **Priscila Jane Romano Goncalves Selari, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 11/06/2025 14:27:38.
- **Carlos Henrique Caetano, 2018103200240050 - Discente**, em 11/06/2025 14:33:56.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/06/2025. 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: 716017

Código de Autenticação: 9caef5f93a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km 03, SN, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100

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

Caetano, Carlos Henrique
C128u Uso de bioinsumos em hortaliças: estado da arte e perspectivas
/ Carlos Henrique Caetano. Ceres 2025.

46f. il.

Orientadora: Prof^a. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0320021 -
Bacharelado em Agronomia - Ceres (Campus Ceres).
1. Bactérias. 2. Fungos. 3. Controle biológico. 4. Inoculantes. I.
Título.

ANEXO IV - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) seis dia(s) do mês de junho do ano de dois mil e vinte e cinco realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) Carlos Henrique Coutinho, do Curso de Agronomia, matrícula 2018103200240050, cujo título é “Uso de bioinsumos em hortaliças: estado da arte e perspectivas”. A defesa iniciou-se às 13 horas e 34 minutos, finalizando-se às 13 horas e 59 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho aprovado com média 8,1 no trabalho escrito, média 8,2 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 8,15 de **pontos**, estando o(a) estudante apto para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

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

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

Priscila Jane R. G. Selari

Assinatura Presidente da Banca

Mônica Leau da Silva Marques

Assinatura Membro 1 Banca Examinadora

Mário Sampaio Costa Silva

Assinatura Membro 2 Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me fortalecer em cada etapa da caminhada.

Aos meus pais, Clemilda e Joaquim, aos meus irmãos Ana e Victor e demais familiares, pelo amor, apoio e incentivo incondicionais, que tornaram possível minha trajetória até aqui.

Aos meus amigos, em especial ao Elias, João Marcos, Marcos e Mikael, que estiveram presentes nos momentos mais desafiadores, oferecendo apoio, motivação e ajuda durante minha graduação.

À minha orientadora, professora Priscila Jane Romano Gonçalves Selari, e aos demais professores, pelo acompanhamento, ensinamentos e dedicação durante minha formação.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Ceres e ao curso de Agronomia, pela oportunidade de crescimento pessoal, acadêmico e profissional.

E, por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para minha formação. Meu sincero muito obrigado!

RESUMO

A Revolução Verde aumentou a produção agropecuária, mas trouxe problemas ambientais e de saúde pública devido ao uso excessivo de insumos químicos. Nesse sentido, os bioinsumos são apresentados como uma alternativa sustentável, utilizando recursos biológicos naturais para aumentar a produtividade e reduzir impactos negativos. Neste trabalho, foram analisados artigos científicos que abordam o uso de bioinsumos na produção de hortaliças, disponíveis e publicados em revistas indexadas nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico, Scopus e Periódicos CAPES. Os seguintes descritores foram utilizados: Bioinsumos, hortaliças, BPCV, Inoculantes e Olerícolas, escritos nos idiomas português e inglês. Foram abordadas diferentes classes de bioinsumos, como bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), fungos micorrízicos arbusculares (FMA), fungos benéficos não micorrízicos e extratos vegetais e de algas. Os estudos analisados demonstram efeitos positivos na germinação, desenvolvimento e produtividade de culturas como alface, tomate, pepino, melancia, beterraba e cenoura, embora os resultados variem conforme a espécie vegetal, a cepa utilizada e as condições de cultivo. Além disso, bioinsumos como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Bacillus* spp. mostraram eficácia no controle biológico de pragas e doenças. Conclui-se que os bioinsumos representam uma ferramenta promissora para uma horticultura sustentável, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para a segurança alimentar, especialmente em sistemas de base agroecológica e na agricultura familiar.

Palavras-chave: Bactérias; Fungos; Controle biológico; Inoculantes.

ABSTRACT

The Green Revolution significantly increased agricultural production but also brought environmental and public health issues due to the excessive use of chemical inputs. In this context, bioinputs are presented as a sustainable alternative, using natural biological resources to enhance productivity and reduce negative impacts. This study analyzed scientific articles addressing the use of bioinputs in vegetable production, published in journals indexed in databases such as SciELO, Google Scholar, Scopus, and CAPES Journals. The following descriptors were used: Bioinputs, vegetables, PGPR, inoculants, and horticultural crops, written in both Portuguese and English. Different classes of bioinputs were addressed, including plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), non-mycorrhizal beneficial fungi, and plant and algae extracts. The studies reviewed demonstrate positive effects on germination, development, and productivity of crops such as lettuce, tomato, cucumber, watermelon, beetroot, and carrot, although results vary depending on the plant species, microbial strain, and cultivation conditions. Additionally, bioinputs such as *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Bacillus* spp. showed effectiveness in the biological control of pests and diseases. It is concluded that bioinputs represent a promising tool for sustainable horticulture, contributing to the reduction of environmental impacts and to food security, especially in agroecological systems and family farming.

Keywords: Bacteria; Fungi; Biological control; Inoculants.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Microbioma das plantas	07
Figura 2- Nodulação em raízes de soja	09

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo de trabalhos envolvendo bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) em hortaliças	31
---	-----------

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
METODOLOGIA.....	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
1. Produção de hortaliças no Brasil.....	4
2. Bioinsumos.....	5
3. Uso de bioinsumos na produção de hortaliças.....	7
3.1 Bactérias promotoras do crescimento vegetal.....	8
3.1.1 Produção de fitormônios.....	10
3.1.2 Fixação biológica de nitrogênio.....	14
3.1.3 Solubilização de fosfato.....	15
3.2 Fungos promotores do crescimento vegetal.....	16
3.2.1 Fungos benéficos.....	16
3.2.2 Fungos Micorrízicos Arbusculares.....	20
3.3 Extratos vegetais e de algas.....	23
3.4 Controle biológico em hortaliças.....	25
3.4.1 Controle biológico de pragas.....	25
3.4.2 Controle biológico de doenças.....	27
4. Desafios no uso de bioinsumos em hortaliças.....	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

INTRODUÇÃO

A Revolução Verde possibilitou um grande aumento na produção agropecuária mundial, permitindo que uma população cada vez maior fosse alimentada, no entanto, mas também culminou no uso excessivo de insumos químicos, o que têm se mostrado um problema ambiental e de saúde pública até os dias de hoje. Isto faz com que seja cada vez maior a pressão social por uma agricultura mais sustentável. Dentro deste contexto, o uso de bioinsumos se mostra como uma alternativa viável, promovendo o uso de recursos biológicos naturais para aumentar a produtividade, controlar pragas e doenças, melhorar a saúde do solo e dos animais, e reduzir os impactos negativos ao meio ambiente (ARAÚJO & BALSAMO, 2024).

Outro fator relevante, é o cenário de mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, que aumentam a vulnerabilidade das plantas aos estressores bióticos, como pragas e doenças, e abióticos, como seca e calor extremo. Esses fatores reduzem o crescimento e a produção das plantas, resultando em perdas econômicas significativas no setor agrícola. Essa situação é um desafio crescente que exige soluções inovadoras e sustentáveis para proteger as culturas e garantir a segurança alimentar (HWANG *et al.*, 2021).

Os insumos biológicos são os produtos ou processos agroindustriais desenvolvidos a partir de enzimas, extratos (de plantas ou de microrganismos), microrganismos, macrorganismos (invertebrados), metabólitos secundários e feromônios, destinados ao controle biológico. Esses insumos são também os ativos voltados à nutrição, os promotores de crescimento de plantas, os mitigadores de estresses bióticos e abióticos e os substitutivos de antibióticos (EMBRAPA, 2025).

De acordo com levantamento feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em relação ao ano de 2022, a produção de hortaliças no Brasil corresponde a cerca de 20% do total do PIB gerado pelo setor agropecuário e metade dessa produção é proveniente da agricultura familiar (CONAB, 2022).. Por isso o uso de bioinsumos na produção de hortaliças, é uma excelente alternativa para esses produtores, visando uma produção de alimentos sustentável nos quesitos econômicos, ambientais e sociais.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi fazer uma revisão bibliográfica sobre o uso de bioinsumos na produção de hortaliças e verificar, se esses, são de fato uma boa alternativa para o produtor, trazendo bons retornos econômicos através de incrementos na produtividade de suas lavouras, ao mesmo tempo em que se mostram como soluções seguras e amigáveis ao meio ambiente e ao homem.

METODOLOGIA

Para esta revisão de literatura foi realizada a leitura de artigos científicos recentes. As informações aqui utilizadas foram identificadas em trabalhos científicos disponíveis e publicados em revistas indexadas nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico, Scopus e Periódicos CAPES. Os seguintes descritores foram utilizados: Bioinsumos, hortaliças, bactérias promotoras do crescimento vegetal, fungos benéficos, extratos vegetais, extratos de algas, inoculantes e olerícolas, escritos nos idiomas português e inglês.

Após a coleta dos dados, foi realizada a leitura do material e as principais informações que apresentaram correlação entre esses termos foram selecionadas, permitindo que o conhecimento sobre o tema pesquisado fosse aumentado, possibilitando assim a elaboração do referencial teórico.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Produção de hortaliças no Brasil

A produção de hortaliças no Brasil tem um papel importante na economia agrícola nacional, destacando-se pela diversidade de espécies cultivadas e pela forte presença da agricultura familiar, com cerca de 50 espécies sendo produzidas em escala comercial (EMBRAPA, 2023). O país produz cerca de 20 milhões de toneladas de hortaliças por ano, distribuídas em aproximadamente 800 mil hectares, com destaque para culturas como batata, tomate, cebola, alface, cenoura e repolho (CONAB, 2024).

De acordo com dados publicados pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2025), em 2024, o Valor Bruto da Produção (VBP) das hortaliças alcançou aproximadamente R\$ 50,65 bilhões, com destaque para batata (R\$ 23,7 bilhões), tomate (R\$ 14,4 bilhões) e cebola (R\$ 4,8 bilhões), valores superiores aos obtidos por culturas tradicionais como arroz e feijão.

A batata é cultivada principalmente em Minas Gerais, Paraná e São Paulo, sendo a cultura com maior valor bruto de produção entre as hortaliças. Já o tomate, além do consumo *in natura*, destaca-se pelo mercado de processamento industrial, com polos produtivos em Goiás e São Paulo. A cebola, por sua vez, é tradicionalmente cultivada nos estados de Santa Catarina, Bahia e Pernambuco (EMBRAPA, 2023).

A cadeia produtiva das hortaliças exige muita mão de obra e está fortemente ligada à agricultura familiar, sendo essa responsável por mais da metade da produção, se consagrando como uma importante fonte de geração de emprego e renda em diversas regiões do país, atendendo não apenas o mercado interno, mas também contribuindo para a segurança alimentar e abrindo oportunidades para exportação. Dessa forma, o setor da horticultura se configura como estratégico tanto para a economia agrícola quanto para o desenvolvimento social em áreas rurais (EMBRAPA, 2023).

Apesar da relevância, o consumo per capita de hortaliças no país ainda é baixo, sendo de aproximadamente 35 kg/ano, valor abaixo dos 75 kg recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o que evidencia o potencial de

crescimento do setor tanto do ponto de vista econômico quanto nutricional (CONAB, 2024).

O mercado brasileiro de hortaliças projeta um crescimento significativo nos próximos anos. Dados apontados pela Mordor Intelligence (2023), estimam que o faturamento do setor aumente 33% entre 2024 e 2029, passando de US\$ 25,8 bilhões para US\$ 33,6 bilhões. Esse crescimento será impulsionado por fatores como avanços tecnológicos na produção agrícola, o aumento da demanda por alimentos saudáveis e o fortalecimento do consumo de produtos frescos e processados.

A tendência é que, além do consumo de hortaliças frescas, também haja um aumento na demanda por hortaliças processadas, como congeladas e desidratadas, devido ao crescente interesse por conveniência e alimentação prática (AGROIN , 2023). O mercado está se expandindo, especialmente em um contexto em que a população busca por uma alimentação mais saudável e variada, criando novas oportunidades para os produtores que investem em inovação e práticas sustentáveis.

