

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO

JULIA FRANKE GRANZOTTO

VIABILIDADE DE BIOINSUMOS PRODUZIDOS A PARTIR DE
MICRORGANISMOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

ERECHIM

2026

JULIA FRANKE GRANZOTTO

**VIABILIDADE DE BIOINSUMOS PRODUZIDOS A PARTIR DE
MICRORGANISMOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Ciências Biológicas da
Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS),
como requisito para obtenção do título de
bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dra. Denise Cargnelutti

ERECHIM

2026

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Granzotto, Julia Franke

Viabilidade de Bioinsumos Produzidos a Partir de
Microrganismos: Uma Revisão Sistemática / Julia Franke
Granzotto. -- 2026.

34 f.:il.

Orientadora: Doutora Denise Cargnelutti

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Ciências Biológicas, Erechim, RS, 2026.

1. Bioinsumos. 2. Viabilidade Microbiana. 3.
Formulação. 4. Shelf-life. 5. Agricultura Sustentável.
I. Cargnelutti, Denise, orient. II. Universidade Federal
da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

JULIA FRANKE GRANZOTTO

**VIABILIDADE DE BIOINSUMOS PRODUZIDOS A PARTIR DE
MICRORGANISMOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Ciências Biológicas da
Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS),
como requisito para obtenção do título de
bacharel em Ciências Biológicas.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 03/07/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Denise Cargnelutti – UFFS
Orientadora

Prof. Ms. Gerônimo Rodrigues Prado – UERGS
Avaliador

Prof. Dr. Rafael Imlau Cardoso – UFFS
Avaliador

RESUMO

Os bioinsumos produzidos a partir de microrganismos têm se destacado como uma alternativa sustentável aos insumos químicos convencionais, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para o fortalecimento da agricultura sustentável. Entretanto, a eficácia desses produtos depende da manutenção da viabilidade microbiológica durante o armazenamento, sendo influenciada por fatores como formulação, temperatura e tecnologias de proteção. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, os principais fatores relacionados à viabilidade, estabilidade e tempo de prateleira de bioinsumos microbianos. As buscas foram realizadas nas bases de dados Web of Science e Scopus, considerando publicações dos últimos dez anos. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, foram selecionados 15 artigos para compor a revisão. Os estudos demonstraram que temperaturas moderadas ou reduzidas favorecem a manutenção da viabilidade microbiológica, enquanto temperaturas elevadas aceleram sua perda. Além disso, estratégias como encapsulamento, utilização de osmoprotetores, agentes carreadores e diferentes tipos de formulação contribuíram para aumentar a estabilidade dos microrganismos e prolongar o shelf-life dos produtos. Observou-se ainda que não existe uma formulação universalmente superior, uma vez que sua eficiência varia conforme o microrganismo e as condições de armazenamento. Conclui-se que a manutenção da qualidade microbiológica dos bioinsumos depende da interação entre formulação, tecnologias de proteção e condições de armazenamento, destacando-se a necessidade de padronização dos métodos de avaliação e do desenvolvimento de novas estratégias que ampliem a estabilidade desses produtos.

Palavras-chave: agricultura sustentável; estabilidade microbiológica; formulação; armazenamento; *shelf-life*.

ABSTRACT

Microbial bioinputs have emerged as a sustainable alternative to conventional chemical inputs, contributing to the reduction of environmental impacts and to the advancement of sustainable agriculture. However, the effectiveness of these products depends on maintaining microbial viability during storage, which is influenced by factors such as formulation, temperature, and protective technologies. In this context, the present study aimed to analyze, through a systematic literature review, the main factors related to the viability, stability, and shelf life of microbial bioinputs. Searches were conducted in the Web of Science and Scopus databases, considering publications from the last ten years. After applying the eligibility criteria, 15 articles were selected for inclusion in the review. The studies demonstrated that moderate or low storage temperatures favored the maintenance of microbial viability, whereas higher temperatures accelerated viability loss. In addition, strategies such as encapsulation, osmoprotectants, carrier agents, and different formulation types contributed to increasing microbial stability and extending product shelf life. The findings also showed that there is no universally superior formulation, as its performance varies according to the microorganism and storage conditions. It is concluded that maintaining the microbiological quality of bioinputs depends on the interaction between formulation, protective technologies, and storage conditions, highlighting the need for standardized viability assessment methods and the development of new strategies to further improve product stability.

Keywords: sustainable agriculture; microbiological stability; formulation; storage; shelf life.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxograma do processo de seleção dos artigos incluídos na revisão sistemática....	17
Figura 2: Produção científica anual dos documentos obtidos na busca bibliográfica.	18
Figura 3: Produção acumulada das principais fontes de publicação identificadas na busca bibliográfica.....	19
Figura 4: Nuvem de palavras elaborada a partir das palavras-chave dos estudos obtidos na busca bibliográfica.....	19
Figura 5: Distribuição percentual dos estudos selecionados segundo o principal tipo de bioinsumo investigado.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Síntese dos artigos selecionados na revisão sistemática.....	22
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	JUSTIFICATIVA.....	12
3	PROBLEMA DE PESQUISA	14
4	OBJETIVOS.....	15
4.1	OBJETIVO GERAL	15
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
5	METODOLOGIA	16
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA	18
6.2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS ESTUDOS SELECIONADOS.....	20
6.3	MICROORGANISMOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE BIOINSUMOS	25
6.4	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE A VIABILIDADE MICROBIANA	25
6.5	EFEITO DAS FORMULAÇÕES NA ESTABILIDADE DOS BIOINSUMOS...	26
6.6	ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DA SOBREVIVÊNCIA MICROBIANA..	27
6.7	TEMPO DE ARMAZENAMENTO E <i>SHELF-LIFE</i> DOS BIOINSUMOS	28
7	CONCLUSÃO	30
8	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A agricultura constitui uma das atividades fundamentais para a sobrevivência humana, responsável pela produção de alimentos e matérias-primas que sustentam tanto sociedades antigas quanto modernas. Desde seu surgimento no período neolítico, quando comunidades humanas deixaram o nomadismo e passaram a cultivar a terra, essa atividade evoluiu acompanhando mudanças técnicas, sociais e econômicas, permitindo o crescimento populacional e a formação das primeiras cidades (Lima *et al.*, 2019).

Ao longo da história agrícola, a relação entre plantas cultivadas, insetos e patógenos se transformou conforme os humanos modificaram ecossistemas, simplificaram paisagens e expandiram a prática do cultivo. Essas mudanças criaram condições favoráveis ao surgimento e à intensificação das pragas, que passaram a acompanhar os cultivos desde a domesticação das plantas até a consolidação das grandes monoculturas modernas, tornando-se parte central das estratégias de controle e manejo agrícola (Rodrigues *et al.*, 2025).

Com o avanço dessas práticas, os agrotóxicos passaram a ser utilizados em larga escala durante a Revolução Verde, nas décadas de 1960 e 1970, quando foram promovidos como solução para aumentar a produtividade e combater a fome. No entanto, embora inicialmente vistos como um progresso tecnológico, esses produtos rapidamente evidenciaram efeitos negativos, agravados pela falta de capacitação dos agricultores, resultando em intoxicações, malformações, câncer e contaminação ambiental que afeta trabalhadores rurais e populações expostas (Wachekowski *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, nas últimas décadas o debate sobre sustentabilidade agrícola tem se intensificado, especialmente devido aos impactos ambientais e sanitários associados ao modelo convencional de produção. O uso excessivo de agrotóxicos, característico da agricultura moderna, resultou em contaminação de solos e recursos hídricos, afetando ecossistemas e a saúde humana (Lopes & Albuquerque, 2018). Como consequência, cresceu a busca por alternativas mais seguras e sustentáveis, capazes de conciliar produtividade e conservação ambiental.

