

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *Lato Sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS HIDROLÂNDIA**

EDILANE DOS SANTOS SAMPAIO

**PESQUISAS ACERCA DA MICROENCAPSULAÇÃO DE
Trichoderma harzianum PARA CONTROLE BIOLÓGICO**

HIDROLÂNDIA, GO

2026

EDILANE DOS SANTOS SAMPAIO

**PESQUISAS ACERCA DA MICROENCAPSULAÇÃO DE
Trichoderma harzianum PARA CONTROLE BIOLÓGICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu*: Especialização em Bioinsumos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Hidrolândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Bioinsumos.

Orientador: Prof. Dr. Jacson Zuchi

HIDROLÂNDIA, GO

2026

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

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

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Edilane dos Santos Sampaio

Matrícula:

24111304260007

Título do trabalho:

PESQUISAS ACERCA DA MICROENCAPSULAÇÃO DE *Trichoderma harzianum* PARA CONTROLE BIOLÓGICO

RESTRICÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 30 / 8 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br
EDILANE DOS SANTOS SAMPAIO
Data: 20/05/2026 20:38:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Hidrolândia

Local

20 / 05 / 2026

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

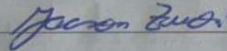
Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br
JACSON ZUCHI
Data: 22/05/2026 12:24:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

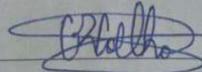
Aos vinte e cinco dias do mês de março de dois mil e vinte e seis, às 09 horas, reuniu-se a Banca Examinadora, de forma remota (Link da videochamada: meet.google.com/nnp-duxf-jsh) composta por: Prof. Jacson Zuchi (orientador), Prof. Marco Antonio Moreira de Freitas (membro interno) e a Pesquisadora Gesimaria Ribeiro Costa Coelho (membro externo), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “PESQUISAS ACERCA DA MICROENCAPSULAÇÃO DE *Trichoderma harzianum* PARA CONTROLE BIOLÓGICO DE FITOPATÓGENOS” de EDILANE DOS SANTOS SAMPAIO, estudante do Curso de Lato Sensu EM BIOINSUMOS do IF Goiano – Campus Hidrolândia, sob Matrícula nº 2024111304260007. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição da candidata pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata e assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Hidrolândia, 25 de março de 2026.



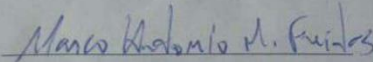
Jacson Zuchi

Orientador



Gesimaria Ribeiro Costa Coelho

Membra da Banca Examinadora



Marco Antonio Moreira de Freitas

Membro da Banca Examinadora

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

S192p Santos Sampaio, Edilane dos
PESQUISAS ACERCA DA MICROENCAPSULAÇÃO DE
Trichoderma harzianum PARA CONTROLE BIOLÓGICO /
Edilane dos Santos Sampaio. Hidrolândia 2026.

51f. il.

Orientador: Prof. Dr. Jacson Zuchi.
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
1130426 - Especialização em Bioinsumos - Hidrolândia (Campus
Hidrolândia).

1. Bioinsumos. 2. Gelificação iônica. 3. Matrizes poliméricas. 4.
Alginato de sódio. I. Título.

Bibliotecária Responsável

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Programa de Pós-Graduação lato sensu em Bioinsumos do Instituto Federal Goiano – Campus Hidrolândia, pela oportunidade de formação e pelo conhecimento adquirido ao longo do curso, que foram fundamentais para a construção desta pesquisa.

Sou grata à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo apoio financeiro, por meio da concessão de bolsa de estudos, que possibilitou minha dedicação às atividades de pesquisa. Registro, ainda, meu reconhecimento ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano), à FUNAPE (Fundação de Apoio a Pesquisa – UFG) e ao Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO), pelo suporte institucional e pela oferta de um ambiente acadêmico que contribuiu de forma decisiva para o meu aprimoramento profissional e científico, especialmente por meio das disciplinas e das atividades do curso, ainda que em formato de educação a distância.



*“O futuro pertence àqueles que acreditam
na beleza dos seus sonhos.”*

Eleanor Roosevelt

BIOGRAFIA DO ALUNO

Edilane dos Santos Sampaio nasceu em Itaberaba, no estado da Bahia. Motivada desde cedo pelo interesse em temáticas ambientais e pela relação entre agricultura e sustentabilidade, graduou-se em Engenharia Ambiental, formação que lhe proporcionou uma base sólida no entendimento dos processos ecológicos, da conservação dos recursos naturais e das tecnologias voltadas ao equilíbrio ambiental.

Em 2024, ampliou sua formação acadêmica ao ingressar em uma especialização lato sensu na área de Bioinsumos, realizada no Campo Experimental de Hidrolândia, GO, aprofundando seus conhecimentos sobre o uso de microrganismos e tecnologias biológicas aplicadas à agricultura sustentável.

Em 2025, deu continuidade à sua trajetória acadêmica ao ingressar no Programa de Pós-Graduação como mestranda em Fitossanidade, na área de Agronomia, aprofundando seus estudos em estratégias de manejo, proteção de plantas e práticas sustentáveis que fortalecem a produção agrícola com responsabilidade ambiental. Sua caminhada acadêmica é marcada pelo comprometimento, disciplina e pela busca constante por soluções inovadoras que integrem produtividade e preservação.

RESUMO

A crescente demanda por alternativas sustentáveis ao uso intensivo de defensivos químicos tem impulsionado o desenvolvimento de estratégias biotecnológicas para o manejo de doenças de plantas. Nesse contexto, a microencapsulação de *Trichoderma harzianum* destaca-se como abordagem promissora para otimizar sua aplicação no controle biológico de fitopatógenos, especialmente frente às perdas agrícolas globais associadas a estresses ambientais como radiação UV, variações térmicas e dessecação.

A análise da literatura evidencia que técnicas como *spray drying*, coacervação complexa e, sobretudo, a gelificação iônica apresentam elevado potencial na proteção dos conídios, com destaque para o uso de matrizes poliméricas associadas a aditivos, como argilas e nanocelulose, que contribuem para a estabilidade e liberação controlada do microrganismo. Os resultados indicam que a microencapsulação promove não apenas o aumento da vida de prateleira dos bioinsumos, mas também ganhos expressivos na viabilidade e na eficiência do biocontrole em condições de campo, consolidando-se como ferramenta estratégica para o manejo sustentável de fitopatógenos.

Palavras-chave: Bioinsumos. Gelificação iônica. Matrizes poliméricas. Alginato de sódio

ABSTRACT

The growing demand for sustainable alternatives to the intensive use of chemical pesticides has driven the development of biotechnological strategies for plant disease management. In this context, the microencapsulation of *Trichoderma harzianum* emerges as a promising approach to optimize its application in the biological control of phytopathogens, particularly considering the global agricultural losses associated with environmental stresses such as UV radiation, temperature fluctuations, and desiccation. The literature analysis highlights that techniques such as spray drying, complex coacervation, and especially ionic gelation show strong potential for protecting conidia, with emphasis on the use of polymeric matrices combined with additives such as clays and nanocellulose, which contribute to enhanced stability and controlled release of the microorganism. The results indicate that microencapsulation not only extends the shelf life of bioinputs but also significantly improves viability and biocontrol efficiency under field conditions, consolidating its role as a key strategy for sustainable plant disease management.

Keywords: Bioinputs. Ionic gelation. Polymeric matrices. Sodium alginate.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Fluxograma da metodologia.	23
FIGURA 2- Produção científica anual sobre microencapsulação de <i>Trichoderma harzianum</i>	25
FIGURA 3- Distribuição geográfica das publicações selecionadas.	26
FIGURA 4- Nuvem palavras-chaves mais citadas nos trabalhos científicos.	27
FIGURA 5- Esquema do processo de microencapsulação por spray drying.	30
FIGURA 6 - Esquema do processo de microencapsulação por coacervação.	32
FIGURA 7- Esquema do processo de microencapsulação por gelificação iônica (A reticulação externa; B reticulação interna).	34

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (1-4).....	35
QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (5-8).....	36
QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (8-13).....	37
QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (13-18).....	38
QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (18-23).....	39

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE QUADROS	12
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2. OBJETIVOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. <i>Trichoderma ssp.</i>	17
3.2. <i>Trichoderma harzianum</i>	18
3.3. Biocontrole com <i>Trichoderma harzianum</i>	18
3.4. Microencapsulação e aplicação em bioinsumos	20
4. METODOLOGIA	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1. Panorama das Publicações e Caracterização da Área.....	24
5.2. Materiais e Matrizes de Encapsulamento	28
5.3. Técnicas de microencapsulamento aplicadas a microrganismos.....	29
5.3.1. Método Físico: Spray drying (secagem por atomização)	29
5.3.2. Métodos Físico-Químicos: Coacervação Complexa.....	31
5.3.3. Métodos Físico-Químicos: Gelificação Iônica	32
5.3.4. Síntese dos Resultados e Análise Integrada.....	35
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	44

1. INTRODUÇÃO GERAL

Apesar dos avanços tecnológicos no manejo agrícola e no melhoramento genético de cultivares, as doenças de plantas continuam sendo um dos principais fatores limitantes da produtividade em diversos sistemas de cultivo. Essas doenças causam perdas significativas tanto na quantidade quanto na qualidade dos alimentos produzidos. A ação de agentes fitopatogênicos provoca alterações fisiológicas nas plantas, manifestadas por diferentes sintomas nos tecidos vegetais (FERNANDES et al., 2006).

Estima-se que pragas e doenças causem perdas de até 40% da produção agrícola mundial, representando risco à segurança alimentar (FAO, 2020). Seu manejo baseia-se principalmente no uso de defensivos químicos, cujo consumo tem crescido no Brasil (EMBRAPA, 2021; IBAMA, 2023). Nesse contexto, o controle biológico destaca-se como alternativa sustentável, utilizando microrganismos para suprimir fitopatógenos (HECK, 2019). Assim, os bioinsumos contribuem para reduzir a dependência de defensivos químicos e promover o equilíbrio microbiológico do solo (EMBRAPA, 2023).