2. Bioinsumos

Bioinsumo é definido como o produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos conforme estabelecido no Decreto nº 10.375 (BRASIL, 2020).

Esse decreto institui o Programa Nacional de Bioinsumos, que tem como objetivos: fomentar projetos de cooperação nacional e internacional para a promoção dos bioinsumos; editar manual de boas práticas para as unidades produtoras de bioinsumos (biofábricas); estimular inovações na agropecuária e na

produção aquícola nacional e implementar estratégias nacionais que informem sobre o potencial de uso e os benefícios dos bioinsumos para a produção agropecuária.

A CropLife Brasil complementa a definição de bioinsumos , destacando que eles abrangem produtos de origem vegetal, animal ou microbiana, incluindo aqueles oriundos de processos biotecnológicos. Esses produtos são utilizados na produção, armazenamento e beneficiamento em sistemas agrícolas, pecuários, florestais e aquáticos, e incluem biofertilizantes, bioestimulantes e biopesticidas, oferecendo alternativas aos insumos sintéticos e contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola (CROPLIFE BRASIL, 2023).

A regulamentação dos bioinsumos no Brasil avançou significativamente com a sanção da Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024, que institui o marco legal para a produção, comercialização e uso desses insumos. A nova legislação abrange atividades como produção, registro, comercialização, transporte, armazenamento, uso e fiscalização de bioinsumos utilizados na agricultura, pecuária, aquíicultura e na produção florestal, além de promover incentivos à sua adoção (BRASIL, 2024). Antes disso, os bioinsumos eram regulamentados de forma dispersa, sendo abordados em normativas voltadas para controle biológico e agricultura orgânica, como o Decreto nº 4.074/2002, que trata de produtos fitossanitários permitidos em sistemas orgânicos (BRASIL, 2002).

A utilização de bioinsumos tem se expandido para diversas culturas, incluindo hortaliças, como alternativa aos insumos químicos convencionais, contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola e a redução de impactos ambientais. Políticas públicas como o Programa Nacional de Bioinsumos têm incentivado essa transição, reforçando o papel estratégico dos produtos biológicos no fortalecimento da agricultura brasileira (CROPLIFE BRASIL, 2024). Estima-se que cerca de 50% dos produtores brasileiros já utilizam bioinsumos, como inoculantes, biofertilizantes e produtos biológicos para o controle de pragas, evidenciando uma tendência crescente pela adoção de práticas mais sustentáveis (BRASIL, 2024).

O mercado de bioinsumos no Brasil cresceu 15% na safra 2023/2024, alcançando R\$ 5 bilhões em vendas, e a área tratada com esses produtos deve atingir 155,4 milhões de hectares na safra 2024/2025, representando um aumento

de 13% em relação ao ano anterior e consolidando o país como o maior produtor e consumidor de bioinsumos do mundo (CROPLIFE BRASIL, 2024).

De acordo com Chulze (2023), os bioinsumos agrícolas podem ser classificados em dois grupos: os bioestimulantes, que estimulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas e os biocontroladores, que combatem as pragas e doenças ou reduzem os seus efeitos negativos nas culturas). O microbioma das plantas, ou seja, o conjunto de microrganismos que se encontram associados a elas como pode ser visto na figura 01, podem auxiliar na aquisição de nutrientes, água, proteção contra patógenos do solo e na tolerância a estresses bióticos e abióticos, especialmente na rizosfera (SANTOS *et al.*, 2021). Dentre os principais bioinsumos utilizados na produção agrícola hoje estão as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e os extratos vegetais e de algas.

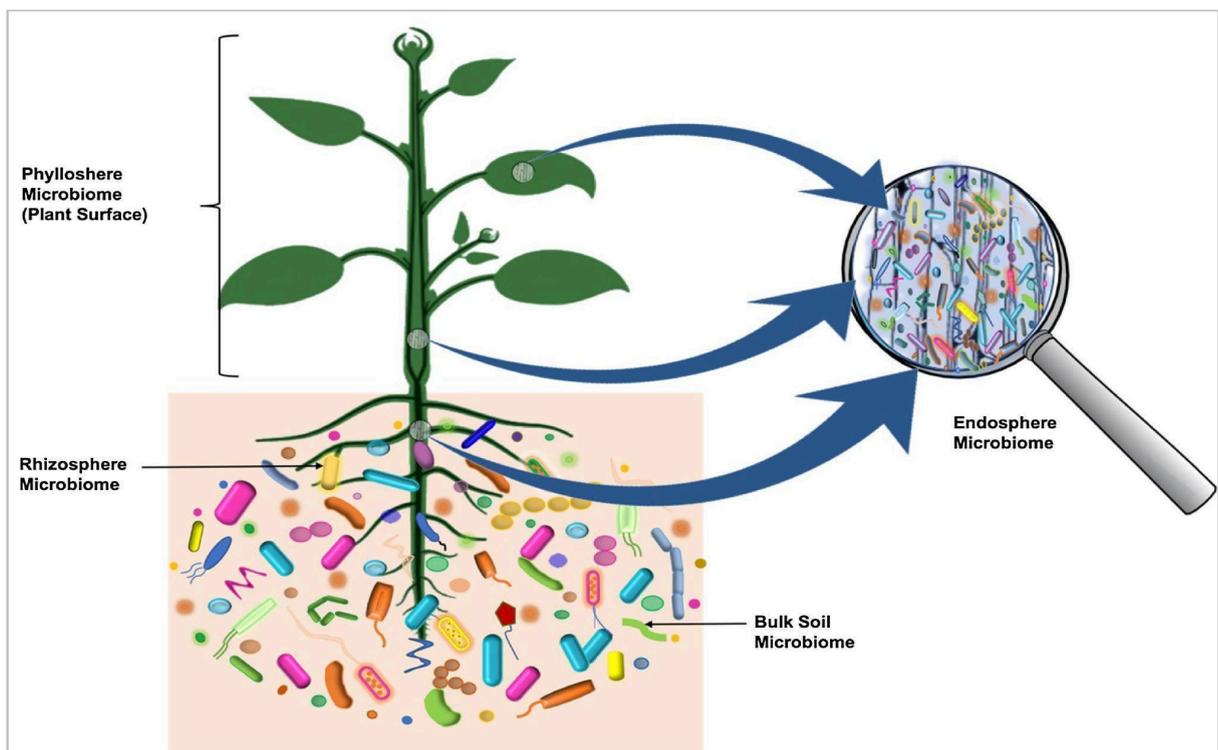


Figura 1. Microbioma das plantas (DASTOGEER *et al.*, 2020).

3. Uso de bioinsumos na produção de hortaliças

O uso de bioinsumos na produção de hortaliças vem trazendo resultados promissores. Como detalhado a seguir, há diversos relatos na literatura sobre o

efeito benéfico da inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP), fungos e extratos vegetais na germinação, desenvolvimento e crescimento de hortaliças.

3.1 Bactérias promotoras do crescimento vegetal

Dentre os microrganismos que compõem o microbioma das plantas, destacam-se as bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV), as quais executam diferentes processos fundamentais para o desenvolvimento das plantas hospedeiras, por meio de mecanismos diretos como facilitação da aquisição de nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio e ferro, modulação dos níveis de fitormônios e produção de compostos orgânicos voláteis, e mecanismos indiretos como a supressão de patógenos por meio da produção de compostos antimicrobianos, enzimas líticas, sideróforos, indução de resistência sistêmica e competição (SINGH *et al.*, 2017; GLICK, 2015; VESSEY, 2003; GOMES *et al.*, 2022).

As bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), podem ser de vida livre, as que estabelecem relações simbióticas específicas com plantas, os endófitos bacterianos (que colonizam os tecidos internos das plantas) e as cianobactérias. Embora apresentem diferenças quanto à forma de colonização e interação com as plantas, essas bactérias utilizam mecanismos semelhantes para promover o crescimento vegetal (GLICK, 2012).

As bactérias de vida livre são microrganismos que vivem no solo ou na rizosfera (região ao redor das raízes das plantas) sem a necessidade de estabelecer uma relação íntima com os tecidos vegetais. Elas promovem o crescimento vegetal principalmente por meio da solubilização de fósforo, produção de fitormônios como auxinas, giberelinas e citocininas, e fixação biológica de nitrogênio (em menor grau comparado às simbióticas). Um exemplo clássico desse grupo é o gênero *Azospirillum*, que é amplamente estudado por sua capacidade de promover o crescimento de gramíneas como milho, trigo e arroz por meio da produção de auxinas (BASHAN & DE-BASHAN, 2010).

As bactérias simbióticas estabelecem uma associação íntima e altamente específica com determinadas plantas hospedeiras. Essa interação, geralmente mutualística, resulta em benefícios para ambos os organismos. Um dos exemplos mais bem conhecidos é o gênero *Rhizobium*, que forma nódulos nas raízes de leguminosas e realiza a fixação biológica do nitrogênio, transformando o nitrogênio atmosférico (N_2) em formas assimiláveis pela planta. Em troca, a planta fornece carboidratos para a bactéria. Essa simbiose é fundamental para a agricultura sustentável, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados, como no caso da soja que estabelece uma relação simbiótica com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, como pode ser observado na figura 02 (HUNGRIA et al., 2001).



Figura 2. Nodulação em raízes de soja. Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Os endófitos bacterianos são microrganismos que colonizam os tecidos internos das plantas, como raízes, caules e folhas, sem causar danos ou sintomas de doenças. Essas bactérias podem promover o crescimento vegetal por múltiplos mecanismos, incluindo a produção de hormônios vegetais, indução de resistência sistêmica e aumento da absorção de nutrientes. Um exemplo é o *Burkholderia*

phytofirmans, conhecido por colonizar diversas culturas e melhorar a tolerância das plantas a estresses abióticos, como seca e salinidade (COMPANT *et al.*, 2005).

As cianobactérias são microrganismos fotossintetizantes capazes de fixar nitrogênio atmosférico, sendo importantes principalmente em sistemas agrícolas de solos pobres em nitrogênio. Elas são frequentemente associadas a culturas como arroz, em especial em ambientes encharcados, como os arrozais irrigados. Gêneros como *Anabaena* e *Nostoc* são capazes de viver de forma livre ou associada a plantas aquáticas, contribuindo para o enriquecimento do solo com nitrogênio e promovendo o crescimento vegetal (MEHROTRA & TRIPATHI, 2015; BHUYAN *et al.*, 2023).

Os gêneros *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Serratia* e *Klebsiella* são exemplos de bactérias que possuem propriedades de promoção do crescimento vegetal, incluindo aumento na taxa de germinação de sementes, biomassa, controle biológico de fitopatógenos, ciclagem de nutrientes, produtividade de grãos, rendimento de colheita, entre outros (KANG *et al.*, 2019).

Estes bioinsumos agem principalmente através dos seguintes mecanismos: produção de fitormônios, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfato e controle biológico de pragas e doenças.

3.1.1 Produção de fitormônios

A produção de fitormônios é um mecanismo direto de promoção do crescimento de plantas. Os fitormônios são compostos orgânicos que promovem, inibem ou alteram os processos morfológicos das plantas, entre esses fitormônios as auxinas se destacam, desempenhando múltiplos papéis no desenvolvimento e na fisiologia das plantas. Estão envolvidas na indução do crescimento radicular, divisão, alongamento e diferenciação celular. Além disso, participam da germinação de sementes, formação de raízes adventícias, desenvolvimento do xilema, tropismos, floração, frutificação, formação de pigmentos e na biossíntese de metabólitos secundários. As auxinas também contribuem significativamente para a adaptação

das plantas a condições de estresse biótico e abiótico (TAIZ *et al.*, 2017; DIAS & SANTOS, 2022).