Nesse contexto, o uso de bioinsumos tem se destacado como uma estratégia promissora para a transição agroecológica. Obtidos a partir de microrganismos, extratos vegetais ou outras substâncias naturais, esses produtos contribuem para o crescimento vegetal, o controle biológico de pragas e a melhoria da qualidade do solo (Vidal & Dias, 2023). Os bioinsumos abrangem diferentes categorias, como biofertilizantes, bioestimulantes, agentes de controle biológico e biopesticidas. Os biofertilizantes e bioestimulantes atuam na promoção do

crescimento e do desenvolvimento vegetal, enquanto os agentes de controle biológico e os biopesticidas utilizam microrganismos, inimigos naturais ou compostos de origem biológica para o controle de pragas, doenças, nematoides e plantas daninhas (Brasil, 2020).

Além de contribuírem para a redução dos impactos ambientais, os bioinsumos apresentam elevada especificidade aos organismos-alvo, menor persistência de resíduos no ambiente e podem ser utilizados de forma integrada a outras estratégias de manejo agrícola. Os avanços nas técnicas de produção, formulação e aplicação também têm aumentado a eficiência e a estabilidade desses produtos, ampliando seu potencial de utilização em diferentes sistemas produtivos (*CropLife Brasil*, 2020).

O crescimento da adoção desses produtos demonstra sua crescente importância para o setor agrícola. No Brasil, o mercado de bio defensivos apresentou crescimento de 62% entre 2018 e 2022, percentual superior ao observado no mercado global no mesmo período. Além disso, entre as safras de 2019/2020 e 2021/2022, o mercado brasileiro registrou crescimento de 219%, alcançando valor estimado de R\$ 3,3 bilhões (*CropLife Brasil*, 2023).

A criação do Programa Nacional de Bioinsumos, pelo Decreto nº 10.375/2020, reforça a importância dessa tecnologia como parte de uma política pública voltada à redução da dependência de insumos químicos e à promoção de práticas agrícolas sustentáveis (Brasil, 2020).

Entre os bioinsumos de origem microbiana utilizados no controle biológico, destacam-se aqueles formulados a partir de bactérias e fungos pertencentes aos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Trichoderma*, reconhecidos por suas propriedades de biocontrole e promoção de crescimento vegetal (Braga, 2021). Dentre eles, as bactérias do gênero *Bacillus* se destacam por sua rápida multiplicação e capacidade de formar endósporos, o que lhes confere maior resistência a variações ambientais, como altas temperaturas, radiação e alterações de pH, além de possuírem um amplo espectro de ação (Dure, 2022).

Além da escolha do microrganismo, a formulação exerce papel fundamental na eficácia dos bioinsumos. Como esses produtos são constituídos por organismos vivos, diferentes formulações, como suspensões líquidas, pós molháveis, grânulos e sistemas encapsulados, utilizam adjuvantes e substâncias protetoras para aumentar a estabilidade microbiológica e prolongar o tempo de prateleira dos produtos (*CropLife Brasil*, 2020).

Apesar do potencial, a viabilidade microbiológica desses bioinsumos é um fator determinante para sua eficácia. Condições inadequadas de armazenamento, tais como variações de temperatura e umidade, podem reduzir significativamente a atividade microbiana, comprometendo seu desempenho agrônomo (Silva *et al.*, 2024). Por essa razão, é necessário

que haja um controle de qualidade durante a sua produção, a fim de garantir que os microrganismos mantenham suas características fisiológicas e a concentração mínima exigida.

De acordo com o Manual de Análises de Bioinsumos para Uso Agrícola (Ferreira *et al.*, 2024), a avaliação da viabilidade microbiana deve incluir análises quantitativas e qualitativas, assegurando a pureza das estirpes e a ausência de contaminantes. Entretanto, a literatura científica ainda apresenta lacunas sobre a estabilidade temporal desses microrganismos. Assim, compreender como o tempo e as condições de armazenamento influenciam a viabilidade de microrganismos é essencial para consolidar o uso desses insumos como alternativa segura e eficiente na agricultura.

Dessa forma, esta revisão sistemática, abrangendo os últimos 10 anos, teve como objetivo analisar a literatura científica acerca da viabilidade, sobrevivência, formulação e tempo de prateleira de inoculantes microbianos e biofertilizantes e buscou compreender como diferentes condições de produção e armazenamento influenciam a manutenção da qualidade microbiológica desses bioinsumos, contribuindo para discussões sobre controle de qualidade e fortalecimento de práticas agrícolas mais sustentáveis.

2 JUSTIFICATIVA

O uso intensivo de agrotóxicos na agricultura convencional no Brasil promove crescimento econômico, mas, ao mesmo tempo, gera riscos ambientais e sanitários. A existência de políticas públicas que fomentam o uso de agrotóxicos, como a isenção do ICMS na maioria dos estados e o antigo Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (PNDA), ajudaram a consolidar esse modelo, que se mantém apesar do reconhecimento dos impactos negativos para o meio ambiente e para a saúde humana (Lopes & Albuquerque, 2018).

Nesse contexto, os efeitos do uso contínuo de agrotóxicos tornam-se cada vez mais evidentes. A aplicação recorrente desses compostos contamina solo, água e ar, afetando a biodiversidade e favorecendo a bioacumulação nas cadeias alimentares, inclusive em áreas sem histórico direto de uso e até em tecidos animais e no leite materno (Santos & Santos 2023). Além disso, mesmo quando utilizados conforme as normas, esses produtos podem atingir alimentos, recursos hídricos e a atmosfera, comprometendo diferentes formas de vida (Borges *et al.*, 2016).

No ser humano, a exposição a essas substâncias tem sido ligada ao surgimento de diversos problemas de saúde, incluindo casos graves e muitas vezes evitáveis, como alguns tipos de câncer, além de estar associada ao aparecimento de enfermidades respiratórias e a distúrbios que afetam o sistema endócrino, o metabolismo e o funcionamento cardiovascular (Basso *et al.*, 2021; Rodrigues *et al.*, 2025). O Brasil, como o país com maior consumo de agrotóxicos desde 2008, enfrenta desafios significativos relacionados ao controle e gerenciamento dessas substâncias, o que contribui para um cenário preocupante em termos ambientais e de saúde pública (Basso *et al.*, 2021).

Diante desse quadro, os bioinsumos surgem como uma alternativa tecnológica capaz de contribuir para a redução da dependência de insumos químicos, promover maior sustentabilidade dos sistemas produtivos e favorecer a adoção de práticas agrícolas ambientalmente mais seguras. Além dos benefícios ambientais, esses produtos apresentam potencial para reduzir custos de produção e integrar diferentes estratégias de manejo agrícola (Origem Bio, 2023).

Entretanto, para que esses produtos expressem todo seu potencial agrônomo, é fundamental garantir a manutenção da viabilidade microbiológica durante a produção, o armazenamento e a comercialização. Esse controle deve ser realizado por meio de análises que assegurem o atendimento às normas e especificações vigentes, envolvendo tanto as pesquisas

científicas quanto as indústrias, biofábricas e laboratórios responsáveis pela fiscalização e verificação da conformidade desses insumos (Ferreira *et al.*, 2024).

Assim, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de reunir e analisar as evidências científicas disponíveis sobre a viabilidade de bioinsumos produzidos a partir de microrganismos, contribuindo para o avanço do conhecimento na área e para o fortalecimento de práticas agrícolas mais sustentáveis.

3 PROBLEMA DE PESQUISA

A produção de bioinsumos tem se consolidado como uma prática estratégica para promover a agricultura sustentável, reduzindo custos de produção e a dependência de insumos químicos industrializados.