Entre os microrganismos utilizados no controle biológico, destacam-se fungos do gênero *Trichoderma*, com ênfase em *Trichoderma harzianum*, amplamente estudado por sua elevada capacidade antagonista contra fitopatógenos, atuando por meio de enzimas hidrolíticas, metabólitos antifúngicos e indução de resistência nas plantas (HARMAN et al., 2004; SARAVANAKUMAR et al., 2017).

Entretanto, a eficiência desses agentes biológicos pode ser afetada por fatores ambientais, como radiação ultravioleta, temperatura e umidade, tornando essencial o desenvolvimento de formulações adequadas (BETTIOL; MORANDI, 2009). Além disso, produtos à base de *Trichoderma* apresentam vida de prateleira limitada e redução da viabilidade durante o armazenamento e a aplicação em campo (BRAGA, 2019)

Com isso, sistemas de liberação controlada, como a microencapsulação em matrizes poliméricas biodegradáveis, têm sido investigados como uma estratégia promissora para aumentar a estabilidade, a viabilidade e a persistência de microrganismos no ambiente (JOHN et al., 2011; VINDAS-REYES et al., 2024).

A microencapsulação consiste na incorporação do agente biológico em uma matriz protetora que atua como barreira física contra estresses ambientais, permitindo ainda a liberação gradual do microrganismo no ambiente (VEMMER; PATEL, 2013).

Entre as técnicas de encapsulamento, destaca-se a gelificação iônica por gotejamento, na qual conídios são incorporados ao alginato de sódio e posteriormente gotejados em uma solução de cloreto de cálcio, formando microesferas gelificadas. Essa matriz pode proteger os esporos, aumentar sua estabilidade e favorecer sua liberação gradual no ambiente (AKHTAR et al., 2009; JOHN et al., 2011). Além disso, outras técnicas também são utilizadas para a encapsulação de microrganismos, como o spray drying e métodos baseados em coacervação, que permitem a formação de partículas encapsuladas com diferentes características físico-químicas e aplicações em formulações microbiológicas.

Dessa forma, a investigação de técnicas de microencapsulação aplicadas a microrganismos de interesse agrícola mostra-se estratégica para o desenvolvimento de formulações microbiológicas mais estáveis e eficientes. Apesar dos avanços no uso de fungos do gênero *Trichoderma* como agentes de biocontrole, ainda existem lacunas relacionadas à estabilidade, formulação e persistência desses microrganismos em diferentes condições ambientais. Nesse contexto, estudos que integrem fundamentos microbiológicos e tecnológicos tornam-se fundamentais para o aprimoramento dessas estratégias.

Diante desse cenário, surge a seguinte questão de pesquisa: Quais técnicas e matrizes de microencapsulação de conídios de *Trichoderma harzianum* têm sido descritas na literatura para uso no controle biológico de fitopatógenos, e quais desfechos são mais avaliados (viabilidade, vida de prateleira, tolerância a estresses e atividade antagonista)?

Assim, o presente trabalho consiste em uma revisão da literatura acerca das metodologias de microencapsulação aplicadas a *Trichoderma harzianum*, como ferramenta biotecnológica para o desenvolvimento de formulações microbiológicas destinadas ao controle biológico de fitopatógenos, com potencial aplicação no manejo de doenças de plantas.

2. OBJETIVOS

GERAL:

Analisar, por revisão da literatura, técnicas de microencapsulação de fungos do gênero *Trichoderma harzianum* visando seu uso em formulações para biocontrole de patógenos.

ESPECÍFICOS:

- i. Apresentar os mecanismos de ação de *Trichoderma harzianum* no controle biológico.
- ii. Discutir a microencapsulação como alternativa para aumentar a eficiência de bioinsumos à base de *Trichoderma harzianum*.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. *Trichoderma ssp.*

O gênero *Trichoderma* (*Ascomycota: Sordariomycetes*) é composto por fungos filamentosos predominantemente saprófitas, amplamente distribuídos em solos de climas temperados e tropicais. Suas características morfológicas variam drasticamente entre as fases de vida. Nas linhagens onde o estado sexual (teleomórfico) é conhecido, observa-se a formação de peritécios em estromas de coloração variada, contendo ascos cilíndricos com oito ascósporos bicelulares que se fragmentam em 16 esporos (JAKLITSCH, 2009).

Paralelamente, em sua fase assexual (anamórfica), o micélio vegetativo origina conidióforos altamente ramificados, frequentemente com organização dendrítica. Historicamente, essa dualidade morfológica levou à utilização de uma nomenclatura dupla, utilizando-se o nome *Hypocrea* para a fase sexuada e *Trichoderma* para a assexuada (HARMAN et al., 2004).

Do ponto de vista microscópico, as células conidiogênicas são do tipo fiálide, com formato ampuliforme ou lageniforme, apresentando base estreita, região mediana dilatada e ápice afilado em um curto pescoço (RIFAI, 1969 apud ZIN; BADALUDDIN, 2020).

Essas estruturas podem estar dispostas em verticilos terminais ou ocorrer isoladamente ao longo do conidióforo, geralmente logo abaixo dos septos. Os conídios, responsáveis pela pigmentação esverdeada típica da maioria das espécies, podem apresentar paredes lisas ou rugosas. Adicionalmente, é comum a presença de clamidósporos no micélio submerso, atuando como estruturas de resistência intercalares ou terminais (MIRANDA et al., 2024).

Apesar de a identificação macroscópica ser aparentemente simples, o gênero impõe desafios taxonômicos devido à elevada variabilidade morfológica intra e interespecífica. Estima-se que o grupo compreenda cerca de 10.000 espécies, muitas das quais caracterizadas por crescimento rápido e intensa esporulação (WAGHUNDE et al., 2016; ZIN; BADALUDDIN, 2020). Diante dessa complexidade, a classificação foi sistematizada pelo conceito de espécies agregadas, proposto por Rifai, que reconheceu a dificuldade de estabelecer limites taxonômicos precisos baseados apenas em características fenotípicas (RIFAI, 1969 apud HARMAN et al., 2004).

3.2. *Trichoderma harzianum*

Trichoderma harzianum é um fungo filamentosso *ascomiceto* pertencente ao Reino Fungi, Filo *Ascomycota*, Subfilo *Pezizomycotina*, Classe *Sordariomycetes*, Ordem *Hypocreales* e Família *Hypocreaceae* (MYCOBANK, 2026). É uma espécie prevalente em levantamentos de diversidade no solo e em restos vegetais em diversas regiões geográficas, destacando-se pelo seu caráter micoparasitário.

Morfológicamente, seus esporos apresentam formato ovóide a globoso, com dimensões variando entre 2,4–3,2 µm de comprimento e 2,2–2,8 µm de largura, apresentando uma média aproximada de 3,0 × 2,7 µm (PERES, 1995).

Atualmente, apesar dessas características bem definidas, *T. harzianum* é reconhecida como um complexo taxonômico de elevada diversidade filogenética, denominado clado *harzianum*. Devido à grande semelhança morfológica entre os membros desse grupo, muitos isolados são caracterizados como *T. harzianum* lato sensu (em senso amplo), termo que engloba diversas linhagens com características visuais semelhantes, mas com distinções genéticas profundas (CHAVERRI et al., 2015; (MEYER; MAZARO; SILVA, 2019, p. 166).

Essa classificação diferencia-se do conceito stricto sensu (em senso estrito), restrito apenas à linhagem que retém o nome original da espécie, evidenciando que o grupo abrange desde populações recombinantes até linhagens puramente clonais com diferentes comportamentos ecológicos (DRUZHININA et al., 2011).

3.3. Biocontrole com *Trichoderma harzianum*

O biocontrole consiste no uso de organismos vivos para reduzir populações de pragas e patógenos, configurando-se como uma alternativa sustentável aos métodos convencionais de controle (HAJEK, 2018).

Entre os principais agentes biocontroladores, destacam-se espécies do gênero *Trichoderma*, especialmente *Trichoderma harzianum* (MEYER et al., 2019), fungo de vida livre naturalmente presente em solos de regiões tropicais e temperadas (RIBEIRO, 2009). No Brasil, essas espécies apresentam ampla distribuição e são amplamente

estudadas devido à elevada capacidade de antagonismo contra fitopatógenos, atuando por diferentes mecanismos de ação (SILVA et al., 2007; MANTOVANI, 2023).

Trichoderma harzianum tem sido reconhecido não apenas como agente de biocontrole, mas também por sua capacidade de promover o crescimento vegetal (KLEIFELD; CHET, 1992). A eficiência de *Trichoderma* no biocontrole está diretamente relacionada aos seus mecanismos de ação, agrupados em dois eixos principais: a interação *Trichoderma*-patógeno e a interação *Trichoderma*-planta. Na primeira, destaca-se o micoparasitismo, processo no qual o bioagente reconhece, envolve e penetra as hifas de fungos fitopatogênicos, degradando a parede celular do hospedeiro por meio de enzimas hidrolíticas como quitinases, β -1,3-glucanases e proteases (HARMAN et al., 2004). Outro mecanismo relevante é a antibiose, caracterizada pela produção de metabólitos antifúngicos que inibem a germinação e o crescimento micelial de microrganismos patogênicos (VINALE et al., 2008), além da competição por nutrientes e espaço na rizosfera.

Já na interação com a planta, *Trichoderma harzianum* pode induzir resistência sistêmica e promover o crescimento vegetal ao auxiliar na solubilização de nutrientes e na adaptação a condições ambientais adversas (VINDAS-REYES et al., 2024). Durante a colonização das raízes, o fungo é atraído por compostos liberados pela planta e estabelece uma relação benéfica, estimulando a produção de fitohormônios, o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes. Além disso, libera enzimas e moléculas elicitoras capazes de ativar mecanismos de defesa vegetal, aumentando a resistência das plantas a patógenos (PANI, 2021).

Esse processo está associado à ativação de respostas imunológicas nas plantas, como a resistência sistêmica adquirida (SAR) e a resistência sistêmica induzida (ISR). A SAR está relacionada principalmente à sinalização mediada pelo ácido salicílico, enquanto a ISR envolve predominantemente os fitohormônios ácido jasmônico e etileno, responsáveis por modular respostas de defesa contra diferentes tipos de patógenos (PIETERSE et al., 2014).