O ácido indolacético (AIA) é a principal auxina natural encontrada nas plantas, onde atua diretamente na promoção do crescimento radicular, favorecendo a formação de raízes laterais e pêlos radiculares, o que aumenta a absorção de água e nutrientes pelas plantas. A síntese de AIA por BPCV geralmente ocorre por vias metabólicas dependentes de triptofano, um aminoácido presente na exsudação radicular. Diversas espécies bacterianas são capazes de produzir AIA, incluindo *Azospirillum spp.*, *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.* e *Rhizobium spp.*, os quais têm sido amplamente estudados pelo seu potencial em favorecer o desenvolvimento vegetal. Essa interação simbiótica entre planta e bactéria contribui significativamente para o crescimento das plantas, especialmente em ambientes com baixa disponibilidade de nutrientes (DIAS & SANTOS, 2022).

Algumas BPCV também são capazes de produzir a enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminase, que atua na regulação dos níveis de etileno nas plantas. O etileno é um fitormônio envolvido em diversos processos fisiológicos, como o crescimento, amadurecimento e senescência vegetal; contudo, quando acumulado em excesso, pode exercer efeitos inibitórios sobre o desenvolvimento das plantas. A ação da ACC deaminase permite a degradação do precursor do etileno, contribuindo para mitigar os impactos negativos causados por concentrações elevadas desse hormônio, especialmente sob condições de estresse (MA *et al.*, 2016; DIAS & SANTOS, 2022).

Além das auxinas, outros fitormônios vegetais como citocininas e giberelinas também podem ser sintetizados pelas BPCV. As citocininas estão envolvidas na divisão celular, no desenvolvimento de gemas e na regulação da senescência, enquanto as giberelinas atuam principalmente no alongamento celular e na germinação de sementes. A produção desses compostos por BPCV reforça sua importância na promoção do crescimento e desenvolvimento vegetal, ampliando sua atuação além da fixação de nitrogênio e da solubilização de nutrientes (DIAS & SANTOS, 2022).

Silva *et al.* (2022) buscaram avaliar a influência das bactérias *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* na germinação e biometria de sementes e plântulas de melancia, o que está relacionado com a produção de fitormônios. Para isso, eles testaram essas duas bactérias de forma isolada e em conjunto com cinco tempos de imersão diferentes. Eles concluíram que a coinoculação de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* é recomendada a fim de potencializar a ação dos microrganismos na germinação das sementes e na biometria das plântulas de melancia, sendo que os tempos de imersão de 0 e 12 horas apresentam melhor desempenho na germinação enquanto o tempo de 6 horas proporciona maior incremento nas variáveis biométricas.

Rocha *et al.* (2019) fizeram um estudo com objetivo de avaliar a eficácia de diferentes isolados de *Bacillus* spp. na promoção do crescimento vegetal e no desenvolvimento de bioinsumos para o cultivo de batata. Para isso, foram isoladas 39 cepas bacterianas, provenientes de batatas nativas, das quais 30 foram identificadas como pertencentes ao gênero *Bacillus*. As cepas selecionadas foram inoculadas em plantas de batata cultivadas em estufa, e foram avaliadas as variáveis altura da planta, comprimento e peso da raiz, volume da raiz, número de tubérculos, peso dos tubérculos e rendimento dos tubérculos.

Os autores identificaram onze isolados com potencial promotor de crescimento de plantas. Dentre eles, destacaram-se os isolados 27 e 146, os quais apresentaram múltiplas funções benéficas, como a fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e produção de ácido indolacético (AIA). Já o isolado 45 apresentou desempenho superior no aumento da altura das plantas e no desenvolvimento de tubérculos, resultando em um rendimento de até 3 toneladas por hectare na cultura da batata (*Solanum tuberosum*).

Cassimiro *et al.* (2022) avaliaram o uso de pó de rocha consorciado à inoculação com bactérias promotoras de crescimento em hortaliças não convencionais. Foi testada a aplicação do pó de rocha fonolito consorciado com três cepas de bactérias do gênero *Burkholderia* — microrganismos conhecidos pela capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, solubilizar fósforo e potássio, além de produzir ácido indolacético (AIA) — e uma cepa de *Azospirillum brasilense*, reconhecida por sua ação promotora de crescimento vegetal. Os testes foram

conduzidos em três espécies de hortaliças não convencionais: capuchinha (*Tropaeolum majus*), bortalha (*Basella alba*) e vinagreira verde (*Hibiscus sabdariffa*). Os autores concluíram que o uso de duas das três cepas de *Burkholderia* spp. e a cepa de *Azospirillum brasilense* associadas ao uso do fonolito, foram eficazes no aumento da produção de peso fresco de capuchinha, quando comparado ao tratamento com fonolito isolado. No entanto, os mesmos resultados não foram encontrados nas culturas da bortalha e vinagreira verde, onde os tratamentos com as estirpes bacterianas não apresentaram efeitos significativos sobre a produção.

Dalmas *et al.* (2020) trabalharam com a inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura da beterraba, avaliando os efeitos que a BPCV nas mudas e nas plantas de beterraba como: comprimento de raiz e altura, diâmetro equatorial e polar de raiz, altura e matéria seca de parte aérea, sólidos solúveis de raiz e produtividade. Os autores concluíram que a inoculação de *A. brasilense* via sementes resultou em maior desenvolvimento aéreo e radicular da cultura da beterraba e proporcionou um incremento de até 59,8 % na produção, na dose de 103,7 mL 100 kg⁻¹.

Passos *et al.* (2023) trabalharam com bactérias como forma de substituição da adubação de cobertura em tomate, os autores utilizaram seis tratamentos diferentes, incluindo a aplicação de *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus licheniformis*, e uma combinação de *Bacillus aryabhatai*, *Bacillus haynesii*, e *Bacillus circulans*. Eles observaram que os tratamentos com *Azospirillum brasilense* e tratamento com a combinação de *Bacillus aryabhatai*, *Bacillus haynesii* e *Bacillus circulans* mostraram resultados superiores em termos de número de folíolos, folhas, altura e número de frutos. Segundo os autores, *Azospirillum brasilense* atua principalmente no crescimento radicular e na produção de fitormônios, resultando em aumento na altura das plantas e na produção de folíolos. Já bactérias do gênero *Bacillus* apresentam múltiplos mecanismos de ação, incluindo a formação de biofilme, estímulo ao crescimento radicular, solubilização de fosfatos e, também, a produção de fitormônios, contribuindo para o desenvolvimento vegetal de forma integrada.

3.1.2 Fixação biológica de nitrogênio

Cerca de 80% do ar atmosférico é composto por nitrogênio molecular (N_2), uma forma que as plantas não conseguem assimilar diretamente. No entanto, microrganismos conhecidos como diazotróficos desempenham um papel fundamental ao transformar o N_2 atmosférico em amônio (NH_4^+), uma forma assimilável pelas plantas. O uso desses microrganismos representa, portanto, uma estratégia promissora para reduzir a dependência de adubos nitrogenados de origem industrial, sendo uma fonte de nitrogênio mais barata e sustentável (AVIZ *et al.*, 2021).

O uso de BPCV diazotróficas tem se mostrado promissor na produção sustentável de hortaliças, um exemplo é a *Azospirillum brasilense*, que é uma bactéria de vida livre ou associativa, encontrada na rizosfera das plantas. Cargnelutti *et al.* (2022), testaram o uso dessa BPCV em três cultivares de pepinos cultivados com base agroecológica. Os autores concluíram que a inoculação com *A. brasiliense* promoveu um aumento significativo no número de frutos, no peso médio dos frutos e na produção total em todas as cultivares analisadas, sendo capaz de aumentar a produtividade média em até 10 toneladas ha^{-1} em comparação com o pepino sem inoculação.

Já Venceslau *et al.* (2021) trabalhando com outros gêneros de BPCV fixadoras de nitrogênio, em alface, procuraram testar o efeito das bactérias *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11175), *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281) e a mistura (*H. seropedicae* + *G. diazotrophicus*) na promoção de crescimento de alfaces cresas. A avaliação dos resultados foi feita 30 dias após o transplante, e foi constatado que a inoculação com as estirpes bacterianas não promoveu um melhor desenvolvimento das características produtivas da alface cresa, quando comparadas ao tratamento sem inoculação e com uso de substrato vegetal, pelo contrário, se tratando das variáveis altura da planta, biomassa verde do caule e da raiz, os tratamentos com os inoculantes inibiram o crescimento da alface cresa. De acordo com os autores, esses resultados reforçam que a relação entre a bactéria e a planta é bastante específica, portanto, a capacidade de uma bactéria de promover o crescimento vegetal não é garantia de que isso acontecerá em todas as espécies vegetais.

3.1.3 Solubilização de fosfato

O fósforo é um dos nutrientes essenciais mais limitantes para o desenvolvimento das plantas, sendo fundamental para processos como fotossíntese, divisão celular e formação de sementes, visto que compõe intermediários da respiração e da fotossíntese, além de integrar moléculas como ADP, ATP, GTP, NADP, DNA e RNA (TAIZ *et al.*, 2017).

No entanto, sua disponibilidade nos solos é geralmente baixa, pois grande parte do fósforo total encontra-se em formas insolúveis ou adsorvido a partículas minerais. Por isso, a agricultura convencional recorre intensamente à aplicação de fertilizantes fosfatados. O problema é que esses fertilizantes possuem baixo aproveitamento pelas plantas (com eficiências que variam entre 10% e 30%) e são derivados de fontes não renováveis, como rochas fosfáticas. Nesse contexto, as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) capazes de solubilizar fosfato representam uma alternativa promissora, pois atuam liberando o fósforo que se encontra indisponível para as plantas no solo, tornando-o acessível. O uso dessas bactérias pode reduzir significativamente a dependência de fertilizantes minerais, promovendo uma agricultura mais sustentável, tanto econômica quanto ambientalmente (GOMES *et al.*, 2022; CORREA *et al.*, 2023).

As bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) têm ganhado destaque como bioinsumos na agricultura por sua capacidade de transformar formas insolúveis de fósforo em formas assimiláveis pelas plantas, principalmente através da produção de ácidos orgânicos e enzimas fosfatases. Esses microrganismos, pertencentes a gêneros como *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Rhizobium*, atuam de maneira eficiente na rizosfera, promovendo maior absorção de fósforo, o que contribui para o desenvolvimento radicular, crescimento vegetativo e incremento da produtividade em diversas culturas, incluindo hortaliças (GOMES *et al.*, 2022).

A aplicação de bactérias capazes de solubilizar esse nutriente em hortaliças e outras culturas tem proporcionado melhorias significativas no crescimento radicular e na eficiência de absorção de nutrientes, o que reduz a necessidade de adubação mineral e contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis e econômicas.

Mazzuco *et al.* (2023) estudaram o efeito da inoculação de isolados solubilizadores de fosfato em bulbilhos de alho para reduzir a demanda de superfosfato triplo no campo. Eles testaram isolados de *Pseudomonas* spp. (CBS02) e *Bacillus* spp. (EB17) em diferentes doses de superfosfato triplo (0%, 50%, 100%). Os autores constataram que a combinação dos isolados mostrou ser eficaz em promover o crescimento do alho e reduzir a necessidade de fertilização fosfatada, visto que mistura de isolados aumentou o tamanho, massa seca e teor de P da quarta folha, além da produtividade do alho, mesmo sem fertilização com superfosfato triplo.

Já trabalhando com bactérias do gênero *Streptomyces*, Martins *et. al* (2022), obtiveram resultados promissores testando inoculantes a base da cepa UFT St07, isolada na Universidade Federal do Tocantins (UFT), que apresentou índice de solubilização de fosfato quando testada. Foi analisado o efeito dessa cepa bacteriana no desenvolvimento inicial de cultivares de alface americana e crespa, e foi observado um resultado positivo quando utilizado as doses 75 e 150 g/kg para todas as variáveis analisadas, incluindo altura de plântula e massa fresca e seca das partes aérea e radicular.