No âmbito da produção vegetal, esses insumos são divididos em categorias relacionadas à sanidade, envolvendo bioacaricidas, biofungicidas e bioinseticidas, à fertilidade do solo e a nutrição de plantas, onde se inserem os inoculantes, biofertilizantes e bioestimulantes. Esses insumos são frequentemente formulados a partir de microrganismos benéficos, como vírus, bactérias e fungos, que atuam na promoção do crescimento e na defesa vegetal (Vidal *et al.*, 2021).

Entretanto, a qualidade microbiológica desses produtos é fortemente influenciada por fatores como temperatura, pH e condições de armazenamento, que podem reduzir a sobrevivência das células vegetativas ou favorecer a formação de esporos, dependendo do microrganismo. Temperaturas elevadas tendem a acelerar a perda de viabilidade, enquanto faixas mais amenas preservam melhor as populações. Variações no pH e no estresse osmótico também podem alterar a estabilidade das bactérias, afetando diretamente a manutenção das unidades formadoras de colônia (UFC) ao longo do tempo (Rowinska *et al.*, 2025). Além desses fatores, a ausência de contaminantes é essencial, pois qualquer crescimento microbiano indesejado pode comprometer a eficácia e a segurança do bioinsumo.

Embora o uso de bioinsumos microbianos tenha crescido consideravelmente nos últimos anos, ainda existem lacunas no conhecimento sobre os fatores que afetam sua estabilidade e seu tempo de prateleira. A diversidade de microrganismos utilizados e as diferentes formulações disponíveis tornam necessária a consolidação das informações presentes na literatura científica.

Assim, diante do avanço do uso de bioinsumos e da ausência de parâmetros consolidados de controle de qualidade, questiona-se: o que a literatura científica relata sobre a viabilidade, estabilidade e sobrevivência de microrganismos utilizados na produção de bioinsumos agrícolas?

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, a viabilidade, estabilidade e sobrevivência de microrganismos utilizados na produção de bioinsumos agrícolas.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os principais microrganismos utilizados na produção de bioinsumos descritos na literatura científica.
- Avaliar como diferentes condições de armazenamento influenciam a viabilidade e a sobrevivência microbiana desses bioinsumos.
- Analisar os fatores relacionados à formulação e ao tempo de prateleira dos inoculantes microbianos e biofertilizantes.

5 METODOLOGIA

A busca bibliográfica, abrangendo publicações dos últimos 10 anos, foi conduzida nas bases de dados científicas internacionais *Web of Science* e *Scopus*, ambas acessadas por meio do portal Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, utilizando o sistema de autenticação CAFE (Comunidade Acadêmica Federada).

A estratégia de busca foi elaborada utilizando descritores relacionados aos diferentes tipos de bioinsumos microbianos e aos fatores associados à sua viabilidade e estabilidade durante o armazenamento. Os termos foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, utilizando a seguinte expressão de busca: "microbial inoculants" OR "microbial bioinputs" OR "biofertilizers" OR "biopesticides" AND ("viability" OR "survival" OR "stability" OR "shelf-life") AND ("storage" OR "formulation").

A busca inicial resultou em 541 documentos na base *Web of Science* e 145 documentos na base *Scopus*. Posteriormente, foram excluídos capítulos de livros, artigos de revisão e trabalhos publicados em anais de eventos, permanecendo 420 documentos provenientes da *Web of Science* e 107 documentos da *Scopus*.

Os registros obtidos foram exportados em formato BibTeX e processados no software R, utilizando o pacote Bibliometrix. Durante a etapa de integração das bases de dados, foram identificados e removidos automaticamente 47 registros duplicados.

A integração e análise dos registros obtidos foram conduzidas no software R versão 4.5.2, utilizando o pacote Bibliometrix, que permitiu a importação, integração, organização e remoção automática de registros duplicados. Após essa etapa, foi gerado um banco consolidado contendo 480 registros únicos, utilizados para posterior triagem e análise sistemática das informações relevantes para a revisão.

Posteriormente, procedeu-se à triagem dos documentos extraídos, seguindo critérios previamente estabelecidos para assegurar a consistência e a pertinência dos estudos selecionados. O processo ocorreu em três etapas sequenciais. Inicialmente, foi realizada a leitura dos títulos, com o objetivo de identificar trabalhos potencialmente alinhados à temática da revisão. Em seguida, procedeu-se à leitura dos resumos, buscando verificar a presença de informações relacionadas à viabilidade microbiológica, sobrevivência, formulação, estabilidade, armazenamento e tempo de prateleira de bioinsumos produzidos a partir de microrganismos utilizados na agricultura. Por fim, realizou-se a leitura integral dos textos para confirmação da adequação metodológica, das variáveis analisadas e da pertinência dos

objetivos em relação à proposta da revisão sistemática. O processo de identificação, seleção e inclusão dos artigos está apresentado na Figura 1.

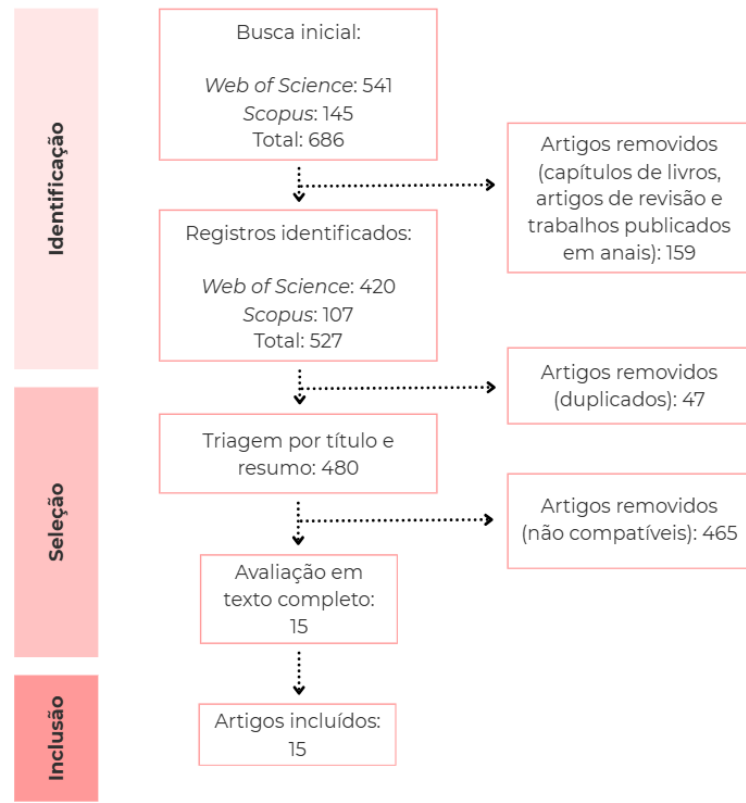


Figura 1: Fluxograma do processo de seleção dos artigos incluídos na revisão sistemática.
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Bibliometrix (2026).

Foram considerados elegíveis os artigos originais que apresentavam dados relacionados à viabilidade microbiológica, formulação, armazenamento, estabilidade ou tempo de prateleira de bioinsumos produzidos a partir de microrganismos, incluindo inoculantes microbianos, biofertilizantes, biopesticidas e outros produtos biológicos destinados ao uso agrícola, disponíveis em texto completo, seja em acesso aberto ou por meio do Portal CAPES.

Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, os estudos selecionados compuseram o banco final utilizado na revisão sistemática. Ao final do processo de seleção, foram incluídos 15 artigos científicos. Os trabalhos incluídos foram organizados na Tabela 1, contendo informações referentes aos microrganismos utilizados, tipo de bioinsumo, formulação, condições de armazenamento, variáveis analisadas, principais resultados relacionados à viabilidade microbiológica e respectivas referências bibliográficas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Além da seleção dos estudos para a revisão sistemática, foi realizada uma análise bibliométrica dos registros presentes nas bases *Web of Science* e *Scopus* por meio do pacote Bibliometrix no software R. Essa etapa permitiu caracterizar o panorama da produção científica relacionada à temática estudada, considerando aspectos como evolução temporal das publicações, periódicos de maior representatividade e frequência das palavras-chave dos documentos obtidos. Os resultados dessa análise estão apresentados nas Figuras 2, 3 e 4.