A ativação dessas vias resulta na produção de proteínas relacionadas à patogênese, fitoalexinas e no fortalecimento das paredes celulares vegetais, aumentando a capacidade da planta de resistir ao ataque de microrganismos patogênicos (HERMOSA et al., 2012; SHORESH; HARMAN; MASTOURI, 2010).

Esses atributos tornam o gênero essencial no manejo de fitopatógenos de solo. Embora a maioria das espécies se desenvolva melhor entre 20 °C e 30 °C, variações ambientais no campo podem comprometer o desempenho de isolados promissores, exigindo estratégias que garantam sua estabilidade e viabilidade durante o armazenamento e aplicação (LOBO JUNIOR et al., 2019).

Nesse contexto, a microencapsulação surge como uma solução tecnológica para aumentar a eficiência desses microrganismos. A técnica consiste na incorporação do fungo em matrizes poliméricas, protegendo-o contra oscilações de temperatura, radiação e dessecação (VINDAS-REYES; CHACÓN-CERDAS; RIVERA-MÉNDEZ, 2024).

Além da proteção, a encapsulação permite a liberação gradual do agente no ambiente, aumentando sua persistência e eficácia no controle de patógenos (PINOTTI et al., 2024). Estudos reiteram que o uso de *T. harzianum* melhora a sanidade das culturas, favorece a germinação e otimiza a nutrição vegetal, especialmente pela solubilização de fósforo e pela melhoria da absorção de nutrientes pelas plantas (SILVA et al., 2024; MIRANDA et al., 2024).

3.4. Microencapsulação e aplicação em bioinsumos

Os sistemas de encapsulamento podem apresentar diferentes formas e dimensões, dependendo do método empregado e das propriedades físico-químicas dos materiais utilizados (VEMMER; PATEL, 2013). Em geral, partículas com diâmetro entre 10 e 100 µm são classificadas como microencapsuladas, enquanto aquelas com tamanho superior a 100 µm são consideradas macroencapsuladas (JOHN et al., 2011). Essas estruturas geralmente apresentam formato esférico, podendo ocorrer como esferas sólidas, ocas ou partículas com diferentes tipos de revestimento (VEMMER; PATEL, 2013).

O encapsulamento consiste em uma técnica na qual uma substância ativa é envolvida por uma matriz protetora com o objetivo de aumentar sua estabilidade e protegê-la contra condições ambientais adversas. Nesse sistema, o material encapsulado é denominado núcleo ou agente ativo, enquanto o material que o envolve é chamado de matriz ou material de revestimento. O produto final forma microcápsulas ou microesferas, geralmente organizadas em estruturas do tipo núcleo-casca ou matriz, possibilitando a proteção e a liberação controlada da substância encapsulada (NEDOVIC et al., 2011).

Na agricultura, a encapsulação de microrganismos benéficos tem se destacado como uma estratégia promissora para o desenvolvimento de bioinsumos, especialmente aqueles à base de *Trichoderma harzianum* e outras espécies do gênero *Trichoderma*. Além disso, essa tecnologia também tem sido aplicada a outros microrganismos de interesse agrícola, como fungos entomopatogênicos, bactérias promotoras de crescimento vegetal e leveduras utilizadas em processos biotecnológicos, evidenciando seu caráter versátil (WOLF, 2023).

Entre as principais vantagens da microencapsulação de microrganismos, destacam-se a proteção contra umidade e oxigênio, a redução da higroscopicidade, a possibilidade de liberação gradual do agente ativo e a maior estabilidade durante o armazenamento. Além disso, essa técnica facilita o manuseio, permite a conversão de formulações líquidas em pó e contribui para a proteção das células durante processos de secagem e frente a agentes químicos (DESAI; PARK, 2005; BRAGA, 2019). Quando formulados na forma encapsulada, esses microrganismos podem ser aplicados por práticas semelhantes às utilizadas para outros bioinsumos microbiológicos, sendo introduzidos no solo ou próximos às sementes, favorecendo sua atuação na rizosfera.

Contudo, apesar dos benefícios, a microencapsulação pode apresentar limitações, como a redução da viabilidade dos conídios ou células microbianas em função de estresses térmicos e mecânicos durante o processamento, especialmente em técnicas como o spray drying (JIN; CUSTIS, 2011). Além disso, parâmetros inadequados de processo podem comprometer a sobrevivência celular e a qualidade das partículas produzidas (BRAGA et al., 2019).

4. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura de caráter exploratório e descritivo, associada a uma análise bibliométrica, com o objetivo de identificar pesquisas acerca da microencapsulação de *Trichoderma harzianum* aplicada ao controle biológico de fitopatógenos. Pesquisas dessa natureza proporcionam maior familiaridade com o problema investigado e permitem a organização do conhecimento existente sobre determinado tema (GIL, 2002; ARAÚJO;2006; COSTA FILHO, 2025).

Para a fundamentação teórica e contextualização do tema (Introdução e Referencial Teórico), utilizou-se uma base bibliográfica ampla, composta por livros técnicos, e artigos clássicos. Adicionalmente, realizou-se uma busca sistemática nas plataformas ScienceDirect, Web of Science, Scopus. O acesso a tais repositórios foi viabilizado pelo Portal de Periódicos da CAPES, permitindo a consulta a publicações recentes e revisadas por pares. Consultou-se também a base Embrapa Alice, além dos mecanismos Google Scholar e ResearchGate.

Para a composição do corpus de análise dos Resultados e Discussão, a triagem inicial consistiu na leitura de títulos e resumos. Identificaram-se entre 30 e 70 estudos sobre o encapsulamento de fungos do gênero *Trichoderma*, dos quais foram selecionados 23 estudos científicos, sendo 13 artigos que tratam especificamente da espécie objeto deste estudo e 10 estudos complementares sobre encapsulamento de espécies do gênero *Trichoderma* e de outros microrganismos aplicados ao controle biológico e à agricultura.

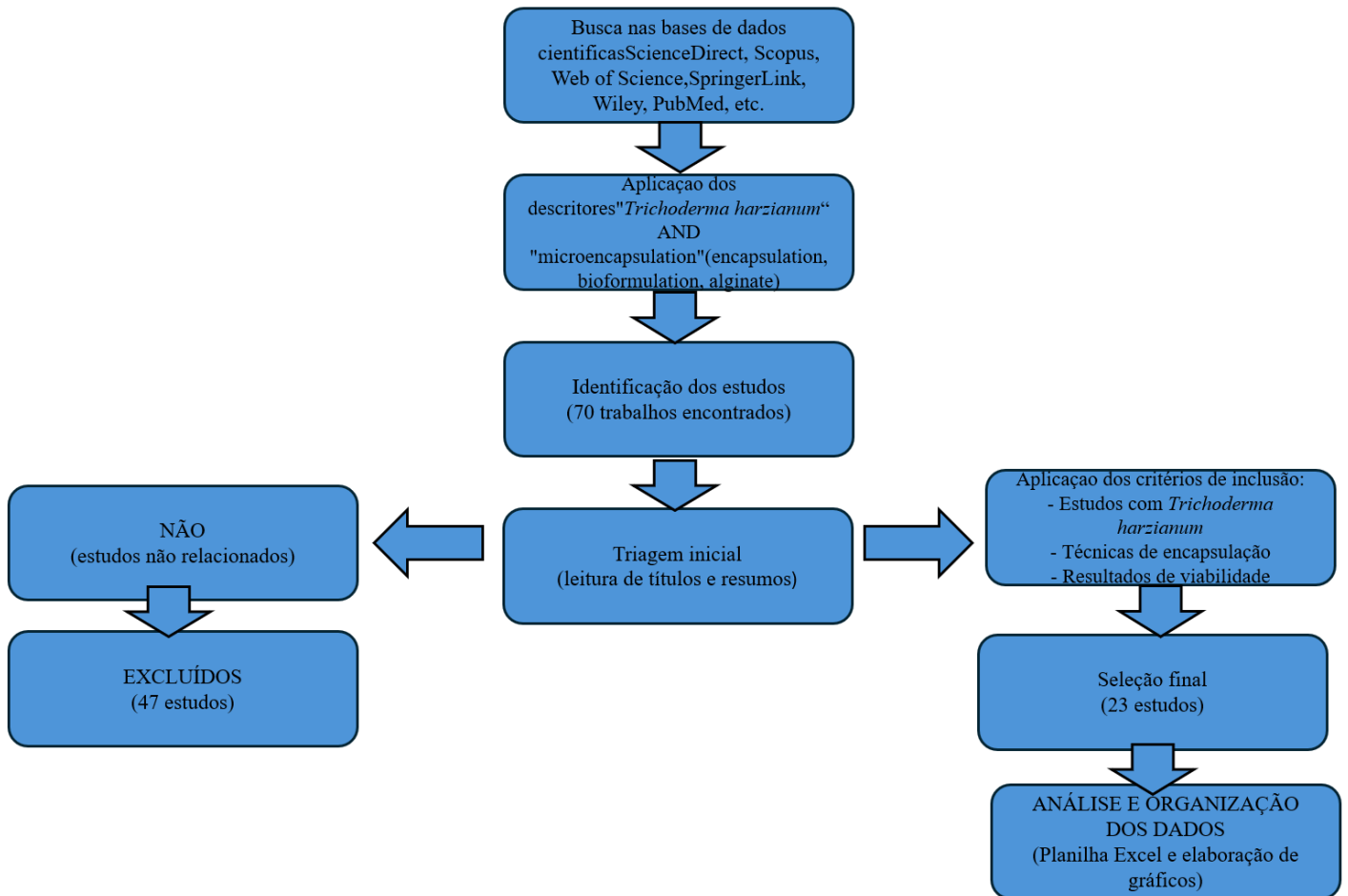
A seleção considerou como critérios de inclusão a abordagem direta de técnicas de encapsulamento e a avaliação da viabilidade do microrganismo, permitindo subsidiar a discussão das técnicas, materiais e desempenho das formulações e ampliar a compreensão dos resultados relacionados à microencapsulação do organismo biológico

A busca bibliográfica ocorreu entre 2025 e 2026, utilizando combinações de descritores em língua inglesa com o auxílio do operador booleano “AND”. Os termos empregados foram: “*Trichoderma harzianum*” e “microencapsulation”, além de variações como “encapsulation” e “bioformulation” “Alginate” (Figura 1).