Bicudo *et al.*, (2023) testaram o uso de um bioinoculante comercial solubilizador de fosfato na cultura da alface. O bioinsumo testado por eles foi o BiomaPhos®, um produto à base de BPCV, contendo as cepas *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119). Foi constatado em seu trabalho que o uso do bioinsumo BiomaPhos®, não aumentou a disponibilidade de fósforo para a cultura da alface, quando comparado ao uso do adubo fosfatado, destacando a interação específica dos inoculantes com as espécies vegetais.

3.2 Fungos promotores do crescimento vegetal

3.2.1 Fungos benéficos

Os fungos benéficos desempenham papéis fundamentais na agricultura sustentável, atuando como biofertilizantes, agentes de controle biológico e promotores do crescimento vegetal. Os fungos do gênero *Trichoderma* destacam-se por sua atuação no controle biológico de fitopatógenos, utilizando mecanismos como

micoparasitismo, competição por espaço e nutrientes, além da produção de enzimas hidrolíticas e antibióticos. Esses microrganismos também induzem resistência sistêmica nas plantas e favorecem o crescimento vegetal por meio da produção de fitohormônios e do aumento da disponibilidade de nutrientes (MEYER *et al.*, 2019).

Além disso, os microrganismos multifuncionais, como *Trichoderma* spp., têm ganhado destaque como alternativa sustentável para a agricultura, especialmente diante da crescente demanda por redução no uso de fertilizantes e pesticidas sintéticos. Eles atuam por mecanismos diretos, como a solubilização de nutrientes e a produção de fitormônios, e indiretos, como a indução de resistência sistêmica e o controle de fitopatógenos. O uso desses microrganismos, contribui para o aumento da produtividade agrícola, redução de custos e maior sustentabilidade dos sistemas de produção (REZENDE *et al.*, 2021).

O fungo *Beauveria bassiana* é amplamente utilizado como agente entomopatogênico, infectando insetos por meio da adesão e penetração dos seus esporos na cutícula do hospedeiro, levando à sua morte. Essa espécie é eficaz no controle de diversas pragas, como mosca-branca e percevejo-marrom, oferecendo uma alternativa sustentável aos inseticidas químicos (ALVES *et al.*, 2021).

De maneira semelhante, *Metarhizium anisopliae* é um fungo entomopatogênico amplamente empregado no controle biológico de pragas como brocas e cigarrinhas. Tradicionalmente conhecido por sua capacidade de infectar e eliminar uma ampla gama de artrópodes, esse fungo tem se destacado também pelo seu papel simbiótico com plantas, contribuindo para o crescimento vegetal e a saúde do solo. Estudos indicam que espécies do gênero *Metarhizium* podem colonizar o sistema radicular das plantas, promovendo o desenvolvimento radicular, aumentando a absorção de nutrientes e conferindo maior resistência a estresses abióticos, como salinidade e presença de metais pesados, além de atuarem contra fitopatógenos (MESQUITA *et al.*, 2023).

Outro fungo de grande relevância é *Serendipita indica*, uma espécie endofítica, capaz de colonizar as raízes de diversas culturas e proporcionar benefícios significativos ao desenvolvimento vegetal. Este microrganismo contribui para o crescimento das plantas, melhora a absorção de nutrientes e água e induz

resistência a estresses abióticos, como salinidade, seca e metais pesados, além de oferecer proteção contra patógenos (SALEEM *et al.*, 2022).

Os mecanismos envolvidos em sua ação incluem modulação hormonal, produção de metabólitos secundários e interação com a microbiota do solo. Estudos recentes também exploram a aplicação conjunta de *S. indica* com nanopartículas, ampliando seu potencial como ferramenta biotecnológica na agricultura moderna. Dessa forma, seu uso pode reduzir a dependência de agroquímicos, melhorar a saúde do solo e favorecer sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes (SALEEM *et al.*, 2022).

Alves *et al.* (2021) realizaram um estudo que avaliou a eficácia de duas formulações do fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* no controle de soldados da formiga-cortadeira *Atta laevigata*. Os insetos foram mantidos em condições controladas e avaliados quanto à sobrevivência. Os resultados mostraram que a formulação em óleo foi mais eficiente, inclusive em doses mais baixas, sugerindo que veículos oleosos podem aumentar a infectividade dos micoinseticidas. O estudo conclui que essas formulações têm potencial para uso em programas de controle biológico, contribuindo para a seleção de isolados mais virulentos e economicamente viáveis.

Um estudo conduzido por Sales *et al.* (2018) investigou a eficácia do controle biológico do tripses (*Frankliniella schultzei*) na cultura da alface, por meio da aplicação dos fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, em comparação ao inseticida químico imidacloprido. O experimento foi realizado em um sistema de cultivo hidropônico comercial e contou com cinco tratamentos distintos: três envolvendo os fungos, um com o inseticida e um controle negativo.

Os resultados indicaram que o imidacloprido apresentou maior eficiência nos primeiros dias após a aplicação. No entanto, após sete dias, *B. bassiana* demonstrou um desempenho de controle semelhante ao do inseticida. A combinação de *B. bassiana* com *M. anisopliae* não apresentou vantagens significativas em relação ao uso isolado de *B. bassiana*. Observou-se ainda que os fungos necessitam de aproximadamente sete dias para atingir seu pico de eficácia, o

que reforça seu potencial como alternativa viável ao uso de produtos químicos no manejo integrado de pragas. Dessa forma, o uso de *B. bassiana* configura-se como uma estratégia sustentável para o controle de tripes na alface, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e dos riscos à saúde dos trabalhadores rurais.

Pereira & Petry (2024) analisaram os efeitos da aplicação de microrganismos eficientes (EM) e do fungo *Trichoderma* sp. na produção orgânica de beterraba (*Beta vulgaris*), com foco na promoção do crescimento vegetal, melhoria da qualidade das raízes e sustentabilidade do sistema de cultivo. O estudo foi conduzido em um sistema de cultivo orgânico, utilizando delineamento experimental em blocos casualizados com três tratamentos: aplicação de EM, aplicação de *Trichoderma* sp. e um controle (sem aplicação), com quatro repetições cada. Foram avaliadas variáveis agronômicas como altura das plantas, massa fresca e seca da parte aérea, diâmetro da raiz, massa fresca da raiz, teor de sólidos solúveis (°Brix), pH e acidez titulável. Os resultados mostraram que os tratamentos com EM e *Trichoderma* sp. proporcionaram melhorias significativas em relação ao controle, especialmente na massa fresca da raiz, indicando maior produtividade. O tratamento com EM destacou-se por apresentar os melhores resultados nesse aspecto, sugerindo maior eficiência na promoção do crescimento radicular.

Já Sarmento et al. (2024) investigaram o uso de isolados do fungo *Trichoderma* spp. como agentes de controle biológico contra fungos fitopatogênicos que afetam hortaliças. A pesquisa foi conduzida com quatro isolados de *Trichoderma* (Tam01 a Tam04), obtidos na região Amazônica, e cinco fitopatógenos: *Alternaria* sp. (de couve e tomate), *Cercospora* sp. (de alface e chicória) e *Colletotrichum* sp. (de cebolinha). Foram realizados três testes in vitro: taxa de crescimento micelial, confrontação direta e produção de compostos voláteis. Os resultados mostraram que todos os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram crescimento mais rápido que os fitopatógenos, com destaque para o isolado Tam04, que teve a maior taxa de crescimento.

No teste de confrontação direta, o isolado Tam03 foi o mais eficaz na redução do crescimento dos fitopatógenos, demonstrando forte potencial antagônico. Essa eficácia é atribuída à produção de compostos antimicrobianos e enzimas que degradam as estruturas celulares dos fungos patogênicos. Apesar dos resultados

promissores, os autores ressaltam a necessidade de mais estudos, especialmente in vivo, para validar a aplicação desses isolados em sistemas de cultivo orgânico e agroecológico. O estudo conclui que os isolados de *Trichoderma* spp. testados apresentam potencial significativo para o controle biológico de doenças em hortaliças, reforçando a importância de estratégias sustentáveis na agricultura (SARMENTO et al., 2024).

3.2.2 Fungos Micorrízicos Arbusculares

As micorrizas são associações simbióticas entre fungos e raízes de plantas, podendo ser classificadas em ectomicorrizas e endomicorrizas. Nas ectomicorrizas, o fungo envolve a raiz, formando uma bainha fúngica ao seu redor, mas sem penetrar nas células radiculares. Já nas endomicorrizas, também conhecidas como micorrizas arbusculares, as hifas do fungo penetram a parede celular das células da raiz, formando estruturas especializadas chamadas arbúsculos, que se localizam no interior da parede celular, porém permanecem fora da membrana plasmática. As micorrizas arbusculares são compostas por três componentes principais: raízes, estruturas fúngicas (como arbúsculos, esporos e vesículas) e micélio extrarradicular (VALADARES et al., 2016).

As hifas são filamentos que compõem o micélio dos fungos e desempenham um papel fundamental na absorção de água e sais minerais do solo. As vesículas são estruturas globosas, ricas em lipídios, que atuam como órgãos de reserva. Já os arbúsculos resultam da ramificação das hifas no interior das células corticais das raízes e têm como principal função a troca de metabólitos entre o fungo e a planta hospedeira, sendo considerados a estrutura mais importante da simbiose (BONFANTE-FASOLO, 1984; SMITH & READ, 2008; SILVA et al., 2021).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são microrganismos do filo *Glomeromycota* que estabelecem associações simbióticas com raízes da maioria das plantas cultivadas. Essa interação mutualística ocorre no interior das células das raízes, onde o fungo forma estruturas conhecidas como arbúsculos, responsáveis pela troca de nutrientes entre o fungo e a planta hospedeira (KLAESTADT LAURINDO et al., 2020; SMITH & READ, 2008).

O principal benefício agrônômico proporcionado pelos FMAs está relacionado ao aumento da absorção de nutrientes pouco móveis no solo, como fósforo, zinco e cobre. A presença do micélio extrarradicular amplia significativamente a área de exploração do solo, funcionando como uma extensão do sistema radicular da planta (CORTAT *et al.* 2022). Além disso, a associação com FMAs melhora a eficiência de uso da água, a tolerância a estresses ambientais, como salinidade e déficit hídrico, e contribui para a formação de agregados estáveis no solo, promovendo melhorias em sua estrutura física (CORTAT *et al.* 2022).

Esses fungos também desempenham papel fundamental na sustentabilidade dos sistemas produtivos ao favorecer a ciclagem de nutrientes e reduzir a necessidade de insumos sintéticos. Ao estimular a saúde do solo e o desenvolvimento vegetal de forma natural, os FMAs se apresentam como aliados importantes na transição para uma agricultura de base ecológica, especialmente em sistemas de produção de hortaliças, nos quais a manutenção da fertilidade e o equilíbrio biológico são cruciais (CORTAT *et al.* 2022).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são componentes essenciais da biologia do solo, formando associações com as raízes de plantas de diversas famílias botânicas em ecossistemas naturais e cultivados. Essas associações são benéficas para a absorção de água e nutrientes pelas plantas, promovendo seu crescimento e desenvolvimento. A presença de FMAs é observada em diferentes ecossistemas terrestres, tanto naturais quanto agrícolas (PEREIRA *et al.*, 2021).

Silva *et al.* (2021) analisaram a interação entre diferentes espécies de hortaliças presentes em uma horta orgânica, com foco na associação entre fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e plantas folhosas cultivadas sob manejo orgânico. O estudo destacou a presença de hifas, vesículas, arbúsculos e esporos nas raízes das plantas, evidenciando a colonização micorrízica. Os FMAs, pertencentes ao filo *Glomeromycota*, desempenham um papel fundamental na absorção de nutrientes e na troca de metabólitos com as plantas hospedeiras. A pesquisa demonstrou diferenças significativas entre as espécies quanto ao grau de colonização: alface, cebolinha e coentro apresentaram alta associação com FMAs, enquanto espinafre, rabanete e rúcula mostraram baixa ou nenhuma colonização. Os autores ressaltam que a presença dessas micorrizas pode representar uma

ferramenta biotecnológica promissora para o manejo sustentável e o aumento da produtividade agrícola.