A Figura 2 apresenta a distribuição anual das publicações identificadas na busca bibliográfica.

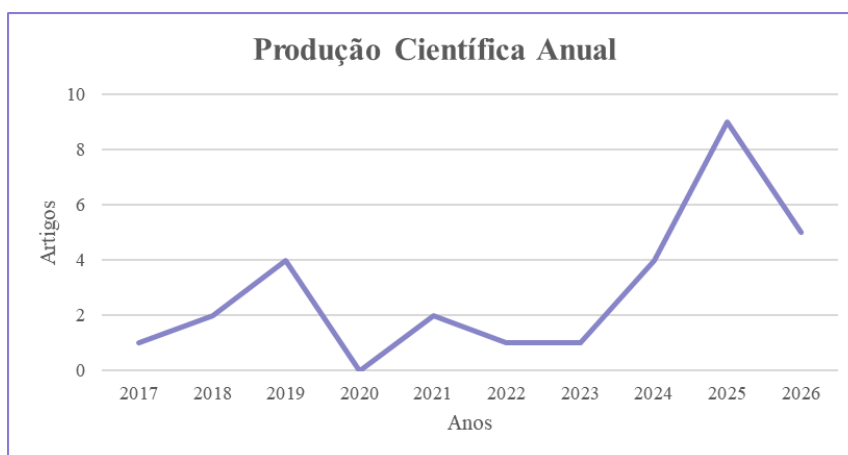


Figura 2: Produção científica anual dos documentos obtidos na busca bibliográfica.
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Bibliometrix (2026).

Observa-se que, embora existam registros desde 2017, a produção científica permaneceu relativamente baixa até 2023, apresentando crescimento mais expressivo a partir de 2024 e atingindo seu maior número de publicações em 2025, evidenciando o crescente interesse da comunidade científica pela temática. Em 2026 observou-se redução no número de artigos publicados, fato que provavelmente está relacionado ao ano ainda estar em andamento no momento da realização da busca bibliográfica.

A evolução temporal da produção científica demonstrou o crescente interesse da comunidade científica pelo desenvolvimento de bioinsumos produzidos a partir de microrganismos, especialmente em estudos voltados à formulação, estabilidade e viabilidade microbiológica, acompanhando a expansão do uso dessas tecnologias na agricultura sustentável.

A Figura 3 apresenta a produção acumulada das principais fontes de publicação ao longo do período analisado.

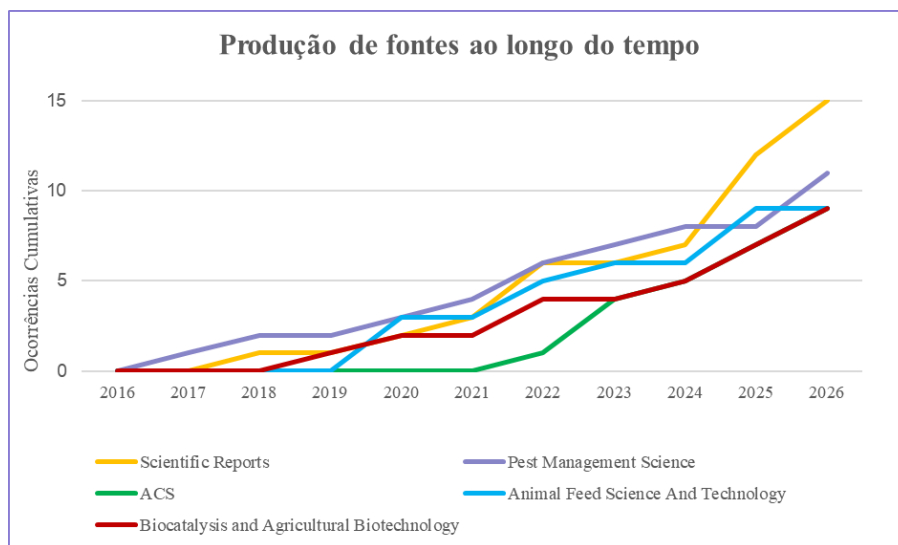


Figura 3: Produção acumulada das principais fontes de publicação identificadas na busca bibliográfica.
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Bibliometrix (2026).

Entre os periódicos identificados, *Scientific Reports* destacou-se como a principal fonte de publicações, apresentando maior crescimento acumulado ao final da série histórica. Também se sobressaíram os periódicos *Pest Management Science*, *Animal Feed Science and Technology* e *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, evidenciando que a temática é abordada em diferentes áreas relacionadas à microbiologia, biotecnologia, manejo agrícola e produção animal. Esses resultados demonstram o caráter multidisciplinar das pesquisas envolvendo bioinsumos microbianos e reforçam o interesse crescente da comunidade científica pelo desenvolvimento de tecnologias voltadas à agricultura sustentável.

Complementando a análise bibliométrica, foi elaborada uma nuvem de palavras (Figura 4) a partir das palavras-chave fornecidas pelos autores dos documentos recuperados na busca bibliográfica, utilizando os dados obtidos por meio do pacote Bibliometrix. Essa análise

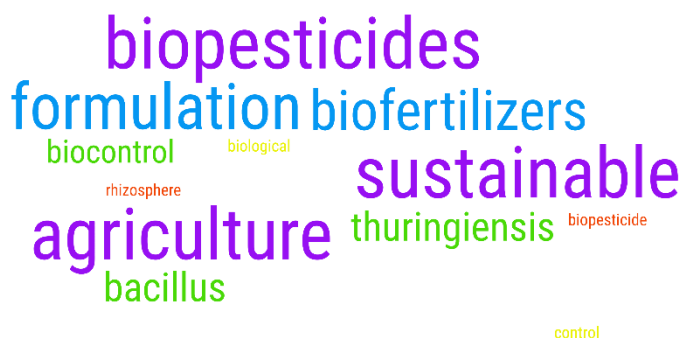


Figura 4: Nuvem de palavras elaborada a partir das palavras-chave dos estudos obtidos na busca bibliográfica.
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Bibliometrix (2026).

permitiu identificar os principais temas abordados pela literatura relacionada à viabilidade de bioinsumos produzidos a partir de microrganismos.

Observou-se maior frequência de palavras-chave relacionadas a biopesticidas e agricultura sustentável, seguidas por termos associados à formulação e ao uso de biofertilizantes e agentes de controle biológico. Essa distribuição reflete a predominância de estudos voltados ao desenvolvimento de formulações capazes de aumentar a estabilidade e a viabilidade de microrganismos utilizados em bioinsumos agrícolas, especialmente aqueles empregados no controle biológico e na promoção do crescimento vegetal (Brondi *et al.*, 2025; Munnysa *et al.*, 2025; Zapata-Narváez *et al.*, 2024).

A predominância desses termos demonstrou que as pesquisas recentes têm direcionado esforços para o desenvolvimento de tecnologias capazes de aumentar a eficiência, a estabilidade e o tempo de armazenamento dos bioinsumos, evidenciando o crescente interesse científico por alternativas sustentáveis aos insumos químicos convencionais.

6.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS ESTUDOS SELECIONADOS

Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, foram incluídos 15 estudos na revisão sistemática. Os trabalhos selecionados abordaram diferentes grupos de microrganismos utilizados na produção de bioinsumos agrícolas, incluindo bactérias, fungos filamentosos e leveduras. Os estudos avaliaram principalmente aspectos relacionados à viabilidade microbiana, estabilidade, formulação, armazenamento e tempo de prateleira dos produtos.

Com o objetivo de caracterizar os estudos incluídos na revisão sistemática, foi realizada a classificação dos artigos conforme o tipo de bioinsumo utilizado (Figura 5). Essa análise permitiu identificar as categorias de bioinsumos mais frequentemente abordadas na literatura selecionada.