Após a triagem, os trabalhos pertinentes foram selecionados para análise integral. Os dados extraídos (título, autores, afiliações, resumo, área e palavras-chave) foram

organizados em planilha eletrônica para sistematização das informações. Posteriormente, esses dados foram processados no software Microsoft Excel para a elaboração de tabelas, imagens e representações gráficas, visando facilitar a visualização e interpretação dos resultados comparativos entre as diferentes tecnologias de encapsulamento encontradas.

FIGURA 1- Fluxograma da metodologia.



Fonte: Do autor, 2026.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

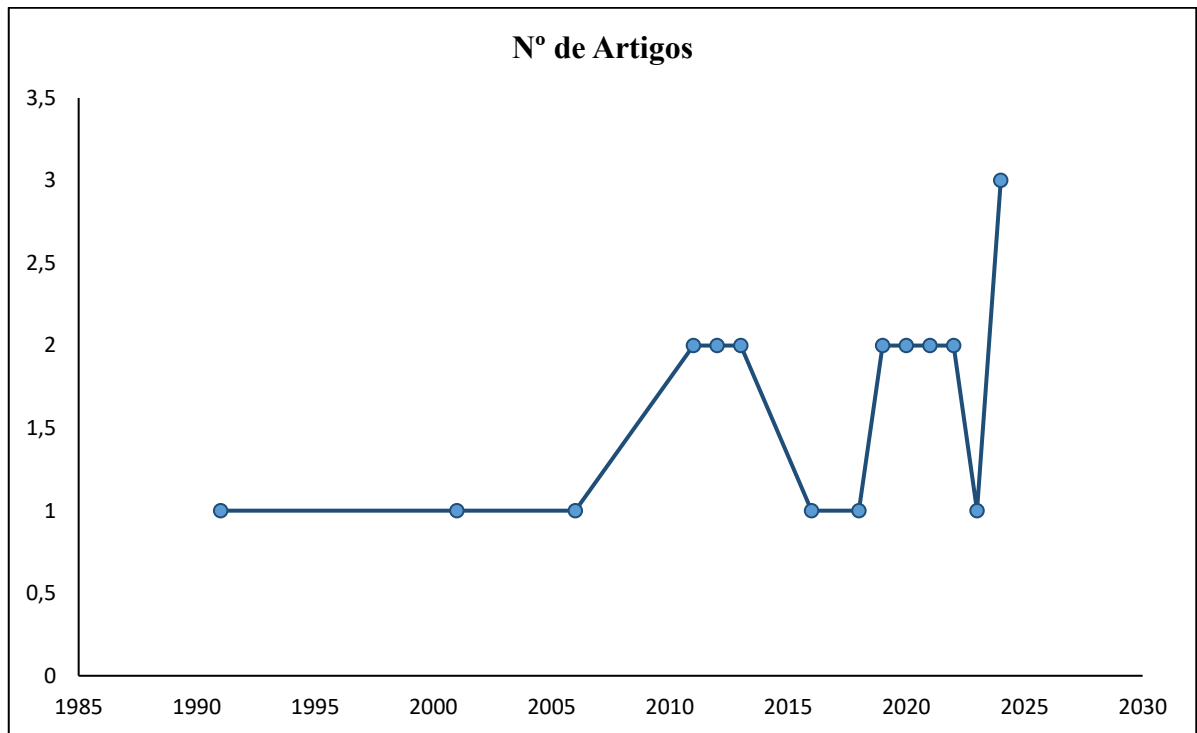
5.1. Panorama das Publicações e Caracterização da Área

Baseando-se na revisão de literatura realizada, os resultados demonstram que, após a triagem rigorosa dos trabalhos identificados, foram selecionados 23 artigos relacionados ao tema. Desses, a maioria aborda diretamente técnicas de microencapsulação aplicadas a microrganismos, com destaque para *Trichoderma harzianum* no controle de fitopatógenos, enquanto alguns estudos tratam de aspectos complementares, como produção de biomassa, formulação e aplicação de bioinoculantes.

Embora nem todos os trabalhos enfoquem exclusivamente a encapsulação de *T. harzianum*, eles foram incluídos por apresentarem contribuições relevantes sobre processos, materiais e estratégias de formulação, etapas fundamentais para o desenvolvimento de bioinsumos eficientes.

As publicações analisadas compreendem o período de 1991 a 2024, evidenciando a evolução das pesquisas ao longo de mais de três décadas. Conforme ilustrado na figura 2, observa-se uma produção científica inicialmente pontual entre as décadas de 1990 e 2000, seguida por um crescimento mais consistente a partir de 2011 e, principalmente, após 2018.

FIGURA 2- Produção científica anual sobre microencapsulação de *Trichoderma harzianum*.



Fonte: Autor (2026).

Nota-se que em 1991 foi registrado o estudo pioneiro, focado na produção de biomassa de conídios. Após esse marco, observa-se um período com baixa frequência de publicações até o início dos anos 2000, com retomada a partir de 2001 e avanços progressivos ao longo dos anos seguintes.

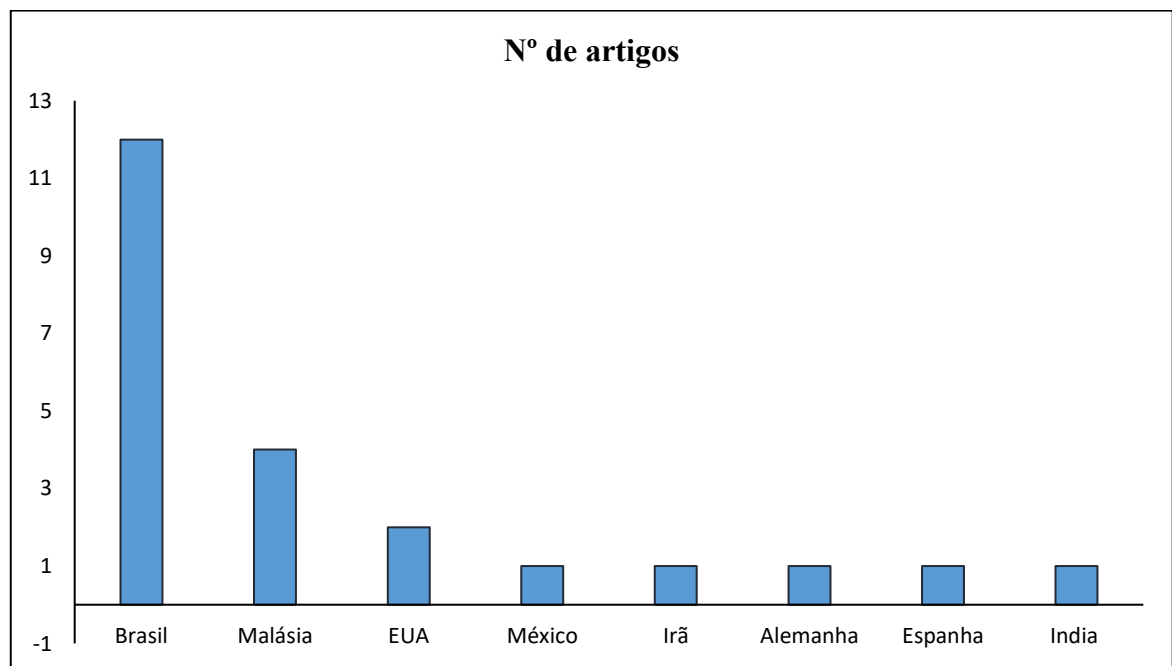
A partir de 2011, verifica-se um crescimento mais consistente da produção científica, com picos de dois artigos nos anos de 2011, 2012, 2013, 2019, 2020, 2021 e 2022, e o maior número de publicações registrado em 2024, com três estudos. Nos demais anos analisados (1991, 2001, 2006, 2016, 2018 e 2023), observa-se a ocorrência de um artigo por ano.

Essa distribuição temporal, totalizando 23 publicações selecionadas, evidencia a evolução gradual e o recente aumento do interesse científico pelo tema. Apesar desse crescimento, a quantidade de estudos ainda é relativamente limitada, o que reforça a alta especificidade da área reforça a necessidade de maiores investimentos em pesquisas voltadas ao desenvolvimento de bioinsumos e técnicas de microencapsulação, visando otimizar sua aplicação no controle biológico de fitopatógenos.

Complementarmente à análise cronológica, a distribuição geográfica das publicações (Figura 3) revela que a pesquisa apresenta caráter internacional, com predominância do Brasil, responsável pela maior parte dos estudos. Em seguida, destacam-se a Malásia e os Estados Unidos. A forte presença brasileira nesse cenário reflete a relevância do país no desenvolvimento de bioinsumos agrícolas e na busca por tecnologias que aumentem a estabilidade e a viabilidade de agentes biocontroladores em condições tropicais.

Outros pólos de pesquisa também foram identificados, como a Malásia (com estudos distribuídos entre 2012, 2020 e 2021) e os Estados Unidos (1991 e 2011), evidenciando que o interesse pelo tema se estende por diferentes décadas e contextos agrícolas. Além desses países, contribuições pontuais também foram registradas na Índia, Espanha, Alemanha, México e Irã, indicando o caráter global das investigações relacionadas ao encapsulamento de microrganismos para aplicação no controle biológico de fitopatógenos.

FIGURA 3- Distribuição geográfica das publicações selecionadas.



Fonte: Do autor, 2026.

A análise do número de citações dos estudos selecionados revela diferentes níveis de impacto científico na literatura sobre microencapsulação, incluindo *Trichoderma harzianum* e outros microrganismos.

Observou-se que cinco artigos não apresentam citações, enquanto quatro estudos possuem entre 1 e 10 citações. Outros três artigos situam-se na faixa de 11 a 49 citações, e um estudo apresenta entre 50 e 99 citações.

Destaca-se ainda que dez artigos ultrapassam 100 citações, configurando-se como os trabalhos de maior relevância e influência na área. Esses resultados indicam que uma parcela significativa das pesquisas utilizadas possui amplo reconhecimento na comunidade científica, refletindo a consolidação e o crescente interesse nas técnicas de formulação e encapsulamento aplicadas ao controle biológico.