Rosa & Reis (2022) buscaram avaliar a eficiência do fungo micorrízico *Glomus intraradices* no desenvolvimento do tomateiro cereja, cultivar Lili, com ênfase no impacto de diferentes doses aplicadas ao substrato. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas na produção de frutos, massa seca e comprimento radicular, a inoculação com o fungo promoveu aumento na altura da parte aérea das plantas, especialmente com a dose de 15 g/vaso, a qual se ajustou a um modelo cúbico. Os autores apontam que a elevada fertilidade do solo utilizado pode ter atenuado os efeitos benéficos da micorrização, uma vez que solos ricos em nutrientes tendem a inibir o estabelecimento da simbiose. Nessas condições, os fungos micorrízicos podem inclusive atuar como parasitas, sem promover ganhos expressivos ao desenvolvimento vegetal. Apesar disso, os resultados positivos observados na altura da parte aérea indicam que a eficácia da inoculação pode variar conforme os parâmetros avaliados e as condições ambientais específicas do cultivo. O estudo reforça, portanto, o potencial dos fungos micorrízicos como ferramenta biológica para uma agricultura mais sustentável.

Silva *et al.* (2020) avaliaram os efeitos da inoculação de sementes de alface (*Lactuca sativa*), brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) e rúcula (*Eruca vesicaria* ssp. *sativa*) com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), especificamente *Rhizophagus irregularis*. Os resultados indicaram que a inoculação com FMA promoveu um aumento significativo nas taxas de germinação e no crescimento das plântulas de alface e brócolis, enquanto não foram observadas diferenças significativas para a rúcula. Para a alface, a maior taxa média de germinação inicial foi de 46,45% com a dose de 466,50 g de micorriza, enquanto a germinação final atingiu 89,51% com 863,00 g. No caso dos brócolis, a maior média de germinação inicial foi de 38,62% com 790,69 g, e a germinação final alcançou 81,36% com 187,50 g. Apesar dos efeitos positivos identificados, os autores destacam que os custos dos produtos comerciais à base de FMA podem não ser viáveis para todos os agricultores, o que limita sua adoção em larga escala.

Lopez *et al.* (2019) buscaram testar se a co-inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) e o fungo micorrízico arbuscular (FMA)

Glomus clarum melhora o crescimento de plantas de mandioca micropropagadas. Os pesquisadores conduziram experimentos em condições controladas, utilizando plantas de mandioca micropropagadas, essas plantas foram inoculadas com diferentes combinações de BPCV e FMA, e comparadas com plantas controle (não inoculadas). O estudo avaliou o efeito de diferentes estirpes bacterianas e suas combinações em duplas sobre o crescimento vegetal. As estirpes utilizadas foram *Azospirillum amazonense* (BR 11140), *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11175), *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11284) e *Streptomyces* sp. (S30). Além das inoculações individuais, também foram testadas combinações duplas: *Streptomyces* sp. + *A. amazonense*, *Streptomyces* sp. + *H. seropedicae*, *Streptomyces* sp. + *G. diazotrophicus*, *A. amazonense* + *H. seropedicae*, *A. amazonense* + *G. diazotrophicus* e *H. seropedicae* + *G. diazotrophicus*.

A inoculação isolada com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum* promoveu os maiores benefícios ao crescimento e à nutrição da mandioca (*Manihot esculenta*), com alta taxa de colonização micorrízica (atingindo até 89,33%) e aumento significativo no acúmulo de nitrogênio e matéria seca. Embora algumas combinações de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), como *Streptomyces* sp. + *Gluconacetobacter diazotrophicus*, tenham estimulado o crescimento radicular, não foram observados efeitos sinérgicos consistentes entre as BPCVs e o FMA. Destaca-se, no entanto, a inoculação com *Herbaspirillum seropedicae*, que foi eficaz no aumento do teor de proteína bruta nas plantas, apresentando desempenho comparável à adubação nitrogenada mineral. Esses resultados sugerem que a co-inoculação de BPCVs e *G. clarum* pode suprir a necessidade de N da mandioca, implicando na redução do uso de fertilizante nitrogenado, redução de custos e contribuindo para uma agricultura mais sustentável (LOPEZ et al., 2019).

3.3 Extratos vegetais e de algas

O uso de extratos vegetais e de algas como bioinsumos na agricultura vem se expandindo cada vez mais. Os bioestimulantes derivados de extratos de algas contêm moléculas bioativas complexas que desempenham diversas funções,

dependendo do método de extração e da forma de aplicação. Essas moléculas podem melhorar a absorção de nutrientes, estimular o crescimento das plantas, aumentar a resistência a estresses abióticos e bióticos, e promover a saúde geral das plantas (SHUKLA *et al.*, 2019).

Tacaliti *et al.* (2024) testaram o uso de óleo de *Lippia alba* quimiotipo carvona (erva-cidreira) no controle do pulgão da batata (*Aulacorthum solani*) na cultura da alface. Foram utilizadas várias concentrações do óleo essencial, comparadas a um inseticida comercial (testemunha positiva) e água (testemunha negativa). Os autores constataram que o bioinsumo à base do óleo essencial não causou a morte imediata dos pulgões, como no caso do inseticida comercial, mas afetou sua longevidade, fecundidade e sobrevivência comparando com a testemunha negativa.

Santos *et al.* (2024) testaram o efeito dos extratos de pau-de-jangada (*Apeiba tibourbou* Aubl.) e cajueiro-bravo-do-campo (*Curatella americana* L.) na germinação de sementes de alface, avaliando os parâmetros: percentual de germinação, o tempo médio de germinação e o índice de velocidade de germinação. Testando cinco concentrações diferentes dos extratos de cada uma das plantas, variando de 0% (Tratamento controle) à 100% do bioinsumo, obtiveram que os extratos de ambas as espécies vegetais mostraram potencial fitotóxico, especialmente em concentrações mais altas, retardando a germinação das sementes de alface. Esse resultado indica um uso potencial desses extratos de plantas na inibição da germinação de plantas indesejadas, podendo substituir o uso de herbicidas.

Varenholt & Krupek (2024) buscaram avaliar a influência de extratos de macroalgas de água doce (*Oedogonium* sp.) na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de couve (*Brassica oleraceae* L.). Para isso, foram utilizados extratos de algas em diferentes concentrações (0%, 1%, 5%, 10%) para tratar sementes de couve, observando a germinação e o crescimento inicial das plântulas. Os autores concluíram que o extrato de algas teve um efeito negativo na germinação das sementes de couve, mas mostrou uma tendência positiva no desenvolvimento inicial das plântulas, especialmente no crescimento da parte aérea (caule e folhas).

Farias *et al.* (2024) testaram o uso de três bioestimulantes comerciais no melão (Goldex, McLaren), sendo eles Acadian® (*Ascophyllum nodosum*), Folicist®

(*Ascophyllum nodosum*, alfafa, ácido fólico e glicina betaína) e Nov@® (fitosaponinas, polissacarídeos, ácidos fúlvicos, aminoácidos e glicina-betaína). Eles concluíram que os bioestimulantes aumentaram a produtividade e o número de frutos por planta, promovendo adaptações fisiológicas que permitiram as plantas se adaptarem às condições semiáridas da região, sendo que a cultivar ‘McLaren’ teve melhor desempenho fisiológico e bioquímico, enquanto ‘Goldex’ apresentou maior rendimento.

3.4 Controle biológico em hortaliças

3.4.1 Controle biológico de pragas

O controle biológico de pragas por meio de bioinsumos é uma prática já consolidada dentro da agricultura sustentável e tem ganhado crescente adesão em sistemas tanto orgânicos quanto convencionais. Inseridos no mercado de insumos agrícolas, os bioinsumos para controle biológico consistem em tecnologias que utilizam agentes biológicos — como microrganismos (fungos e bactérias) e macrorganismos (vespas, ácaros e outros inimigos naturais) — como ingredientes ativos no manejo de pragas e doenças. Essas tecnologias apresentam vantagens significativas ao promoverem a sustentabilidade da produção agrícola, principalmente pela redução do uso intensivo de defensivos químicos. No entanto, seu desenvolvimento ainda enfrenta desafios importantes. Entre eles, destaca-se a resistência cultural de parte dos produtores, habituados ao uso de agrotóxicos e, muitas vezes, sem acesso adequado à transferência de tecnologia e capacitação sobre o uso de agentes biológicos. Outros entraves envolvem questões logísticas e estruturais, como a disponibilidade, a qualidade, o transporte e o armazenamento dos bioinsumos, além das exigências impostas pelos marcos regulatórios (PARRA *et al.*, 2024).

Os microrganismos utilizados como biopesticidas podem ser classificados em diferentes categorias, de acordo com sua natureza e modo de ação. Entre as bactérias, destacam-se os gêneros *Chromobacterium*, *Pseudomonas* e *Yersinia*, que atuam por meio da produção de metabólitos tóxicos ou pela indução de resistência sistêmica nas plantas. No grupo dos fungos entomopatogênicos, os gêneros mais

utilizados incluem *Beauveria*, *Metarhizium*, *Paecilomyces*, *Lecanicillium*, *Verticillium* e *Hirsutella*, reconhecidos por sua capacidade de infectar e matar uma ampla gama de insetos praga. Esses organismos representam alternativas promissoras aos pesticidas sintéticos, sendo considerados pilares no desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis (ADELEKE *et al.*, 2022; AYILARA *et al.*, 2023).

O mecanismo de ação dos fungos entomopatogênicos baseia-se na germinação dos esporos na cutícula do inseto, penetração por ação enzimática (com produção de quitinases, proteases e lipases), proliferação no hemocele e consequente morte do hospedeiro por toxinas e destruição tecidual (ALVES, 1998; INGLIS *et al.*, 2001). Esses fungos também podem reduzir a alimentação e a reprodução dos insetos antes mesmo de causar sua morte, afetando o comportamento da praga.

O *Bacillus thuringiensis*, uma das bactérias mais utilizadas comercialmente, age por meio da produção de proteínas cristalinas (Cry e Cyt) que, quando ingeridas, se ligam a receptores no intestino dos insetos, causando lise celular e levando à morte do organismo-alvo (BRAVO *et al.*, 2011). Essa bactéria é eficaz principalmente contra larvas de Lepidoptera, Diptera e Coleoptera, apresentando alta seletividade e segurança para humanos e inimigos naturais.

Os extratos vegetais também têm grande importância no manejo de pragas. Substâncias obtidas de espécies como *Azadirachta indica* (nim), *Cymbopogon citratus* (capim-limão), alho (*Allium sativum*), pimenta (*Capsicum* spp.) e arruda (*Ruta graveolens*) apresentam ação inseticida, repelente e redutora da oviposição (TACALITI *et al.*, 2024). O composto azadiractina, por exemplo, presente no nim, interfere no sistema endócrino dos insetos, inibindo a ecdise e a reprodução.

As perspectivas para o uso de bioinsumos no controle de pragas são bastante promissoras, especialmente com o avanço de formulações mais estáveis e de fácil aplicação. A utilização integrada de bioinsumos com práticas agroecológicas e sistemas de manejo integrado de pragas (MIP) tende a aumentar a eficiência dos controles e a reduzir a dependência de inseticidas sintéticos. Além disso, a produção de bioinsumos *on farm* e a ampliação de biofábricas comunitárias têm potencial para

democratizar o acesso a esses insumos, especialmente entre agricultores familiares (ARAÚJO & BALSAMO, 2024).

Artola-Díaz *et al.* (2020) avaliaram a eficácia de cinco tratamentos biológicos no manejo das pragas mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e mosca-minadora (*Liriomyza* spp.) no cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). O estudo, conduzido em San Isidro entre 2017 e 2018, testou os bioinsumos *Gliricidia sepium*, *Paecilomyces fumosoroseus*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Azadirachta indica*, além de um controle convencional. Os resultados demonstraram que *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* foram os mais eficazes no controle de adultos de *B. tabaci*, enquanto *P. fumosoroseus* apresentou maior eficiência na redução da população de *Liriomyza* spp.