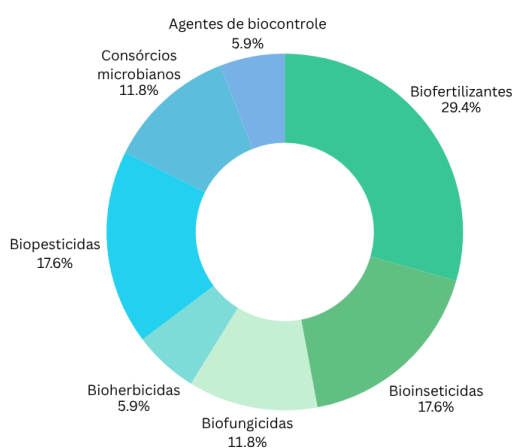


Figura 5: Distribuição percentual dos estudos selecionados segundo o principal tipo de bioinsumo investigado. Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Observou-se predominância de estudos envolvendo biofertilizantes (29,4%), seguidos por bioinseticidas e biopesticidas (17,6% cada). Também foram identificados trabalhos relacionados a consórcios microbianos, biofungicidas, agentes de controle biológico e bioherbicidas. Essa distribuição demonstra que, embora os biofertilizantes representem a categoria mais frequente entre os estudos selecionados, diferentes classes de bioinsumos vêm sendo investigadas, refletindo a diversidade de aplicações desses produtos na agricultura.

As principais características dos estudos incluídos encontram-se apresentadas na Tabela 1. De modo geral, observou-se predominância de estudos envolvendo fungos dos gêneros *Beauveria* e *Trichoderma*, além de bactérias pertencentes aos gêneros *Bacillus*, *Rhizobium*, *Azospirillum* e *Pseudomonas*. Os estudos contemplaram diferentes tipos de bioinsumos e avaliaram condições de armazenamento variando de quatro semanas a três anos, permitindo uma ampla análise dos fatores que influenciam a manutenção da viabilidade microbiana.

Tabela 1: Síntese dos artigos selecionados na revisão sistemática. Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Microrganismo	Tipo de bioinsumo	Formulação	Condições de armazenamento	Tempo de armazenamento	Variáveis avaliadas	Principais resultados relacionados à viabilidade	Referência
<i>Trichoderma harzianum</i>	Biocontrolador fúngico	Encapsulação em nanocelulose (CNC) e CNC:CMC	Temperatura ambiente; exposição à radiação UV, calor e fungicida	12 meses	UFC, viabilidade e resistência a estresses	A encapsulação manteve aproximadamente 10 ⁸ UFC/mL após 12 meses, enquanto os esporos livres perderam praticamente toda a viabilidade.	Brondi <i>et al.</i> (2025)
<i>Trichoderma asperellum</i>	Biopesticida microbiano	Formulações líquidas e sólidas utilizando substratos agroindustriais	Armazenamento em diferentes carreadores	180 dias	Biomassa, UFC e viabilidade	O óleo de parafina apresentou maior sobrevivência, mantendo cerca de 19 × 10 ⁶ UFC/mL ao final do armazenamento.	Munnysa <i>et al.</i> (2025)
<i>Plectosphaerella cucumerina</i>	Bioherbicida	Conídios e grãos colonizados	4 °C e temperatura ambiente	Até 3 anos	Produção de conídios, germinação e viabilidade	Grãos de cevada colonizados mantiveram aproximadamente 90% de viabilidade após 3 anos de armazenamento.	Bailey <i>et al.</i> (2017)
<i>Bradyrhizobium japonicum</i> , <i>Bacillus megaterium</i> e <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Consórcio microbiano	Talco acrescido de vermicomposto ou composto urbano	Formulações sólidas armazenadas em laboratório	360 dias	Células viáveis e sobrevivência	Formulações contendo compostos orgânicos apresentaram maior sobrevivência que o talco sem adição.	Shilpa e Brahmaaprakash (2016)
<i>Beauveria bassiana</i>	Bioinseticida	Comprimidos contendo 30% de conídios e 70% de amido de milho	25–28 °C em diferentes embalagens	180 dias	Viabilidade e propriedades físicas da formulação	A formulação manteve viabilidade ≥ 80% durante todo o período de armazenamento.	Almeida <i>et al.</i> (2023)
<i>Beauveria bassiana</i> ERL836	Bioinseticida	Grãos colonizados (arroz e milheto)	4, 25, 30 e 37 °C	Até 24 meses	Germinação e atividade inseticida	Viabilidade superior a 85% por 24 meses a 4 °C e por 18 meses a 25–30 °C.	Kim <i>et al.</i> (2019)

<i>Beauveria bassiana</i> Bv064	Bioinseticida	Formulação oleosa enriquecida com trealose (osmoprotetor)	6 °C, 18 °C e 28 °C	12 meses (<i>shelf life</i> estimado)	Germinação, UFC, pureza microbiológica, pH e eficácia biológica	A trealose foi o melhor osmoprotetor. A eficácia permaneceu superior a 90% após 12 meses a 6 °C e 18 °C. O <i>shelf life</i> estimado foi de 36,6 meses a 6 °C, 26,0 meses a 18 °C e 5,3 meses a 28 °C.	Garcia Riaño <i>et al.</i> (2022)
<i>Rhizobium</i> spp.	Biofertilizante	Formulação líquida contendo ectoína, PVP e goma arábica	25 °C	12 meses	Contagem celular e estabilidade	A ectoína promoveu manutenção quase constante da população bacteriana durante os 12 meses de armazenamento.	Elsakhawy <i>et al.</i> (2021)
<i>Bacillus subtilis</i>	Biofertilizante	Cápsulas de pectina/amido com diferentes aditivos	Armazenamento em laboratório e exposição a fungicidas e radiação UV	6 meses	UFC, proteção celular e liberação	Todas as formulações mantiveram populações superiores a 10 ⁹ UFC g ⁻¹ após 6 meses.	Lopes <i>et al.</i> (2023)
<i>Candida sake</i> CPA-1	Agente de biocontrole	Formulações spray-dry	-20 °C e 4 °C; embalagens distintas	22 meses	Viabilidade e atividade de água	As formulações mantiveram cerca de 4 × 10 ⁹ UFC mL ⁻¹ por pelo menos 21 meses quando armazenadas a -20 °C.	Carbó <i>et al.</i> (2019)
<i>Bacillus subtilis</i> Bs006	Biofertilizante	Formulações líquida e sólida	20, 30 e 40 °C	12 meses	Viabilidade, promoção de crescimento e endofitismo	Sobrevivência superior a 85% na formulação sólida e superior a 90% na formulação líquida em todas as temperaturas avaliadas.	Zapata-Narváez <i>et al.</i> (2024)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> e <i>Trichoderma harzianum</i>	Consórcio de biocontrole	Pesta granules, talco, alginato e formulação líquida	4 °C	180 dias	Viabilidade e estabilidade	A formulação do tipo pesta granule apresentou maior estabilidade durante o armazenamento.	Wong <i>et al.</i> (2021)
<i>Azospirillum brasilense</i>	Biofertilizante	Produção em fermentação em estado sólido	4 °C e 30 °C	12 meses	UFC e estabilidade	O microrganismo manteve viabilidade por 12 meses em ambas as temperaturas avaliadas.	Martínez-Ramírez <i>et al.</i> (2021)

<i>Pseudomonas stutzeri</i> NRCB010	Biofertilizante	Nanorrevestimento de poli(γ -glutâmico)	Armazenamento em laboratório	4 semanas	Sobrevivência e resistência a estresses	O revestimento aumentou a viabilidade em 2,38 vezes em comparação às células não revestidas.	Yang <i>et al.</i> (2021)
<i>Ampelomyces quisqualis</i>	Biofungicida	Formulação seca contendo sílica gel	Armazenamento em formulação seca	150 dias	Produção de conídios e estabilidade	A adição de sílica gel aumentou a estabilidade e preservou a eficácia biológica do fungo.	Angeli <i>et al.</i> (2017)

6.3 MICRORGANISMOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE BIOINSUMOS

Os estudos selecionados demonstraram ampla diversidade de microrganismos empregados na formulação de bioinsumos agrícolas. Foram identificados fungos filamentosos, bactérias promotoras de crescimento vegetal e leveduras utilizadas para diferentes finalidades agronômicas.