Tabela 1- Quantidade de citações por periódico científico

Número de Citações	Número de Artigos
0	5
1 a 10	4
11 a 49	3
50 a 99	1
Mais que 100	10

Fonte: Autor,2026.

5.2. Materiais e Matrizes de Encapsulamento

Diferentes materiais são usados na encapsulação de *Trichoderma harzianum* e de outros microrganismos, variando conforme a técnica empregada. Na gelificação iônica, o material mais difundido é o alginato de sódio, devido à sua capacidade de formar hidrogéis estáveis na presença de íons cálcio (Ca^{2+}), o que permite o aprisionamento de microrganismos em condições brandas de temperatura e pH (PAULA et al., 2010;

CARVALHO et al., 2006). Em determinadas formulações, o alginato é combinado com quitosana ou argilas, como a montmorilonita, que contribuem para o aumento da resistência estrutural e para a redução da perda de umidade das microcápsulas (ADZMI et al., 2012).

Na técnica de spray drying, empregam-se predominantemente materiais termoprotetores, como amido, goma arábica e maltodextrina. Esses compostos atuam como agentes de matriz e auxiliam na proteção dos conídios durante o processo de secagem por atomização, reduzindo o impacto do estresse térmico e favorecendo a manutenção da viabilidade celular (MUÑOZ-CELAYA et al., 2012).

Já na coacervação, a encapsulação ocorre por meio da interação entre polímeros naturais, sendo comum a utilização de gelatina associada a polissacarídeos, como goma arábica ou quitosana. Esse sistema permite a formação de uma camada protetora ao redor das células microbianas, contribuindo para a estabilidade da formulação e para a liberação gradual do agente biológico (VEMMER; PATEL, 2013).

Por fim, o uso de nanocristais de celulose (CNC) e carboximetilcelulose (CMC) representa um avanço recente nas formulações. Esses polímeros derivados da celulose têm sido empregados para elevar a estabilidade estrutural das microcápsulas e otimizar a proteção contra fatores ambientais. Conforme demonstrado por Wolf (2023), materiais à base de celulose podem atuar como barreira contra a radiação ultravioleta, contribuindo para a manutenção da atividade biológica de *T. harzianum* em condições adversas.

5.3. Técnicas de microencapsulamento aplicadas a microrganismos

5.3.1. Método Físico: Spray drying (secagem por atomização)

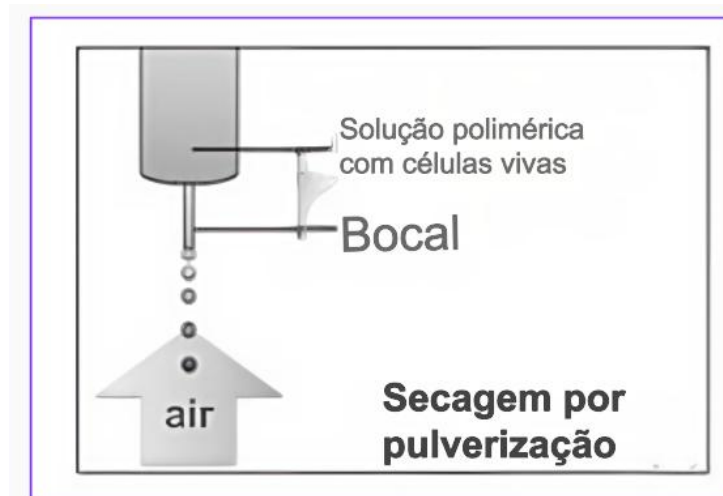
O spray drying é amplamente reconhecido pela alta eficiência operacional e pela possibilidade de aplicação em escala industrial. Nesse processo, uma suspensão contendo conídios e polímeros encapsulantes é atomizada em pequenas gotículas dentro de uma corrente de ar aquecido, promovendo a rápida evaporação do solvente e a formação de micropartículas secas que aprisionam o microrganismo na matriz polimérica (JIN; CUSTIS, 2011), conforme ilustrado na Figura 5.

Nesse contexto, a eficiência do spray drying pode ser observada em estudos experimentais. Os resultados apresentados por Farias (2009) evidenciam que a microencapsulação por secagem por atomização, utilizando maltodextrina como matriz encapsulante, foi eficaz na manutenção da viabilidade dos esporos de *Trichoderma harzianum* no curto prazo. O armazenamento sob refrigeração garantiu estabilidade ao longo de um mês, enquanto a temperatura ambiente resultou em redução significativa, demonstrando a influência das condições de estocagem na longevidade do produto.

A literatura reforça que essa técnica é aplicável não apenas a *Trichoderma*, mas também a outros microrganismos. Jin e Custis (2011) demonstraram que a secagem por atomização pode ocorrer em temperaturas elevadas sem comprometer significativamente a integridade celular. De forma complementar, Muñoz-Celaya et al. (2012) observaram que o uso de polímeros de carboidratos como matrizes protetoras reduz o estresse térmico do processo, evidenciando que a escolha do material de revestimento é determinante para a manutenção da viabilidade dos conídios (VEMMER; PATEL, 2013; SILVA et al., 2014).

Contudo, apesar dessas vantagens, a técnica apresenta limitações. Segundo Santos (2026), pode ocorrer degradação de compostos sensíveis ao calor, mesmo com o curto tempo de exposição às altas temperaturas. Além disso, a escolha inadequada do material de parede pode comprometer o processo, especialmente em condições de alta viscosidade, que podem causar entupimento do bico atomizador e reduzir a eficiência do encapsulamento.

FIGURA 5- Esquema do processo de microencapsulação por spray drying.



Fonte: Adaptado de Vemmer e Patel (2013).

5.3.2. Métodos Físico-Químicos: Coacervação Complexa

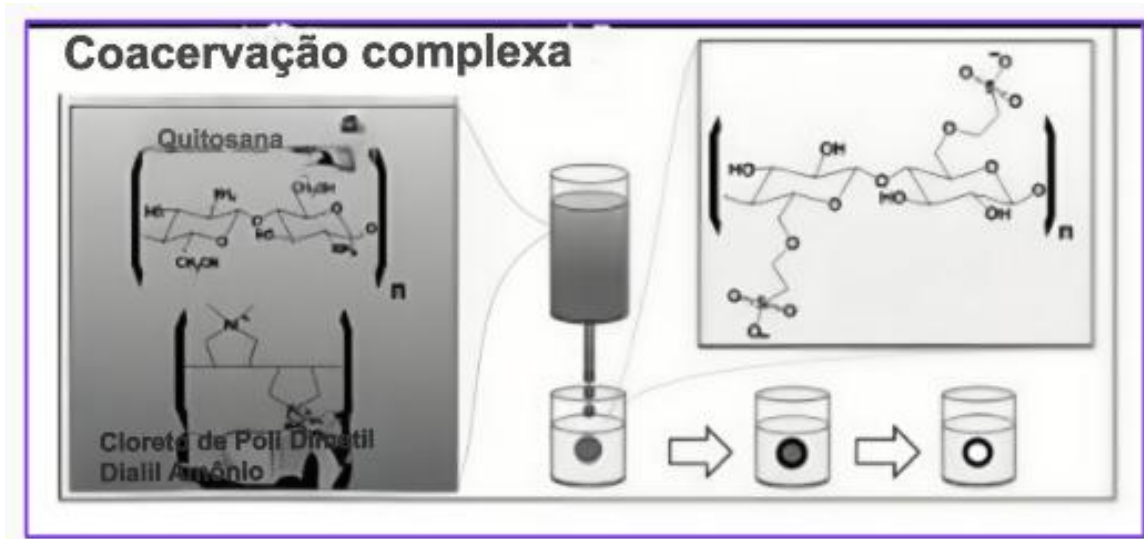
A coacervação complexa é um processo de separação de fases induzido pela interação eletrostática entre polímeros solúveis em água que apresentam cargas opostas. Como resultado dessa interação, forma-se uma fase rica em polímeros, denominada coacervado, que se deposita ao redor do material ativo, originando a microcápsula (CELESTINO, 2022).

De modo geral, esse método ocorre em três etapas principais. Na primeira etapa, o material de parede é dissolvido em solução e o material de núcleo é disperso nesse meio. Na segunda etapa, adiciona-se um segundo polímero com carga oposta, promovendo a formação da fase coacervada que se deposita ao redor do núcleo, formando uma camada de revestimento. Por fim, na terceira etapa, ocorre a solidificação da cápsula, geralmente por processos de reticulação, dessolvatação ou tratamento térmico, permitindo a estabilização das microcápsulas para posterior secagem e armazenamento (JYOTHI et al., 2010; VEMMER; PATEL, 2013; CELESTINO, 2015) como ilustrado na Figura 6.

Embora menos utilizada que a gelificação iônica em formulações contendo *Trichoderma*, a coacervação complexa apresenta limitações que devem ser consideradas. Segundo Santos (2026), a técnica é sensível a variações de pH, temperatura e força iônica, o que pode comprometer a estabilidade das partículas. Além disso, exige controle rigoroso das condições operacionais e pode resultar em perdas do material ativo durante as etapas de endurecimento e secagem, reduzindo a eficiência do encapsulamento.

Apesar dessas restrições, a técnica apresenta potencial para sistemas de liberação controlada. Estudos de Silva et al. (2024) indicam que a reticulação das microcápsulas aumenta a eficiência de encapsulação e contribui para a manutenção da viabilidade do fungo durante o armazenamento. Nesse contexto, a matriz polimérica atua como uma barreira física, reduzindo a exposição do microrganismo a condições ambientais adversas (VEMMER; PATEL, 2013), destacando-se como uma estratégia promissora para proteção e liberação gradual do agente biológico.

FIGURA 6 - Esquema do processo de microencapsulação por coacervação



Fonte: Adaptado de Vemmer e Patel (2013).

5.3.3. Métodos Físico-Químicos: Gelificação Iônica

A gelificação iônica é amplamente utilizada na microencapsulação devido à sua simplicidade, versatilidade e por ocorrer em condições brandas, sem necessidade de altas temperaturas ou solventes orgânicos. O método baseia-se na interação entre polímeros aniônicos, como o alginato de sódio, e íons divalentes, principalmente cálcio (Ca^{2+}), formando uma rede tridimensional de hidrogel capaz de aprisionar o material encapsulado. Essa matriz atua como barreira protetora contra fatores ambientais e permite a liberação gradual do microrganismo, como os conídios (ARANHA, 2015).