Os autores evidenciam que a aplicação desses insumos biológicos não apenas reduz significativamente as populações de pragas, mas também contribui para a saúde geral das plantas e do solo. O estudo ressalta a viabilidade dos bioinsumos como alternativa aos pesticidas químicos tradicionais, destacando seus benefícios ambientais e agronômicos.

3.4.2 Controle biológico de doenças

O controle de doenças na agricultura com o uso de bioinsumos tem ganhado destaque como alternativa sustentável aos defensivos químicos. Os bioinsumos utilizados para essa finalidade compreendem microrganismos com atividade antagonista, extratos vegetais com propriedades antifúngicas ou antibacterianas, e compostos orgânicos indutores de resistência. Dentre os microrganismos mais estudados para o controle biológico destacam-se fungos como *Trichoderma* spp. e *Beauveria bassiana*, além de bactérias como *Bacillus* spp. e *Pseudomonas* spp. (MONTEIRO *et al.*, 2023; HAAS & DÉFAGO, 2005).

Os mecanismos de ação desses bioinsumos são variados e podem incluir a produção de metabólitos antimicrobianos, como antibióticos e enzimas degradadoras da parede celular de patógenos; competição por espaço e nutrientes na rizosfera; parasitismo direto sobre o patógeno e indução de resistência sistêmica

na planta hospedeira (LORITO *et al.*, 2004; HAAS & DÉFAGO, 2005). Por exemplo, espécies de *Trichoderma* spp. são capazes de produzir compostos voláteis e enzimas como quitinases e glucanases, que atuam diretamente sobre estruturas fúngicas, além de ativar genes de defesa nas plantas (SOARES *et al.*, 2019; LORITO *et al.*, 2004).

As bactérias do gênero *Bacillus*, especialmente *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens*, também têm se mostrado eficazes no controle de doenças causadas por fungos e bactérias fitopatogênicas. Além da produção de substâncias antimicrobianas, essas bactérias promovem o crescimento vegetal e aumentam a tolerância das plantas ao estresse (MONTEIRO *et al.*, 2023). Já as *Pseudomonas* spp., como *P. fluorescens*, atuam por meio da síntese de sideróforos e antibióticos, inibindo o desenvolvimento de patógenos radiculares (HAAS & DÉFAGO, 2005).

Outro grupo importante são os extratos vegetais, como os obtidos a partir de *Azadirachta indica* (nim), alho, pimenta e outras espécies com propriedades bioativas. Esses extratos atuam como fungicidas ou bactericidas naturais e apresentam a vantagem de serem biodegradáveis e com baixa toxicidade ambiental (TACALITI *et al.*, 2024). A integração de agentes biológicos com outras práticas de manejo integrado de doenças (MID), o avanço na formulação de produtos mais estáveis e eficazes e a adoção de biofábricas nas propriedades devem ampliar sua adoção na agricultura convencional e orgânica.

O controle de doenças promovido por bactérias benéficas representa uma estratégia promissora dentro do manejo biológico na agricultura. Espécies como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* e *Streptomyces* spp. atuam de forma eficaz contra diversos fitopatógenos por meio da produção de antibióticos, compostos voláteis e enzimas líticas que degradam a parede celular de fungos e bactérias patogênicas. Além disso, essas bactérias competem com os patógenos por espaço e nutrientes na rizosfera e, em muitos casos, induzem resistência sistêmica nas plantas, ativando seus mecanismos de defesa mesmo na ausência do patógeno. A utilização dessas bactérias como bioinsumos tem se mostrado eficiente no controle de doenças em hortaliças, contribuindo para a redução do uso de defensivos químicos e para o aumento da sustentabilidade dos sistemas de produção (GOMES *et al.*, 2022).

Monteiro *et al.* (2023) realizaram um estudo com o objetivo de identificar bactérias antagonistas capazes de inibir o crescimento do fungo *Corynespora cassiicola*, agente causal da mancha-alvo, doença que compromete diversas culturas, incluindo o tomateiro (*Solanum lycopersicum*). A pesquisa foi conduzida na Estação Experimental de Hortaliças Dr. Alejo von Der Pahlen e na Embrapa Amazônia Ocidental. Inicialmente, 60 amostras bacterianas distintas foram testadas em laboratório quanto à capacidade de inibição do fungo, sendo selecionados três isolados com maior eficiência.

Posteriormente, esses isolados bacterianos foram identificados como pertencentes às espécies *Bacillus amyloliquefaciens*, *Microbacterium resistens* e *Stenotrophomonas maltophilia*. Entre os três, *Bacillus amyloliquefaciens* demonstrou o maior potencial, inibindo 75,73% do crescimento do fungo *in vitro* e reduzindo a severidade da doença em 56% das plantas. Além dos ensaios laboratoriais, os autores realizaram testes em casa de vegetação, avaliando a eficácia das bactérias quando aplicadas de forma preventiva, simultânea e curativa à inoculação do fungo. Os resultados demonstraram que o isolado derivado de *Bacillus amyloliquefaciens* apresentou o melhor desempenho no controle da mancha-alvo no tomateiro em todas as modalidades de aplicação.

Esses achados evidenciam o potencial do uso de bactérias antagonistas como estratégia promissora no manejo fitossanitário da cultura do tomate, promovendo uma agricultura mais sustentável e reduzindo a dependência de fungicidas químicos.

Também buscando o controle de um fungo fitopatogênico, Abreo *et al.* (2021) estudaram o efeito das bactérias *Serratia ureilytica* (ILBB 145), *Serratia bockelmannii* (ILBB 162) e *Serratia nevi* (ILBB 219) no controle do fungo *Pythium cryptoirregulare* causador do “dumping-off” no tomateiro. Os autores depois de realizarem testes em laboratório e em estufa concluíram que a cepa bacteriana *Serratia ureilytica* (ILBB 145) foi mais eficiente no controle do fungo *P. cryptoirregulare*, sendo capaz de inibir completamente o desenvolvimento dele *in vitro* e também aumentando a germinação e controlando o “dumping-off” das sementes tratadas com *S. ureilytica*.

Soares *et al.* (2019) investigaram o potencial de biocontrole de dois isolados de *Trichoderma* spp. contra o fungo fitopatogênico *Fusarium solani*, agente causal da podridão radicular na cultura da melancia (*Citrullus lanatus*). O estudo, conduzido na Universidade Federal de Campina Grande, avaliou a eficácia dos isolados *Trichoderma* sp1 e sp2 por meio de testes *in vitro* e *in vivo*.

Nos ensaios *in vitro*, ambos os isolados apresentaram atividade antagônica significativa sobre o crescimento micelial de *F. solani*, com inibição de 56,8% para *Trichoderma* sp1 e 48,4% para *Trichoderma* sp2. Esses resultados evidenciam a capacidade competitiva dos isolados, possivelmente associada a mecanismos como antibiose, parasitismo e competição por nutrientes.

Nos testes em plantas, *Trichoderma* sp1 destacou-se por reduzir a severidade da podridão radicular e promover melhorias fisiológicas nas plantas tratadas, como o aumento da taxa fotossintética, da transpiração e da condutância estomática. Os melhores resultados foram observados nas interações com maior concentração do antagonista e menor carga do patógeno, indicando a eficácia do tratamento preventivo. Esses achados sugerem que *Trichoderma* sp1 é um agente de biocontrole promissor para o manejo sustentável de doenças radiculares na melancieira, não apenas pelo controle do patógeno, mas também pelo estímulo ao crescimento vegetal, reduzindo a necessidade do uso de fungicidas químicos.

4. Desafios no uso de bioinsumos em hortaliças

Os estudos analisados nesta revisão demonstram o potencial promissor dos bioinsumos na produção de hortaliças, tanto como bioestimulantes e biofertilizantes quanto como agentes de controle biológico. No entanto, observa-se que os resultados variam consideravelmente de acordo com a espécie vegetal, o tipo de bioinsumo, a cepa utilizada e as condições de cultivo. Como pode ser observado nos trabalhos utilizados nessa revisão e reforçado no resumo apresentado na Tabela 1, o resultado da utilização de microrganismos promotores de crescimento vegetal não depende somente da capacidade de promoção de crescimento do organismo, mas também de fatores bióticos e abióticos, tais como temperatura, umidade, microbiota nativa e até mesmo da capacidade de interação entre o microrganismo e a planta.

Tabela 1. Resumo de trabalhos envolvendo bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) em hortaliças.

Autor(es)	Cultura(s)	Bioinsumo(s) aplicado(s)	Resultados principais
Silva <i>et al.</i> (2022)	Melancia	<i>B. subtilis</i> + <i>B. megaterium</i>	Aumento na germinação e biometria das plântulas.
Cassimiro <i>et al.</i> (2022)	Capuchinha, bortalha, vinagreira	<i>Burkholderia</i> spp. + <i>Azospirillum brasilense</i> + pó de rocha	Aumento de peso fresco na capuchinha; sem efeito significativo nas outras espécies.
Dalmas <i>et al.</i> (2020)	Beterraba	<i>Azospirillum brasilense</i>	Incremento de até 59,8% na produção e maior desenvolvimento radicular.
Rocha <i>et al.</i> (2019)	Batata	Isolados de <i>Bacillus</i> spp.	Cepas produtoras de AIA e fixadoras de N aumentaram produção em até 3 t/ha.
Passos <i>et al.</i> (2023)	Tomate	<i>A. brasilense</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>Bacillus</i> spp.	<i>A. brasilense</i> e <i>Bacillus</i> (mix) aumentaram número de frutos, folíolos e altura das plantas.
Venceslau <i>et al.</i> (2021)	Alface	<i>Herbaspirillum</i> , <i>Gluconacetobacter</i>	Inoculação inibiu o crescimento de alface.

No caso das BPCVs, trabalhos como os de Dalmas *et al.* (2020), Cassimiro *et al.* (2022) e Passos *et al.* (2023) mostram ganhos significativos em parâmetros como germinação, biomassa e produtividade, especialmente com *Azospirillum brasilense*, *Bacillus* spp. e *Burkholderia* spp. No entanto, estudos como o de Venceslau *et al.* (2021) indicam que nem todas as combinações planta-bactéria resultam em benefícios, reforçando que a interação é altamente específica e dependente do contexto ambiental.

O mesmo padrão se observa nos estudos com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Pesquisas como as de Silva *et al.* (2020) e Rosa & Reis (2022) relatam benefícios em germinação, crescimento aéreo e absorção de nutrientes, mas também destacam que solos muito férteis podem inibir a simbiose, e que a resposta das plantas à inoculação varia entre espécies. Esses fatores precisam ser levados em consideração na adoção prática desses bioinsumos por agricultores.

Na área de controle biológico, o uso de fungos entomopatogênicos como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* mostrou boa eficácia no controle de pragas como a mosca-branca e a mosca-minadora (ARTOLA-DÍAZ *et al.*, 2020). Já no controle de doenças, agentes como *Bacillus amyloliquefaciens* e *Trichoderma* spp. se destacaram na supressão de fungos fitopatogênicos como *Corynespora cassiicola* e *Fusarium solani*, segundo Monteiro *et al.* (2023) e Soares *et al.* (2019). Esses bioinsumos apresentam vantagens em relação aos defensivos químicos, como menor toxicidade ambiental e maior segurança para o aplicador, mas ainda enfrentam desafios em relação à estabilidade das formulações e à adaptação às condições de campo.

Em relação aos extratos vegetais e algas, os estudos revisados mostram efeitos variados. Enquanto extratos de *Lippia alba* e macroalgas demonstraram efeitos positivos no crescimento e na adaptação fisiológica das plantas (FARIAS *et al.*, 2024; VARENHOLT & KRUPEK, 2024), outros como os de *Curatella americana* e *Apeiba tibourbou* indicaram fitotoxicidade em altas concentrações (SANTOS *et al.*, 2024).