Entre os fungos, destacaram-se espécies dos gêneros *Beauveria*, *Trichoderma*, *Ampelomyces* e *Plectosphaerella*, amplamente utilizadas no controle biológico de insetos-praga, fitopatógenos e plantas invasoras (Brondi *et al.*, 2025; Bailey *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2019; Angeli *et al.*, 2017). Os bioinseticidas à base de *Beauveria bassiana* representaram parte significativa dos estudos analisados, evidenciando o interesse crescente em tecnologias que permitam aumentar a estabilidade desses produtos durante o armazenamento (Almeida *et al.*, 2023; Garcia Riaño *et al.*, 2022).

Entre as bactérias, foram observadas espécies pertencentes aos gêneros *Bacillus*, *Rhizobium*, *Azospirillum* e *Pseudomonas*, frequentemente utilizadas como biofertilizantes devido à capacidade de promover o crescimento vegetal, aumentar a disponibilidade de nutrientes e melhorar o desenvolvimento das culturas agrícolas (Elsakhawy *et al.*, 2021; Martínez-Ramírez *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2021; Zapata-Narváez *et al.*, 2024).

A diversidade de microrganismos identificada demonstra a ampla aplicação dos bioinsumos microbianos na agricultura moderna e reforça a necessidade de estratégias que garantam a manutenção da viabilidade desses organismos durante a produção, armazenamento e utilização em campo.

6.4 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE A VIABILIDADE MICROBIANA

A temperatura foi um dos fatores mais frequentemente associados à manutenção da viabilidade microbiológica dos bioinsumos. De maneira geral, os estudos demonstraram que temperaturas moderadas ou reduzidas favoreceram a sobrevivência dos microrganismos durante o armazenamento, enquanto temperaturas mais elevadas aceleraram a perda de viabilidade, independentemente da espécie ou da formulação utilizada.

Kim *et al.* (2019) verificaram que formulações em grãos contendo o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* mantiveram viabilidade superior a 85% por 24 meses quando armazenadas a 4 °C. Embora o fungo tenha suportado temperaturas moderadas de 25 e 30 °C por até 18 meses, a exposição a 37 °C causou rápida perda de germinação após seis

meses, evidenciando que temperaturas mais baixas favoreceram a manutenção da estabilidade microbiológica. Da mesma forma, Carbó *et al.* (2019) observaram que formulações contendo a levedura *Candida sake* CPA-1 mantiveram elevadas concentrações celulares por aproximadamente 21 meses quando armazenadas a -20 °C, enquanto Garcia Riaño *et al.* (2022) verificaram que formulações de *Beauveria bassiana* enriquecidas com trealose apresentaram *shelf-life* estimado de 36,6 meses a 6 °C, reduzindo para apenas 5,3 meses quando armazenadas a 28 °C.

Resultados semelhantes também foram descritos por Martínez-Ramírez *et al.* (2021), que relataram maior manutenção da viabilidade de *Azospirillum brasilense* em biofertilizantes armazenados sob condições controladas, e por Elsakhawy *et al.* (2021), Lopes *et al.* (2023) e Zapata-Narváez *et al.* (2024), que observaram comportamento semelhante para formulações contendo *Rhizobium spp.*, *Bacillus subtilis* e outros microrganismos utilizados como biofertilizantes. Embora tenham utilizado diferentes espécies microbianas e formulações, esses estudos apresentaram um padrão consistente, indicando que a temperatura exerce influência direta sobre a estabilidade microbiológica dos bioinsumos.

Essa influência pode ser explicada pelo fato de que a temperatura afeta diretamente a atividade metabólica dos microrganismos, bem como a estabilidade de enzimas e membranas celulares. Em temperaturas elevadas ocorre aumento da atividade metabólica e do consumo das reservas energéticas, além de maior suscetibilidade a danos celulares, reduzindo a sobrevivência durante o armazenamento. Por outro lado, temperaturas moderadas reduzem a velocidade desses processos, contribuindo para a manutenção da viabilidade por períodos mais prolongados (Open Oregon State, 2021).

Em conjunto, os estudos demonstram que o controle da temperatura é um dos principais fatores para preservar a qualidade microbiológica e prolongar o tempo de prateleira dos bioinsumos. Entretanto, a resposta dos microrganismos não depende exclusivamente da temperatura, sendo influenciada também pela formulação empregada e pela utilização de tecnologias de proteção, como encapsulamento, agentes carreadores e osmoprotetores, discutidas nos tópicos seguintes.

6.5 EFEITO DAS FORMULAÇÕES NA ESTABILIDADE DOS BIOINSUMOS

Os estudos analisados demonstraram que a formulação exerce papel fundamental na manutenção da viabilidade microbiológica durante o armazenamento. Foram identificadas formulações líquidas, sólidas, oleosas, granuladas, encapsuladas, comprimidas e revestidas,

evidenciando a diversidade de estratégias utilizadas para aumentar a estabilidade dos microrganismos (Brondi *et al.*, 2025; Wong *et al.*, 2021; Almeida *et al.*, 2023).

As formulações encapsuladas destacaram-se entre as tecnologias mais eficientes para proteção dos microrganismos. Brondi *et al.* (2025) verificaram que a encapsulação de *Trichoderma harzianum* em matrizes de nanocelulose e carboximetilcelulose manteve aproximadamente 10^8 UFC mL⁻¹ após 12 meses de armazenamento, além de aumentar a resistência dos esporos à radiação ultravioleta, ao calor e à exposição a fungicidas. Resultados semelhantes foram observados por Lopes *et al.* (2023), que obtiveram populações superiores a 10^9 UFC g⁻¹ em formulações encapsuladas de *Bacillus subtilis* após seis meses de armazenamento.

Outras estratégias de formulação também apresentaram resultados promissores. Almeida *et al.* (2023) verificaram que comprimidos contendo *Beauveria bassiana* mantiveram viabilidade superior a 80% durante 180 dias de armazenamento em temperatura ambiente. Da mesma forma, Wong *et al.* (2021) observaram maior estabilidade em formulações do tipo *pesta granule* quando comparadas às formulações em talco, alginato e líquida para um consórcio de *Pseudomonas aeruginosa* e *Trichoderma harzianum*. Yang *et al.* (2021) também demonstraram que o nanorrevestimento com poli(γ -glutâmico) aumentou em 2,38 vezes a sobrevivência de *Pseudomonas stutzeri* em relação às células não revestidas.

Embora tenham empregado diferentes microrganismos e tecnologias, os estudos apresentaram um padrão semelhante, indicando que a formulação exerce influência direta sobre a estabilidade microbiológica dos bioinsumos. Entretanto, os resultados também evidenciam que não existe uma formulação universalmente superior, uma vez que sua eficiência depende da interação entre o microrganismo utilizado, a tecnologia de proteção empregada e as condições de armazenamento.

Dessa forma, a escolha da formulação deve considerar as características biológicas do microrganismo e a finalidade de aplicação do bioinsumo, sendo um dos principais fatores responsáveis pela manutenção da viabilidade microbiológica e pelo prolongamento do tempo de prateleira dos produtos.