A formação das microesferas pode ocorrer por gelificação iônica interna ou externa. Na gelificação interna, um sal de cálcio insolúvel é adicionado à solução polimérica contendo o material de núcleo e, após emulsificação em fase oleosa, a redução do pH promove a liberação dos íons Ca^{2+} dentro das gotículas, formando microesferas gelificadas a partir do interior (CELESTINO et al., 2022; VEMMER; PATEL, 2013; ARANHA, 2015). Já na gelificação externa, a solução de alginato é gotejada em uma solução de cloreto de cálcio, onde a reticulação ocorre inicialmente na superfície da gota e avança gradualmente para o interior, formando microesferas estáveis por um processo de gelificação “de fora para dentro” (BENAVIDES et al., 2016; CELESTINO et al., 2022) conforme ilustrado na Figura 7.

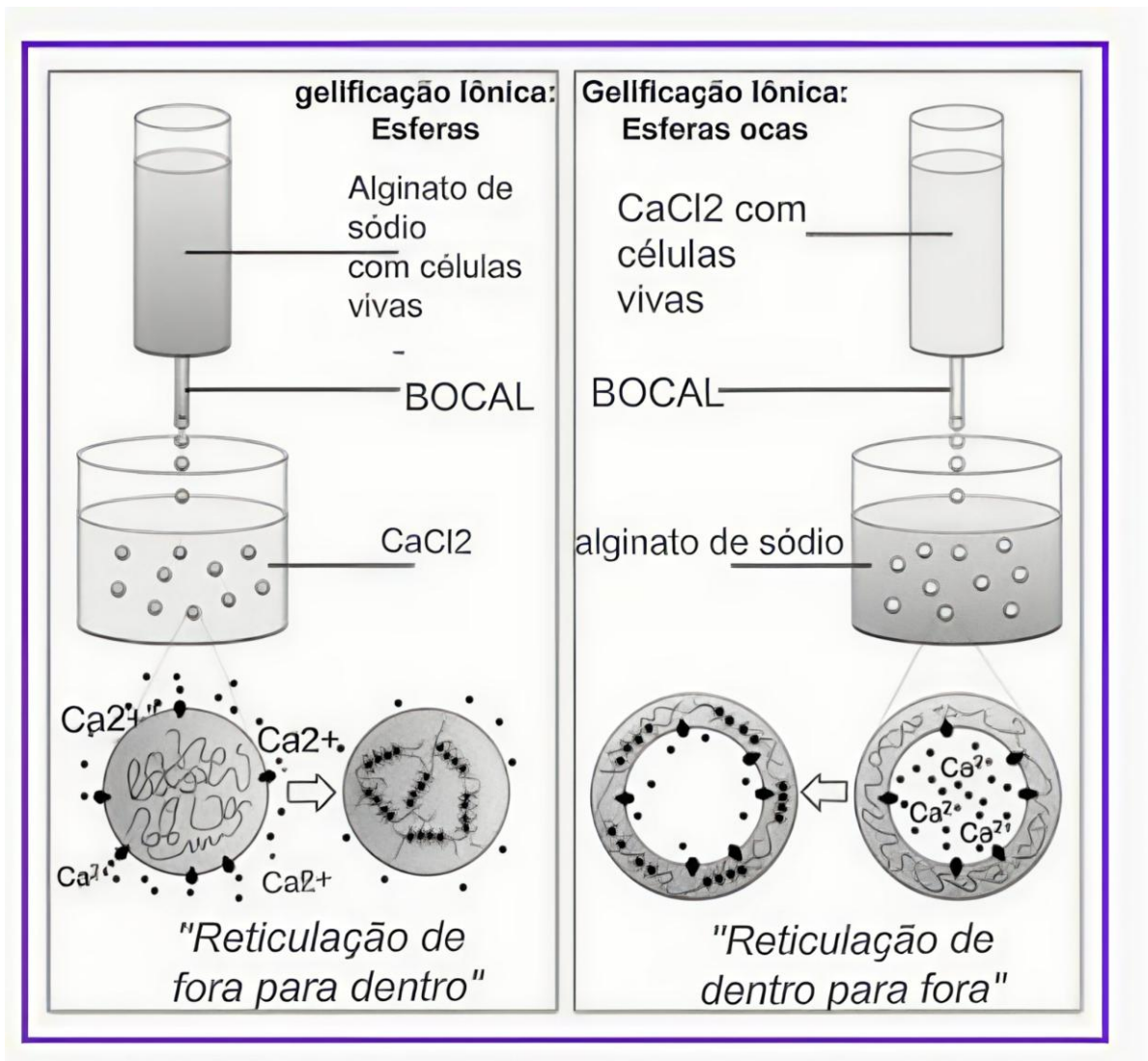
Diversos estudos analisado corroboram o uso do alginato como matriz encapsulante padrão. Adzmi e Meon (2012) e Adzmi e Musa (2021) demonstraram que a gelificação iônica associada à adição de montmorilonita e amido resulta em estruturas mais estáveis, capazes de regular a umidade interna e prolongar significativamente o tempo de prateleira (shelf-life) das formulações.

Além da estabilidade, a eficácia prática dessas formulações também tem sido demonstrada em diferentes sistemas agrícolas. Anuar et al. (2020) verificaram a eficiência do encapsulamento em alginato no controle de fitopatogenos, enquanto Lotfalinezhad e Taheri (2024) observaram redução significativa na incidência de patógenos de solo em cultivos de tomate tratados com microesferas contendo *T. harzianum*.

Avanços recentes também incluem a incorporação de nanomateriais às matrizes encapsulantes. Brondi e Florencio (2021) e Wolf (2023) introduziram nanocompósitos de celulose e carboximetilcelulose (CMC) ao sistema de gelificação, criando uma barreira adicional contra a radiação ultravioleta.

Entretanto, apesar desses avanços, a técnica apresenta limitações. Segundo Santos (2026), a gelificação iônica pode gerar partículas com estrutura heterogênea, especialmente na gelificação externa, em que a reticulação ocorre predominantemente na superfície, dificultando a difusão até o núcleo. Como consequência, podem formar-se partículas com interior aquoso, comprometendo a proteção do agente ativo. Além disso, há maior dificuldade no encapsulamento de compostos hidrofílicos, o que pode reduzir a eficiência do processo.

FIGURA 7- Esquema do processo de microencapsulação por gelificação iônica (A reticulação externa; B reticulação interna).



Fonte: Adaptado de Vemmer e Patel (2013).

5.3.4. Síntese dos Resultados e Análise Integrada

A síntese dos 23 estudos selecionados, apresentada no Quadro 1, responde de forma objetiva à questão norteadora desta pesquisa. Embora o foco central seja *Trichoderma harzianum*, parte dos estudos analisados aborda outras espécies do gênero *Trichoderma* e diferentes microrganismos, permitindo uma análise mais ampla dos processos de microencapsulação.

Essa abordagem é relevante, pois evidencia que os mecanismos de proteção, estabilidade e liberação controlada são consistentes em nível de gênero, reforçando a aplicabilidade das técnicas de encapsulamento para diferentes espécies com potencial biocontrolador.

QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (1-4)

Títulos	Autores	Periódicos	Efeitos
Production of conidial biomass of <i>Trichoderma harzianum</i> for biological control	Harman, G. E.; Jin, X.; Stasz, T. E.	Biological Control	Definiu parâmetros para a produção massal de conídios, otimizando a biomassa para aplicações em controle biológico.
Microencapsulating aerial conidia of <i>T. harzianum</i> through spray drying at elevated temperatures	Jin, X.; Custis, D.	Biological Control	Validou o uso de secagem por atomização (spray drying) para microencapsulamento, mantendo a viabilidade celular.
Preparation, characterisation and viability of encapsulated <i>T. harzianum</i> in alginate-montmorillonite	Adzmi, F.; Meon, S.	Journal of Microencapsulation	O uso de argila montmorilonita como aditivo ao alginato melhorou a estabilidade e a sobrevivência dos conídios.
Spray-drying microencapsulation of <i>T. harzianum</i> in carbohydrate polymers matrices	Muñoz-Celaya, A. L.; Ortiz-García, M.	Carbohydrate Polymers	Avaliou diferentes polímeros de carboidratos como matrizes protetoras durante o processo de desidratação.

QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (5-8)

Títulos	Autores	Periódicos	Efeitos
Uso de polímeros em formulações para armazenamento de <i>T. harzianum</i> e <i>T. viride</i>	Parzianello, F. R.; Antonioli, Z. I.	Ciência Rural	Demonstrou que o uso de polímeros em bioformulações estende o tempo de prateleira e a eficácia dos microrganismos.
<i>Trichoderma harzianum</i> -based novel formulations: potential applications for management	Fraceto, L. F.; Maruyama, C. R.	Journal of Chemical Technology & Biotechnology	Apresentou novas formulações para enfrentar desafios agrícolas modernos, focando na sustentabilidade e eficiência.
Encapsulation of <i>T. harzianum</i> preserves enzymatic activity and enhances potential	Maruyama, C. R.; Bilesky-Jose, N.	Frontiers in Bioengineering	Comprovou que o encapsulamento protege as enzimas do fungo, aumentando seu poder de biocontrole no campo.
Alginate encapsulation of <i>T. harzianum</i> against brown spot disease on rice	Mohd Anuar, I. S.; Ku Sulong, K. A.	Food Research	Aplicou a tecnologia de alginato para combater patógenos específicos no arroz, com resultados positivos de controle.

QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (8-13)

Títulos	Autores	Periódicos	Efeitos
Development of alginate-montmorillonite-starch with <i>T. harzianum</i> and conidia shelf life	Adzmi, F.; Musa, M. H.	Journal of Agricultural Science	A combinação de amido, argila e alginato resultou em aumento significativo na vida de prateleira dos conídios.
Encapsulation of <i>T. harzianum</i> with nanocellulose/carboxymethyl cellulose nanocomposite	Brondi, M.; Florencio, C.	Carbohydrate Polymers	Utilizou nanocompósitos de nanocelulose e CMC, formando uma barreira física mais resistente e eficaz.
Encapsulamento de <i>T. harzianum</i> em matrizes à base de nanocelulose e CMC	Wolf, M. G. B.	Dissertação (UFSCar)	Investigou o uso de nanobiopolímeros para criar bioinsumos de liberação controlada e alta estabilidade.
Preparation and assessment of alginate-microencapsulated <i>T. harzianum</i> for controlling soil fungi	Lotfalinezhad, E.; Taheri, A.	International Journal of Biological Macromolecules	Demonstrou alta eficácia no controle de fungos de solo (<i>Sclerotinia</i> e <i>Rhizoctonia</i>) em tomate.
Imobilização de <i>Trichoderma</i> spp. em alginato e viabilidade sob armazenamento	da Silva, M. C.; da Silva, L. R.	Diversitas Journal	Verificou que a imobilização em alginato preserva a viabilidade do fungo sob diferentes temperaturas de armazenamento.

QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (13-18)

Título	Autores	Periódico	Efeitos
Bioencapsulation of microbial inoculants for better soil-plant fertilization. A review	Schoebitz, M.; López, M. D.; Roldán, A.	Agronomy for Sustainable Development	Destaca o uso de encapsulação para melhorar a eficiência de inoculantes e a fertilidade do solo.
Bio-encapsulation of microbial cells for targeted agricultural delivery	John, R. P. et al.	Critical Reviews in Biotechnology	Apresenta estratégias de encapsulação para liberação controlada e maior eficiência no campo.
Review of encapsulation methods for biocontrol agents	Vemmer, M.; Patel, A. V.	Biological Control	Revisão das principais técnicas de encapsulamento aplicadas a agentes de controle biológico.
Métodos de encapsulamento de fungos entomopatogênicos para sua aplicação no controle biológico	Celestino, M. F.; Santos Oliveira, J. A.	Research, Society and Development	Descreve métodos de encapsulação voltados à viabilidade e aplicação de fungos no controle biológico.
Desenvolvimento e avaliação de micropartículas contendo microrganismos viáveis utilizados como bioinseticida	Zimmermann, A. L. S.	Tese (USP)	Avalia micropartículas como estratégia para manter viabilidade e aplicação como bioinseticida.

QUADRO 1- Síntese dos estudos sobre produção e microencapsulação (18-23)

Título	Autores	Periódico	Efeitos
Micropartículas poliméricas como sistema carreador do fungo <i>Trichoderma harzianum</i> visando aplicações na agricultura	Maruyama, C. R.	Dissertação	Propõe uso de micro-partículas poliméricas para liberação controlada do fungo.
Microencapsulação de conídios de <i>Trichoderma asperellum</i> por spray drying para produção de fungicida microbiológico	Braga, A. B. A. C. et al.	Dissertação	Demonstra a viabilidade do spray drying na produção de fungicidas microbiológicos.
Microencapsulação: Inovação em diferentes áreas	Suave, J. et al.	Revista Saúde e Ambiente	Apresenta aplicações gerais da microencapsulação em diferentes setores.
Micro-organismos encapsulados na promoção do crescimento inicial de frutíferas	Nascimento, F. C.	Dissertação	Evidencia efeitos positivos na promoção do crescimento vegetal com microrganismos encapsulados.
Microencapsulação por spray drying de leveduras epifíticas do café para inoculação no processo fermentativo	Martins, P. M. M.	Dissertação	Avalia encapsulação de leveduras para uso em processos fermentativos com manutenção da viabilidade.

A convergência das evidências bibliográficas confirma que a microencapsulação constitui uma estratégia eficaz para mitigar as limitações operacionais que historicamente restringem o uso de *T. harzianum*. A fundamentação dessa tecnologia reside, inicialmente, na qualidade da biomassa. Conforme preconizado por Harman et al. (1991), o preparo nutricional adequado molda a resistência do fungo, permitindo que ele suporte os estresses mecânicos da formulação. Essa resiliência prévia é determinante para a sobrevivência em processos de *spray drying*, nos quais as investigações de Jin et al. (2011) e Muñoz-Celaya et al. (2012) comprovam que a combinação de biopolímeros e açúcares assegura taxas de viabilidade superiores a 80%.

No que tange à estabilidade temporal, o *shelf-life* é significativamente estendido pela compartimentação do fungo. Estudos de Adzmi et al. (2012; 2021) revelam que a adição de amido e montmorilonita ao alginato estabelece uma barreira física que regula a troca de umidade e protege o microrganismo por períodos superiores a um ano. Para além do armazenamento, essa proteção é essencial sob radiação ultravioleta em condições de campo.

Nesse sentido, a tese de Wolf (2023) e o estudo de Maruyama et al. (2019) apresentam avanços ao utilizarem nanocristais de celulose (NCC) e CMC (carboximetilcelulose) como agentes fotoprotetores, preservando a atividade enzimática do fungo mesmo sob exposição solar direta.

A sofisticação dessas bioformulações reflete-se no incremento da eficácia biocontroladora, corroborando a análise de Fraceto et al. (2018) sobre a modernização dos insumos biológicos. Evidências experimentais são contundentes: Anuar et al. (2020) reportaram 85% de inibição contra patógenos do arroz, enquanto Lotfalinezhad et al. (2024) demonstraram que a incidência de doenças radiculares em tomateiros pode ser reduzida de 73,3% para 8,8% com o uso do fungo encapsulado.

Adicionalmente, a incorporação dos estudos complementares amplia a compreensão da microencapsulação como uma tecnologia transversal, não restrita a *T. harzianum*, mas aplicável a diferentes microrganismos. Trabalhos de revisão, como os de Schoebitz et al. (2013), John et al. (2011) e Vemmer e Patel (2013), consolidam o entendimento de que a encapsulação promove não apenas proteção física, mas também liberação controlada e maior eficiência na interação solo-planta.

No mesmo sentido, estudos como os de Celestino e Santos Oliveira (2022) e Zimmermann (2001) evidenciam que diferentes técnicas podem ser adaptadas para fungos entomopatogênicos e bioinseticidas, reforçando a flexibilidade da tecnologia. Maruyama (2019) demonstra que micropartículas poliméricas atuam como sistemas carreadores eficientes, enquanto Braga et al. (2018) confirmam a viabilidade do *spray drying* em escala industrial.

Além disso, estudos como o de Suave et al. (2006) destacam o caráter multidisciplinar da microencapsulação, enquanto Nascimento (2016) evidencia seu potencial na promoção do crescimento vegetal. Por fim, Martins (2022) demonstra que a técnica também é eficaz na manutenção da viabilidade de leveduras em processos fermentativos.

Dessa forma, a análise integrada dos estudos confirma que a microencapsulação representa uma solução tecnológica robusta e versátil, capaz de aumentar a estabilidade, a eficiência e a aplicabilidade de microrganismos em diferentes contextos, consolidando-se como ferramenta essencial para o avanço dos bioinsumos e do controle biológico na agricultura moderna.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, conclui-se que, com base nos efeitos observados nos estudos analisados, a microencapsulação de *Trichoderma harzianum* configura-se como uma estratégia promissora para aumentar a eficiência de bioinsumos utilizados no controle biológico de fitopatógenos. Considerando o conjunto ampliado de evidências, que inclui estudos diretamente voltados à espécie e trabalhos complementares envolvendo outras espécies do gênero *Trichoderma* e microrganismos, verifica-se a consistência dos resultados quanto aos benefícios das técnicas de encapsulamento.

A análise dos trabalhos selecionados permitiu identificar aspectos relevantes que orientam pesquisas futuras relacionadas ao tema: (1) o tipo de matriz polimérica influencia diretamente a estabilidade e a viabilidade dos conídios encapsulados; (2) materiais como alginato, amido e montmorilonita contribuem para o aumento do tempo de prateleira das formulações; (3) técnicas como *spray drying* demonstram potencial para produção em escala industrial, mantendo a viabilidade celular; (4) a incorporação de nanomateriais, como nanocelulose e carboximetilcelulose, pode aumentar a resistência das microcápsulas e proteger o microrganismo contra fatores ambientais; e (5) formulações encapsuladas apresentam maior eficácia no controle de fitopatógenos em diferentes sistemas agrícolas.

Quanto à análise bibliométrica realizada, verificou-se que as publicações sobre microencapsulação de microrganismos com foco em *Trichoderma* apresentam distribuição temporal entre 1991 e 2024, totalizando 23 estudos analisados. Observou-se ainda que parte significativa desses trabalhos possui elevado número de citações, indicando reconhecimento e relevância científica na área. A distribuição geográfica evidencia a participação de diversos países, com destaque para o Brasil, a Malásia e os Estados Unidos, refletindo o interesse internacional no desenvolvimento de bioformulações para o controle biológico.

Apesar dos avanços observados, o conhecimento científico sobre a microencapsulação de *T. harzianum* ainda pode ser considerado limitado em termos quantitativos, especialmente quando considerados apenas os estudos diretamente voltados à espécie. Isso evidencia a necessidade de ampliação das pesquisas focadas no aprimoramento das técnicas de encapsulamento, no desenvolvimento de novas matrizes

poliméricas e na validação das formulações em condições de campo. Dessa forma, o aprofundamento dos estudos nessa área poderá contribuir para o desenvolvimento de bioinsumos mais estáveis, eficientes e comercialmente viáveis, fortalecendo o uso de agentes biológicos no manejo sustentável de doenças de plantas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ADZMI, F.; MEON, S. Preparation, characterisation and viability of encapsulated *Trichoderma harzianum* in alginate-montmorillonite. **Journal of Microencapsulation**, v. 29, n. 3, p. 205–210, 2012.

ADZMI, F.; MUSA, M. H.; SIDDIQUI, Y.; YUN, W. M.; HAMID, H. A.; ABDU, A.; ABIRI, R. *Development of alginate-montmorillonite-starch with encapsulated Trichoderma harzianum and evaluation of conidia shelf life*. **Journal of Agricultural Science**, v. 13, n. 5, p. 1–11, 2021.