Portanto, embora os bioinsumos representem uma alternativa sustentável e tecnicamente viável para a produção de hortaliças, a literatura aponta que sua

adoção deve ser feita de forma criteriosa. A escolha dos produtos deve considerar a cultura, as condições edafoclimáticas e o manejo agrícola, a fim de se obter os melhores resultados produtivos. Os bioinsumos configuram-se como uma estratégia para produzir alimentos de forma mais econômica e ambientalmente sustentável; contudo, ainda são necessários estudos adicionais para identificar as melhores alternativas específicas para cada cultura e maior treinamento técnico no manuseio dos bioinsumos em campo.

5. Perspectivas futuras sobre o uso de bioinsumos em hortaliças

A crescente exigência do mercado consumidor por alimentos mais saudáveis, livres de resíduos químicos e com menor impacto ambiental, aliada à busca dos produtores por alternativas mais eficazes e sustentáveis para o controle de pragas e doenças, impulsiona o avanço dos bioinsumos na horticultura. Os defensivos químicos têm perdido eficiência de forma acelerada, em razão do aumento da resistência de organismos-alvo, o que reforça a necessidade de estratégias biológicas e integradas de manejo. Além disso, a possibilidade de redução dos custos de produção e a melhoria da saúde do solo também têm motivado a adoção de bioinsumos. Mesmo com uma área cultivada inferior às grandes commodities, as hortaliças já figuram entre as dez cadeias que mais utilizam bioinsumos no país (CROPLIFE BRASIL, 2024).

Além da pressão de mercado, políticas públicas e iniciativas regulatórias também têm potencial de estimular esse crescimento. A aprovação da Lei nº 15.070, de 2024, que visa regulamentar a produção, comercialização e uso de bioinsumos, representa um passo importante para o fortalecimento do setor. A possibilidade da criação de um selo específico, paralelo ao selo orgânico, voltado à identificação e valorização dos produtores que fazem o uso de bioinsumos e de outras práticas da chamada agricultura regenerativa tropical, como a rotação de culturas, a manutenção da palhada no solo entre outras medidas sustentáveis de produção agrícola, podem incentivar os produtores de hortaliças adotarem práticas agrícolas agroecológicas (LAJÚS, 2023).

Esse movimento também se alinha diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente aos ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 15 (Vida Terrestre). O uso crescente de bioinsumos na produção de hortaliças pode contribuir para sistemas produtivos mais resilientes e menos dependentes de insumos sintéticos, promovendo uma agricultura mais equilibrada, regenerativa e ambientalmente valorizada. No entanto, a consolidação desse modelo dependerá da ampliação do acesso a tecnologias, da capacitação técnica dos agricultores e de uma articulação eficaz entre pesquisa, extensão rural e políticas públicas, com a participação integrada de órgãos governamentais, instituições de ensino, sociedade civil organizada e iniciativa privada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho reúne uma gama de artigos publicados, que tratam sobre o uso de bioinsumos em hortaliças. Foram testados bioinsumos obtidos a partir de microrganismos e extratos vegetais e de algas, em diversas culturas de interesse. Dentre os vários trabalhos abordados, alguns não trouxeram resultados positivos, principalmente quando se tratava de germinação com uso de extratos vegetais, mas a maioria dos trabalhos demonstrou o grande potencial que os bioinsumos têm na agricultura.

A partir dessa revisão é possível concluir que o uso de bioinsumos tem grande potencial na produção de hortaliças, se mostrando uma excelente alternativa para uma produção mais saudável e sustentável de alimentos, diminuindo os impactos ambientais, ao mesmo tempo em que aumenta a produtividade e reduz os custos de produção. Destaca-se ainda, a necessidade de se realizar mais estudos focados no tema, permitindo resultados mais precisos para a grande variedade de culturas cultivadas no Brasil e no mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREO, E.; VALLE, D.; GONZÁLEZ, A.; ALTIER, N. Control of damping-off in tomato seedlings exerted by *Serratia* spp. strains and identification of inhibitory bacterial volatiles *in vitro*. **Systematic and Applied Microbiology**, v. 44, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2020.126177>.

ADELEKE, B. S.; AKINOLA, S. A.; ADEDAYO, A. A.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Synergistic relationship of endophyte-nanomaterials to alleviate abiotic stress in plants. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 1015897, 2022a. DOI: [10.3389/fenvs.2022.1015897](https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1015897).

AGROIN. Faturamento do mercado brasileiro de frutas e vegetais vai aumentar 33% em cinco anos. 2023. Disponível em: <https://www.agroin.com.br/noticias/28174/faturamento-do-mercado-brasileiro-de-frutas-e-vegetais-vai-aumentar-33-em-cinco-anos>.

ALVES, S. B. **Controle microbiano de insetos**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1998.

ALVES, R. T.; SPECHT, A.; MALAQUIAS, J. V. Eficiência de formulações de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill sobre a formiga-cortadeira *Atta laevigata* (Smith) em laboratório. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 16 p. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, 389**). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1140531/1/Bolpd-389.pdf>.

ARAUJO, S. E. E. S.; BALSAMO, R. Biossegurança aplicada à produção de bioinsumos: estratégia para redução do uso de insumos sintéticos. **Curso de Agronomia**, 2023. DOI: [10.34117/bjdv6n8-380](https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-380).

ARTOLA-DÍAZ, A. J.; DUARTE-HERRERA, M. A.; RAUDEZ-CENTENO, D.; ESTRADA-SANTANA, D. C. Efecto de bioinsumos en la dinámica poblacional de *Bemisia tabaci* (GEN) *Liriomyza* spp, EN EL cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*, L), San Isidro 2017-2018. **Revista iberoamericana de bioeconomía y cambio climático**, [S. l.], v. 6, n. 12, p. 1456–1480, 2020. DOI:

10.5377/ribcc.v6i12.9932.

Disponível

em:

<https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/article/view/345>.

AVIZ, R. O.; SILVA, N. S. G.; SANTOS, W. M.; AMARAL, E. M.; SANTOS, J. P. A. S.; SILVA, J. O. N.; SALVADOR, K. R. S.; LEITE, R. M. C.; LEITE, M. L. M. V.; SANTOS, C. E. R. S.. Eficiência de fixação de n por rizobactérias nativas do semiárido. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.10, p.81-92, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0008>

AYILARA, M. S.; ADELEKE, B. S.; AKINOLA, S. A.; FAYOSE, C. A.; ADEYEMI, U. T.; GBADEGESIN, L. A.; OMOLE, R. K.; JOHNSON, R. M.; UTHMAN, Q. O.; BABALOLA, O. O. Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: a case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1040901, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1040901>.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77–136, 2010.

Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8).

BICUDO, B. S.; TEISCHMANN, G. A.; JARDINI, D. C. Adubação fosfatada associada ao uso de microrganismos solubilizadores de fosfatos na cultura da alface. Várzea Grande: UNIVAG – **Centro Universitário de Várzea Grande**, 2023.

BRASIL. **Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002**. Regulamenta a Lei nº 7.802, de 1989, que dispõe sobre agrotóxicos e afins. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4074.htm.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 27 de maio de 2020. Seção 1, p. 3.

BRASIL. **Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024**. Institui o marco legal dos bioinsumos. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/marco-regulatorio-1/marco-regulatorio-lei-no-15-070-de-23-de-dezembro-de-2024>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Líder global na utilização de bioinsumos, Brasil apresenta panorama regulatório de registros biológicos na ABIM. Brasília: **MAPA**, **2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/lider-global-na-utilizacao-de-bioinsumos-brasil-apresenta-panorama-regulatorio-de-registros-biologicos-na-abim>.

BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, n. 7, p. 423–431, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2011.02.006>.

BHUYAN, P. P.; NAYAK, R.; JENA, M.; PRADHAN, B. Convolutad role of cyanobacteria as biofertilizer: an insight of sustainable agriculture. **Vegetos**, v. 36, p. 309–321, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42535-022-00415-1>.

CARGNELUTTI, C. S.; MOURA, R. B.; LUCCHESI, O. A.; SCHIAVO, J.; MORI, L. D. Inoculação com *Azospirillum brasilense* em cultivares de pepino submetidas a cultivo em base agroecológica. **Cadernos de Agroecologia**, v. 17, n. 3, 2022.

CASSIMIRO, A. A.; CARVALHO, G. A.; SILVA, L. F. L.; FLORENTINO, L. A.; OLIVEIRA, F. E.; LIMA, F. M. D. Bactérias promotoras de crescimento vegetal e uso de pó de rocha na produção inicial de hortaliças não convencionais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, e13311426469, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.26469>.

CHULZE, S. N. Agentes de controle biológico de origem microbiana para reduzir o impacto de fungos patógenos e toxicogênicos. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 55, p. 1-2, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.02.001>.

COMPANT, S.; DUFFY, B.; NOWAK, J.; CLÉMENT, C.; AIT BARKA, E. *Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 9, p. 4951–4959, 2005.

Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005>.

CNA BRASIL. **Valor Bruto da Produção - VBP da Agropecuária Brasileira: 2024 e 2025 – Valores Reais (janeiro de 2025, IGP-DI)**. Brasília: **Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil**, 2025. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: hortigranjeiros – 1º trimestre de 2024. Brasília: **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Centrais de Abastecimento: Comercialização total de frutas e hortaliças de 2022**. Brasília, DF, v. 6, 2023. Disponível em: www.conab.gov.br/info-agro/hortigranjeiros-prohort.

CORREA, L. X.; GONÇALVES, D. C.; RIBEIRO, G. M.; CABRAL, S. O.; RIBEIRO, W. R.; MORAES, W. B.; XAVIER, A. S. Isolamento de bactérias solubilizadoras de fosfato: potenciais novos bioestimulantes para agricultura. In: Encontro Latino Americano De Iniciação Científica (XXVII); Encontro Latino Americano De Pós-Graduação (XXIII); Encontro De Iniciação À Docência (XIII), 2023, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2023. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.18066/inic0876.23>.

CORTAT, L. H.; RANGEL, D. S.; LAMBERT, J. C.; GOMES, J. P. A.; DA SILVA, M. A. B.; FIGUEIREDO, J. S. M.; ARAUJO, O. P.; SOUZA, M. N. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA): alternativa agroecológica para recuperação biológica dos solos degradados. In: SOUZA, M. N. (Org.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. v. 3. Canoas: Mérida Publishers, 2022. p. 158-183. Disponível em: <http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c5>.

CROPLIFE BRASIL. Mercado de bioinsumos cresceu 15% na safra 2023-2024. 2024. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/mercado-de-bioinsumos-cresceu-15-na-safra-2023-2024>.

CROPLIFE BRASIL. Regulamentação de bioinsumos no Brasil. 2023. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/bioinsumos/regulamentacao/>.

DALMAS, É. J. G.; MANTELI, C.; COSTA, É. K.; WARZOCHA, H. B.; FLORENCIO, J. Desenvolvimento e produtividade de beterraba inoculada via sementes com *Azospirillum brasilense*. **Revista Cultivando o Saber**, v. 13, n. 1, p. 18-29, 2020.

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

EMBRAPA. A cadeia produtiva de hortaliças e o valor bruto da produção. Brasília: **Embrapa**, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/78089493/artigo---a-cadeia-produtiva-de-hortalicas-e-o-valor-bruto-da-producao>.

EMBRAPA. Frutas e hortaliças. Brasília: **Embrapa**, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortalicas>.

EMBRAPA. Insumos biológicos. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/portfolio/insumos-biologicos>.

FARIAS, R. M.; GRANGEIRO, L. C.; SOUZA, V. F. L.; MORAIS, E. G.; OLIVEIRA, R. R. T.; PEREIRA, D. F.; SOUZA, B. P.; CARMO, L. H. A.; PAIVA, L. G.; MEDEIROS, G. B. F.; SOUZA, L. M. S.; COSTA, R. M. C. Physiology, biochemistry and yield of melon in a semi-arid region with the application of biostimulants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 1, e283055, 2024.

GLICK, B. R. Introduction to Plant Growth-promoting Bacteria. In: **Beneficial Plant-Bacterial Interactions**. Cham: Springer, 2015.