6.6 ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DA SOBREVIVÊNCIA MICROBIANA

Diversos estudos investigaram a incorporação de substâncias e tecnologias capazes de aumentar a sobrevivência dos microrganismos durante o armazenamento dos bioinsumos. De maneira geral, essas estratégias tiveram como objetivo reduzir os efeitos de fatores ambientais,

como variações de temperatura, desidratação, radiação e estresse oxidativo, preservando a viabilidade microbiológica ao longo do tempo.

Entre os compostos avaliados, a trealose destacou-se como o osmoprotetor mais eficiente. Garcia Riaño *et al.* (2022) verificaram que sua incorporação em formulações oleosas de *Beauveria bassiana* aumentou significativamente o *shelf-life* do produto, preservando a germinação dos conídios e mantendo eficácia biológica superior a 90% durante o armazenamento. A ação da trealose está relacionada à proteção das membranas celulares e proteínas contra danos provocados pela desidratação e por variações de temperatura.

Resultados semelhantes foram obtidos por Elsakhawy *et al.* (2021), que incorporaram ectoína em formulações líquidas de *Rhizobium spp.*. Esse osmoprotetor permitiu a manutenção praticamente constante da população bacteriana durante os 12 meses avaliados, demonstrando elevada eficiência na proteção das células frente ao estresse osmótico.

Além dos osmoprotetores, diferentes materiais foram empregados como agentes carreadores ou protetores físicos dos microrganismos. Shilpa e Brahmaprakash (2016) observaram que a adição de vermicomposto e composto urbano ao talco aumentou a sobrevivência de um consórcio microbiano durante o armazenamento, provavelmente por proporcionar um ambiente mais favorável à manutenção das células. Da mesma forma, Yang *et al.* (2021) verificaram que o nanorrevestimento com poli(γ -glutâmico) aumentou em 2,38 vezes a sobrevivência de *Pseudomonas stutzeri*, formando uma camada protetora ao redor das células bacterianas. Angeli *et al.* (2017), por sua vez, demonstraram que a incorporação de sílica gel em formulações secas de *Ampelomyces quisqualis* aumentou a estabilidade do produto e preservou sua eficácia biológica durante o armazenamento.

Embora tenham utilizado diferentes tecnologias e microrganismos, os estudos apresentaram resultados convergentes, demonstrando que a incorporação de substâncias protetoras reduz os efeitos do estresse ambiental e contribui para prolongar a viabilidade microbiológica dos bioinsumos. Esses resultados evidenciam que estratégias como osmoproteção, revestimento celular, encapsulamento e utilização de carreadores constituem ferramentas importantes para aumentar a estabilidade e a qualidade dos produtos microbiológicos destinados à agricultura.

6.7 TEMPO DE ARMAZENAMENTO E *SHELF-LIFE* DOS BIOINSUMOS

Os estudos incluídos apresentaram ampla variação nos períodos de armazenamento avaliados, compreendendo intervalos entre quatro semanas e três anos. Essa diversidade

permitiu identificar diferentes estratégias capazes de prolongar o *shelf-life* dos bioinsumos e preservar a viabilidade microbiológica ao longo do tempo.

Os maiores períodos de estabilidade foram observados em formulações que combinaram condições adequadas de armazenamento com tecnologias de proteção dos microrganismos. Bailey *et al.* (2017) verificaram que grãos de cevada colonizados por *Plectosphaerella cucumerina* mantiveram aproximadamente 90% de viabilidade após três anos de armazenamento, enquanto Kim *et al.* (2019) observaram que formulações de *Beauveria bassiana* preservaram altas taxas de germinação durante até 24 meses em condições adequadas.

Entre os estudos que estimaram o tempo de prateleira, Garcia Riaño *et al.* (2022) demonstraram que a incorporação de trealose em formulações oleosas de *Beauveria bassiana* possibilitou um *shelf-life* estimado de 36,6 meses a 6 °C. Esses resultados evidenciam que o prolongamento da vida útil não depende apenas do microrganismo utilizado, mas também da interação entre temperatura de armazenamento, formulação e tecnologias de proteção.

Resultados semelhantes foram observados em outros estudos incluídos na revisão. Brondi *et al.* (2025), Lopes *et al.* (2023), Wong *et al.* (2021) e Elsakhawy *et al.* (2021) demonstraram que estratégias como encapsulamento, revestimentos celulares, utilização de carreadores e incorporação de osmoprotetores contribuíram para reduzir as perdas populacionais ao longo do armazenamento, favorecendo a manutenção da viabilidade microbiológica por períodos prolongados.

Em conjunto, os estudos demonstram que o *shelf-life* dos bioinsumos é resultado da interação entre diferentes fatores, incluindo o microrganismo utilizado, a formulação, as tecnologias de proteção e as condições de armazenamento. Dessa forma, o desenvolvimento de formulações capazes de preservar a viabilidade microbiológica por períodos mais longos representa um dos principais desafios para ampliar a qualidade, a eficiência e a viabilidade comercial desses produtos.

7 CONCLUSÃO

A presente revisão sistemática permitiu analisar diferentes estratégias empregadas para aumentar a viabilidade e a estabilidade de bioinsumos produzidos a partir de microrganismos. Os estudos selecionados demonstraram que a manutenção da qualidade microbiológica desses produtos depende da interação entre a formulação utilizada, as condições de armazenamento e a adoção de tecnologias de proteção da viabilidade microbiana, como encapsulamento, osmoprotetores e revestimentos celulares, que contribuem para prolongar a sobrevivência dos microrganismos e o tempo de prateleira dos bioinsumos.

Os resultados evidenciaram que fungos e bactérias amplamente utilizados na agricultura, como espécies dos gêneros *Beauveria*, *Trichoderma*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Azospirillum* e *Pseudomonas*, podem manter elevados níveis de viabilidade quando submetidos a condições adequadas de armazenamento. Entre os fatores analisados, a temperatura destacou-se como um dos principais determinantes da sobrevivência microbiana, sendo observada maior estabilidade em condições de refrigeração ou em temperaturas moderadas.

Além disso, diferentes estratégias de formulação contribuíram significativamente para o aumento do tempo de prateleira dos produtos. O encapsulamento celular, o uso de osmoprotetores, como trealose e ectoína, a incorporação de compostos orgânicos aos carreadores e a utilização de revestimentos protetores demonstraram resultados promissores na preservação da viabilidade microbiana durante o armazenamento. Em diversos estudos, essas tecnologias possibilitaram a manutenção de populações microbianas viáveis por períodos superiores a 12 meses, evidenciando seu potencial para ampliar a eficiência e a estabilidade dos bioinsumos. Entretanto, a eficiência dessas tecnologias variou conforme o microrganismo e a formulação utilizada.

Também foi observado que a formulação exerce papel fundamental no desempenho dos produtos, influenciando diretamente a resistência dos microrganismos às condições de estresse, como variações de temperatura, radiação ultravioleta e exposição a compostos químicos. Entretanto, os estudos demonstraram que não existe uma formulação universalmente superior, uma vez que sua eficiência depende do microrganismo e da tecnologia empregada. Dessa forma, o desenvolvimento de formulações mais eficientes representa uma etapa essencial para garantir a qualidade e a eficácia dos bioinsumos ao longo de sua vida útil.