GLICK, B. R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, Art. ID 963401, 2012.

GOMES, E. A.; LANA, U. G. P.; ALVES, V. M. C.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; GODINHO, B. T. V.; SOUSA, S. M. Mecanismos das bactérias promotoras do crescimento de plantas na mitigação dos efeitos do déficit hídrico. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2022. 38 p. (Documentos, 267).

HAAS, D.; DÉFAGO, G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. **Nature Reviews Microbiology**, v. 3, p. 307–319, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrmicro1129>.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species — opportunistic avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, p. 43–56, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>.

HWANG, H. H.; CHIEN, P. R.; HUANG, F. C.; HUNG, S. H.; KUO, C. H.; DENG, W. L.; CHIANG, E. P. I.; HUANG, C. C. A Plant Endophytic Bacterium, *Burkholderia seminalis* Strain 869T2, Promotes Plant Growth in Arabidopsis, Pak Choi, Chinese Amaranth, Lettuces, and Other Vegetables. **Microorganisms**, v.9, n.8, p.1703, 2021.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2001. 32 p. (Circular Técnica, 35). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/459673/1/circTec35.pdf>.

INGLIS, G. D.; GOETTEL, M. S.; BUTT, T. M.; STRASSER, H. Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In: BUTT, T. M.; JACKSON, C. W.; MAGAN, N. (eds.). **Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential**. Wallingford: CABI Publishing, 2001. p. 23–69.

KANG, S.-M.; KHAN, A. L.; WAQAS, M.; ASAF, S.; LEE, K.-E.; PARK, Y.-G.; KIM, A.-Y.; KHAN, M. A.; YOU, Y.-H.; LEE, In-Jung. Integrated phytohormone production by the plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus tequilensis* SSB07 induced thermotolerance in soybean. **Journal of Plant Interactions**, v. 14, n.1, p. 416-423, 2019.

KHONDOKER, M. G. D.; TUMPA, F. H.; SULTANA, A.; AKTER, M. A.; CHAKRABORTY, A. Plant microbiome – an account of the factors that shape community composition and diversity. *Current Plant Biology*, [S.l.], v. 23, p. 100161, 2020. ISSN 2214-6628. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100161>

LAURINDO, L. K.; SOUZA, T. A. F.; SILVA, L. J. R.; CASAL, T. B.; KORMANN, S.; PIRES, K. J. C. **Capítulo 1. Fungos micorrízicos arbusculares**. ResearchGate, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342515452_Capitulo_1_Fungos_micorrizicos_arbusculares.

LAJÚS, C. R.; BUSNELLO, F. J.; SAUER, A. V.; COSTELLA, M. F. (org.). Tecnologia e gestão da inovação em sistemas de produção sustentáveis. Campina Grande: **EPTEC**, 2023. 226 f.: il. color.

LOPES, E. A. P.; SILVA, A. D. A.; MERGULHÃO, A. C. E. S.; SILVA, E. V. N.; SANTIAGO, A. D.; FIGUEIREDO, M. V. B. CO-INOCULATION OF GROWTH PROMOTING BACTERIA AND *Glomus clarum* IN MICROPROPAGATED CASSAVA PLANTS. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 152–166, jan. 2019.

MA, Y.; OLIVEIRA, R. S.; FREITAS, H.; ZHANG, C. Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: relevance for phytoremediation. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 918–937, 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.00918.

MARTINS, A. L. L.; MELO, B. S.; SILVA, C. L. S.; FERNANDES, H. E.; QUEIROZ, A. S. B.; CHAGAS JÚNIOR, A. F. Desempenho de mudas de alface sob doses de inoculante biológico solubilizador de fósforo. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 8, Ed. Especial, e022007, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v8i2.7945>.

MAZZUCO, V. R.; TORRES JÚNIOR, C. DA C.; BOTELHO, G. R. Fluorescent *Pseudomonas* spp. e *Bacillus* spp. para solubilização de fosfato e promoção de crescimento em alho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, p. e75301, 2023.

MEHROTRA, M.; TRIPATHI, B. N. *Cyanobacteria as a biofertilizer for sustainable agriculture*. In: RAI, A. K. et al. (Org.). *Cyanobacteria: an economic perspective*. Chichester: Wiley, 2015. p. 95–109. MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (eds.). *Trichoderma: uso na agricultura*. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 536 p. ISBN 978-85-7035-943-8

MORDOR INTELLIGENCE. Fruits and vegetables industry in Brazil - **Industry**. 2023. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/fruits-and-vegetables-industry-in-brazil-industry>.

MONTEIRO, G. P.; VASCONCELOS, A. S.; HANADA, R. E.; BLIND, A. D.; SILVEIRA, T. M. *Bacillus amyloliquefaciens*, *Microbacterium Resistens* e *Stenotrophomonas Maltophilia* no biocontrole de *Corynespora Cassicola* na cultura

do tomate. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 4677-4697, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n1-324>.

PASSOS, E. G. C.; KOVALSKI, E.; SOUZA, E.; KRAEMER, A. L.; FARIAS, V. J.; CRUZ, S. P. Uso de inoculantes em tomate para avaliação de redução de fertilizantes nitrogenados e potássicos. **Revista rLAS**, v. 5, n. 3, 2023.

PARRA, J. R. P.; PINTO, A. S.; NAVA, D. E.; OLIVEIRA, R. C.; DINIZ, A. J. F. Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2024.

PEREIRA, V. S.; GIONGO, V.; LIMA, R. L. F. A. Micorrizas Arbusculares como Indicador Biológico para Seleção de Modelos de Agroecossistemas Multifuncionais: 2. Frutícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 3108-3124, 2021.

PEREIRA, S. R. ; PETRY, C. . Uso de microrganismos eficientes (EM) e Trichoderma na produção de beterraba (*Beta vulgaris*) em sistema de cultivo orgânico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/7742/5607>.

PATHAK, R.; PAUDEL, V.; SHRESTHA, A.; LAMICHHANE, J.; GAUCHAN, D. P. Isolation of phosphate solubilizing bacteria and their use for plant growth promotion in tomato seedling and plant. Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology, Dhulikhel, v. 13, n. 1, p. 48–55, 2019. Disponível em: <https://www.nepjol.info/index.php/KUSET/article/view/21284>.

RAMOS, G. S. *Metarhizium anisopliae*: conheça o fungo usado no controle biológico de pragas como brocas e cigarrinhas. **Agroadvance**, 2025. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-metarhizium-anisopliae-controle-biologico/>.

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; FRASCA, L. L. M.; FARIA, D. R.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; NASCENTE, A. S. Multifunctional microorganisms: use in agriculture. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. e50810212725, 2021. DOI:10.33448/rsd-v10i2.12725. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12725>.

ROCHA, N.; CLAROS, M.; CALISAYA, J. J.; ORTUÑO, N. Selección de bacterias endófitas tipo *Bacillus* como promotoras de crecimiento en el cultivo de papa variedad Huaycha (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena*). **Revista Latinoamericana de la Papa**, v. 23, n. 1, p. 14-34, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n116rc>.

ROSA, M. J.; REIS, J. M. R. Uso de micorrizas no crescimento do tomateiro cereja. **Revista Cerrado Agrociências**, v. 13, p. 48-56, 2022.

SALES, T. M.; OLIVEIRA, Y. M. B. ; OLINDA, D. R. . Fungos entomopatogênicos no controle em campo de *Frankliniella schultzei* (Trybom) (Thysanoptera: Thripidae) em alface. In: SILVA, Arinaldo Pereira (org.). *Manejo de pragas e doenças: a busca por formas sustentáveis de controle*. [S.l.]: **Editora Científica**, 2021. Cap. 4, p. 44–51. DOI: 10.37885/210906060.

SALEEM, S.; SEKARA, A.; POKLUDA, R. Serendipita indica — A review from agricultural point of view. *Plants*, **Basel**, v. 11, n. 24, p. 3417, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11243417>.

SANTOS, A. C. M. C.; LIMA, L. S.; CURY, G.; MOURA, F. B. P. Phytotoxic activity of *Apeiba tibourbou* Aubl. e *Curatella americana* L. aqueous extracts on seed germination of *Lactuca sativa* L. **Hoehnea**, v. 51, e032024, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-8906e032024>.

SANTOS, R. C.; FOKAR, M.; ROMAGNOLI, E. M.; AZIZ, M.; BENTO, J. M. S.; PARÉ, P. W. Monitoring a beneficial bacterium (*Bacillus amyloliquefaciens*) in the rhizosphere with arugula herbivory. **Rhizosphere**, v.18, n.100347, 2021.

SARMENTO, B. C. R. ; SEVERO, R.; ABUD, K. C. P.; SARMENTO, L. M. S.; LUSTOSA, D. C.; VIEIRA, T. A. Controle biológico de fungos causadores de doenças em hortaliças. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/7889>.

SHUKLA, P. S.; MANTIN, E. G.; ADIL, M.; BAJPAI, S.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. *Ascophyllum nodosum*-Based Biostimulants: Sustainable Applications in Agriculture for the Stimulation of Plant Growth, Stress Tolerance, and

Disease Management. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00655.

SILVA, K. R. C.; SOUZA, L. A. M.; SILVA, F. L. S.; AZEVEDO, J. L. X.; SILVA, I. A.; PINTO JUNIOR, F. F.; SILVA, B. G.; ANDRADE, H. A. F.; DOIHARA, I. P.; MATOS, R. R. S. S. *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium* in the initial growth of 'Sugar Baby' watermelon. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 13, p. e96111335034, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35034.

SILVA, M.; SIEGA, T. C.; FELICETI, M. L.; TOZETTO, L. C. Desempenho fisiológico de sementes olerícolas tratadas com micorriza endofítica. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 8, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n8-380.

SILVA, P. H. S.; NASCIMENTO, I. S. A.; COELHO, C. B.; SILVA, P. B.; LIMA, R. L. F. A. Micorrizas arbusculares em hortaliças das famílias Asteraceae, Aliaceae, Apiaceae, Amaranthaceae e Brassicaceae, cultivadas sob manejo orgânico. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 17143–17155, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-373>.

SINGH, S.; SINGH, V.; PAL, K. Importance of microorganisms in agriculture. **Climate and Environmental changes: Impact, Challenges and Solutions**, v. 1, p. 93-117, 2017.

SMITH, S. E.; READ, D. J. Mycorrhizal Symbiosis. 3. ed. Cambridge: **Academic Press**, 2008.

SOARES, M. G. O.; CEZAR, M. A.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; PEREIRA, F. H. F.; CARDOSO, T. A. L. Antagonismo de *Trichoderma* spp. a *Fusarium solani* e os efeitos na atividade fotossintética da melanciaira. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 17, n. 2, 2019.

TACALITI, M. S.; KIERNAN, A. R. M.; RICCI, E. M.; MARGARÍA, C. B.; VIÑA, S. Z.; TOCHO, E. F. Evaluación del aceite esencial de *Lippia alba* para el control del pulgón de la papa (Hemiptera) en el cultivo de lechuga. **Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Plata**, v. 123, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e137>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017. 888 p.

VARENHOLT, T. L.; KRUPPEK, R. A. Avaliação do extrato líquido de *Oedogonium* sp. na germinação e desenvolvimento inicial da couve (*Brassica oleraceae* L.). **Saúde e Ambiente**, v. 9, n. 3, p. 509-523, 2024. DOI: 10.17564/2316-3798.2024v9n3p509-523.

VENCESLAU, L. P.; LOPES, E. A. P.; BARBOSA, J. P. F.; CARDOZO, N. C. G. S.; SILVA, R. A. Efeito de bactérias promotoras de crescimento na alface crespa cultivar Veneranda. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 2, 2021.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 255, n. 2, p. 571–586, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>.

WICAKSONO, R. A.; MEILANA, N. I.; WIDYASTUTI, H. Effect of treating acid sulfate soils with phosphate solubilizing bacteria on germination and growth of tomato. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 18, n. 17, p. 8919, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/17/8919>.