De modo geral, os estudos demonstram que a combinação entre formulações adequadas, agentes protetores e condições apropriadas de armazenamento pode prolongar significativamente a viabilidade dos microrganismos utilizados em bioinsumos agrícolas. Nesse

contexto, o desenvolvimento de formulações mais eficientes representa uma das principais tendências observadas na literatura, contribuindo para ampliar a estabilidade, a vida útil e a eficiência desses produtos, favorecendo sua adoção em sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Por fim, recomenda-se a realização de novos estudos voltados à padronização dos métodos de avaliação da viabilidade microbiana e dos protocolos utilizados, bem como ao desenvolvimento de tecnologias capazes de ampliar a estabilidade e o tempo de armazenamento dos bioinsumos. Investigações futuras também poderão contribuir para a otimização das formulações e para a expansão do uso desses produtos em diferentes sistemas agrícolas, fortalecendo práticas de produção mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

8 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. G. B. *et al.* Technology of a novel conidia-tablet formulation and packaging type to increase *Beauveria bassiana* (*Hypocreales: Ophiocordycipitaceae*) shelf life at room temperature. **Biotechnol. Agron. Soc. Environ.**, v. 27, n. 2, p. 109-118, 2023. DOI: 10.25518/1780-4507.20372.
- ANGELI, D. *et al.* Production of *Ampelomyces quisqualis* conidia in submerged fermentation and improvements in the formulation for increased shelf-life. **Crop Protection**, v. 97, p. 135-144, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.012>.
- BAILEY, K. L. *et al.* Optimising inoculum yield and shelf life of *Plectosphaerella cucumerina*, a potential bioherbicide for *Cirsium arvense*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 27, n. 11-12, p. 1323-1340, 2017. DOI: 10.1080/09583157.2017.1409337.
- BASSO, C.; SIQUEIRA, A. C. F.; RICHARDS, N. S. P. dos S. Impactos na saúde humana e no meio ambiente relacionados ao uso de agrotóxicos: uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, e43110817529, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17529.
- BORGES, A. M. *et al.* Agricultura familiar e a conservação da saúde humana e ambiental. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, v. 69, n. 2, p. 326-334, 2016.
- BRAGA, A. F. **Interação de *Trichoderma asperellum* e *Bacillus spp.* utilizados no controle biológico de doenças na soja.** 2021. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2021.
- BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ed. 100, p. 105, 27 maio 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Conceitos: Conheça a base conceitual do Programa Nacional de Bioinsumos.** Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 27 maio 2020. Atualizado em 14 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>. Acesso em: 7 jul. 2026.
- BRONDI, M. G. *et al.* Enhancing the Shelf Life and Stress Tolerance of the Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum* by Encapsulation in Green Matrices of Nanocellulose and Carboxymethyl Cellulose. **ACS Agricultural Science & Technology**, v. 5, p. 1178-1188, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsagascitech.5c00189>.
- CARBÓ, A. *et al.* Shelf life improvement of the biocontrol agent *Candida sake* CPA-1 by suitable package and storage conditions. **BioControl**, v. 64, p. 435-446, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-019-09944-2>.
- CROPLIFE BRASIL. **Como são produzidos os biodefensivos de base microbiológica.** São Paulo: CropLife Brasil, 6 abr. 2020. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/como-sao-produzidos-os-biodefensivos-de-base-microbiologica/>. Acesso em: 8 jul. 2026.

CROPLIFE BRASIL. **Biodefensivos, cada vez mais presentes no campo**. São Paulo: CropLife Brasil, 8 mai. 2023. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/biodefensivos-cada-vez-mais-presentes-no-campo/>. Acesso em: 9 jul. 2026.

DURE, L. M. M. **Avaliação de métodos de fermentação e formulação de *Bacillus velezensis* para uso como bioprotetor na agricultura**. 2022. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2022.

ELSAKHAWY, T.; GHAZI, A.; ABDEL-RAHMAN, M. A. Developing Liquid *Rhizobium* Inoculants with Enhanced Long-Term Survival, Storage Stability, and Plant Growth Promotion Using Ectoine Additive. **Current Microbiology**, v. 78, p. 282-291, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02265-z>.

FERREIRA, E.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. **Manual de análises de bioinsumos para uso agrícola: inoculantes**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 164 p.

GARCIA RIAÑO, J. L. *et al.* Shelf-life study of oil-based formulations of *Beauveria bassiana* enriched with osmoprotectants: effect on conidia germination and efficacy on *Diatraea saccharalis*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 32, n. 11, p. 1285-1301, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2022.2109126>.

KIM, J. C. *et al.* Long-term storage stability of *Beauveria bassiana* ERL836 granules as fungal biopesticide. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 22, p. 537-542, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.04.001>.

LIMA, A. F.; SILVA, E. G. de A.; IWATA, B. de F. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 1, p. 50-68, 2019. DOI: [10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i1.332](https://doi.org/10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i1.332).

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018.

LOPES, M. M.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; FARINAS, C. S. Modification of pectin/starch-based beads with additives to improve *Bacillus subtilis* encapsulation for agricultural applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 246, p. 125646, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125646>.

MARTÍNEZ-RAMÍREZ, C. *et al.* Solid-state culture of *Azospirillum brasilense*: a reliable technology for biofertilizer production from laboratory to pilot scale. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 44, p. 1525-1538, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02537-3>.

MUNNYSHA, S. *et al.* Synthesis and optimization of agro-based solid and liquid formulation for enhanced shelf-life and biomass production of *Trichoderma asperellum*. **Plant Science Today**, v. 12, n. sp2, p. 1-9, 2025. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.4641>.

ORIGEM BIO. Vantagens que sua lavoura terá ao implementar o manejo biológico On Farm. [S. l.], 31 jul. 2023. Blog. Disponível em: <https://www.origembio.com.br/blog/vantagens-que-sua-lavoura-tera-ao-implementar-o-manejo-biologico-on-farm/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

RODRIGUES, M. de B. *et al.* Pesticides and human health. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 101, supl. 1, p. S70-S76, 2025. DOI: 10.1016/j.jped.2024.11.008.

ROWIŃSKA, P. *et al.* Physicochemical determinants of storage stability in spore-based bacterial biopreparations for agricultural use. **Applied Sciences**, v. 15, n. 22, 11856, 2025. DOI: 10.3390/app152211856.

SANTOS, J. da C.; SANTOS, M. I. G. dos. Consequências do uso de agrotóxicos na agricultura: uma revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 10, e111121043556, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i10.43556.

SHILPA, M. E.; BRAHMAPRAKASH, G. P. Amendment of Carrier with Organic Material for Enhancing *Shelf life* of Microbial Consortium. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 10, n. 4, p. 2835-2842, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.22207/JPAM.10.4.44>.

SILVA, A. F. G. da *et al.* Potencial dos bioinsumos para a agricultura sustentável: uma análise a partir de suas características, conceitos e vantagens. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 17, n. 2, p. 250-265, 2024.

VIDAL, M. C. *et al.* Bioinsumos: a construção de um programa nacional pela sustentabilidade do agro brasileiro. **Economic Analysis of Law Review**, Brasília, v. 12, n. 3, p. 557-574, 2021.

VIDAL, M. C.; DIAS, R. P. Bioinsumos a partir das contribuições da agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 171-192, 2023. DOI: 10.33240/rba.v18i1.23735.

WACHEKOWSKI, G. *et al.* Agrotóxicos, revolução verde e seus impactos na sociedade: revisão narrativa de literatura. In: SALÃO DO CONHECIMENTO, 2021, Ijuí. **Anais [...]**. Ijuí: UNIJUI, 2021.

WONG, C. K. F. *et al.* Effect of Bioformulations on the Biocontrol Efficacy, Microbial Viability and Storage Stability of a Consortium of Biocontrol Agents against *Fusarium* Wilt of Banana. **Journal of Applied Microbiology**, [S. l.], 2021. DOI: 10.1111/jam.14310.

YANG, K. *et al.* Poly(γ -glutamic acid) Nanocoating To Enhance the Viability of *Pseudomonas stutzeri* NRCB010 through Cell Surface Engineering. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 13, p. 39957-39966, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.1c12538>.

ZAPATA-NARVÁEZ, Y. *et al.* *Bacillus subtilis* Bs006 formulations: storage stability, biological activity and endophytism in vegetables. **Chilean J. Agric. Anim. Sci.**, v. 40, n. 1, p. 81-90, 2024. DOI: <https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-8BSYD60008>.