AKHTAR, K.; KHALID, A. M.; AKHTAR, M. W.; GHOURI, M. A. Removal and recovery of uranium from aqueous solutions by Ca-alginate immobilized *Trichoderma harzianum*. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 4551–4558, 2009.

ANUAR, I. S.; KU SULONG, K. A. Alginate encapsulation of *Trichoderma harzianum* against brown spot disease on rice. **Food Research**, v. 4, n. 2, p. 420–426, 2020.

ARANHA, C. P. M. **Microencapsulação por gelificação iônica e interação eletrostática do corante de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.)**. [S.l.], 2015.

ARAÚJO, Carlos AA. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em questão**, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.

BENAVIDES, S.; CORTÉS, P.; PARADA, J.; FRANCO, W. Development of alginate microspheres containing thyme essential oil using ionic gelation. **Food Chemistry**, v. 204, p. 77–83, 2016.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009.

BRAGA, A. B. A. C.; SILVA, R. N.; ALMEIDA, F. B.; SOUZA, J. T. **Microencapsulação de conídios de *Trichoderma asperellum* por spray drying para produção de fungicida microbiológico**. 2019. Dissertação (Mestrado). [S.l.].

BRONDI, M.; FLORENCIO, C. Encapsulation of *Trichoderma harzianum* with nanocellulose/carboxymethyl cellulose nanocomposite. **Carbohydrate Polymers**, v. 247, p. 116695, 2020.

CARVALHO, W.; CANILHA, L.; SILVA, S. S. Uso de biocatalisadores imobilizados: uma alternativa para a condução de bioprocessos. **Revista Analytica**, v. 23, p. 60–70, 2006.

CELESTINO, M. F.; OLIVEIRA, J. A. S. Métodos de encapsulamento de fungos entomopatogênicos para sua aplicação no controle biológico. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, 2022.

CHAVERRI, P.; SAMUELS, G. J.; STEWART, E. L.; WILSON, A. W.; JAKLITSCH, W. M. Systematics of the *Trichoderma harzianum* species complex and the re-identification of commercial biocontrol strains. **Mycologia**, [S.l.], v. 107, n. 3, p. 558–590, 2015.

CHET, I.; INBAR, J.; HADAR, I. Mycoparasitism and lytic enzymes. In: HARMAN, G. E.; KUBICEK, C. P. (ed.). **Trichoderma and Gliocladium**. London: Taylor & Francis, 1998. p. 153–172.

CORREIA, A. M. R.; MESQUITA, A. **Mestrados e doutoramentos**. Porto: Vida Econômica Editorial, 2014.

COSTA FILHO, A. D. **Uso de bactérias solubilizadoras de fosfato na cultura da soja**. 2025. 25 f. Monografia (Especialização em Bioinsumos) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2025.

DESAI, K. G. H.; LIU, C.; PARK, H. J. Characteristics of vitamin C immobilized particles and sodium alginate beads containing immobilized particles. **Journal of Microencapsulation**, v. 22, n. 4, p. 363–376, 2005.

DRUZHININA, I. S.; SEIDL-SEIBOTH, V.; HERRERA-ESTRELLA, A.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M.; MONTE, E.; MUKHERJEE, P. K.; ZEILINGER, S.; GRIGORIEV, I. V.; KUBICEK, C. P. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic lifestyle. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, n. 10, p. 749–759, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Agrotóxicos no Brasil**. Agência de Informação Tecnológica. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Bioinsumos: tendência de crescimento no Brasil**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85620702/bioinsum>.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **How plant diseases threaten global food security**. Rome: FAO, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/one-health/highlights/how-plant-diseases-threaten-global-food-security>. Acesso em: 18 jan. 2026.

FARIAS, V. L. **Estudo das condições de secagem por atomização de conídios de *Trichoderma harzianum* LCB47**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

FERNANDES, C. D. F.; SANTOS, M. R. A.; SILVA, D. S. G.; SANTIAGO, V.; ALVES, A.; SANTANA, T. D. J.; RONDÔNIA. Levantamento dos principais agentes fitopatogênicos presentes em culturas no Estado de Rondônia. Porto Velho: **Embrapa Rondônia**, 2006.

FRACETO, L. F.; GRILLO, R.; MELO, N. F. S.; ROSA, A. H.; LIMA, R.; FERRARI, M.; FONSECA, M. M.; SANTOS, M. A. *Trichoderma harzianum*-based novel formulations: potential applications for management of next-gen agricultural challenges. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, [S.l.], v. 93, p. 2056–2063, 2018.

HAJEK, A. E.; EILENBERG, J. **Natural enemies: an introduction to biological control**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2018.

HARMAN, G. E.; JIN, X.; STASZ, T. E. Production of conidial biomass of *Trichoderma harzianum* for biological control. **Biological Control**, v. 1, n. 1, p. 23–28, 1991.

HARMAN, G. E.; PETZOLDT, R.; COMIS, A.; CHEN, J. Interactions between *Trichoderma harzianum* strain T22 and maize inbred line Mo17 and effects of these interactions on diseases caused by *Pythium ultimum* and *Colletotrichum graminicola*. **Phytopathology**, Lancaster, 2004.

HECK, D. L. **Biocontrole de patógenos necrotróficos do milho via microbiolização de sementes com procariotos**. Cerro Largo: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2019.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and its genes. **Microbiology**, [S.l.], v. 158, p. 17–25, 2012.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de comercialização de agrotóxicos e afins no Brasil – 2022**. Brasília: IBAMA, 2023

JAKLITSCH, W. M. European species of *Hypocrea*. Part I: The green-spored species. **Studies in Mycology**, v. 63, p. 1–91, 2009.

JIN, X.; CUSTIS, D. Microencapsulating aerial conidia of *Trichoderma harzianum* through spray drying at elevated temperatures. **Biological Control**, v. 41, n. 3, p. 300–305, 2011.

JOHN, R. P.; TYAGI, R. D.; BRAR, S. K.; SURAMPALLI, R. Y.; PRÉVOST, D. Bio-encapsulation of microbial cells for targeted agricultural delivery. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 31, n. 3, p. 211–226, 2011.

JYOTHI, N. V. N., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Ramaiah, P. S., & Srawan, G. Y. (2010). Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. **Journal of Microencapsulation**, 27(3), 187–197.

KLEIFELD, O.; CHET, I. *Trichoderma harzianum* interaction with plants and effect on growth response. **Plant and Soil**, v. 144, p. 267–272, 1992.

LIMA, A. L. **Caracterização morfológica, molecular e bioquímica de *Trichoderma* spp.** 2002. Dissertação – Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

LOBO JUNIOR, M.; BRANDÃO, R. S.; GERALDINE, A. M. **Produtividade do feijoeiro comum em campo em tratamentos com *Trichoderma harzianum* e *Trichoderma asperellum***. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2019.

LOTFALINEZHAD, E.; TAHERI, A. Preparation and assessment of alginate-microencapsulated *Trichoderma harzianum* for controlling soil fungi. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 259, p. 129278, 2024.

MANTOVANI, F. V. **Uso do *Trichoderma* na agricultura**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2023.

MARTINS, P. M. M. **Microencapsulação por spray drying de leveduras epifíticas do café para inoculação no processo fermentativo**. [S.l.] 2022.

MARUYAMA, C. R. **Micropartículas poliméricas como sistema carreador do fungo *Trichoderma harzianum* visando aplicações na agricultura**. 2019.

MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da. ***Trichoderma*: uso na agricultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. p. 166.

MIRANDA, M. B.; CORRÊA, P. R. R. **Caracterização morfológica de *Trichoderma* para uso on farm**. [S.l.], 2024.

MONTE, E.; HERMOSA, R.; SIVASITHAMPARAM, K.; MONTEIRO, V. N.; LORITO, M. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (ed.). ***Trichoderma*: uso na agricultura**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 181–199.

MUÑOZ-CELAYA, A. L.; ORTIZ-GARCÍA, M. Spray-drying microencapsulation of *Trichoderma harzianum* in carbohydrate polymer matrices. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, p. 129–135, 2012.

MYCOBANK. ***Trichoderma* – name details page**. Disponível em: <https://www.mycobank.org/page/Name%20details%20page/name/Trichoderma>. Acesso em: 18 jan. 2026.

NASCIMENTO, F. C. do. **Micro-organismos encapsulados na promoção do crescimento inicial de frutíferas.** [S.l.], 2016.

NEDOVIC, V.; KALUSEVIC, A.; MANOJLOVIC, V.; LEVIC, S.; BUGARSKI, B. **An overview of encapsulation technologies for food applications.** *Procedia Food Science*, v. 1, p. 1806–1815, 2011.

PAULA, H. C. B. de; OLIVEIRA, E. F. de; ABREU, F. O. M. S.; PAULA, R. C. M. de; MORAIS, S. M. de; FORTE, M. M. C. *Esferas (beads) de alginato como agente encapsulante de óleo de Croton zehntneri Pax et Hoffm.* *Polímeros*, São Carlos, v. 20, n. 2, p. 112–120, 2010.

PANI, S.; KUMAR, A.; SHARMA, A. *Trichoderma harzianum*: an overview. **Bulletin of Environmental Pharmacology and Life Sciences**, v. 10, n. 6, p. 32–39, 2021.

PARZIANELLO, F. R.; ANTONIOLLI, Z. I. Uso de polímeros em formulações para armazenamento de *Trichoderma harzianum* e *Trichoderma viride*. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 240–246, 2016.

PATEL, S.; SARAF, M. Biocontrol efficacy of *Trichoderma asperellum* MSST against tomato wilting by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 50, n. 5–6, p. 228–238, 2017.

PATIL, J. S.; KAMBLE, R. M.; MARAPURE, N. M.; KADAM, V. J. Ionotropic gelation and polyelectrolyte complexation: the novel techniques to design hydrogel particulate sustained drug delivery systems. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 241–248, 2010.

PERES, E.; DE MELO, I. S. Variabilidade entre isolados de *Trichoderma harzianum*: I – aspectos citológicos. **Scientia Agricola**, v. 52, p. 56–59, 1995.

PIETERSE, C. M. J.; ZAMIUDDIN, M.; VAN WEES, S. C. M.; VAN LOON, L. C. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, [S.l.], v. 52, p. 347–375, 2014

PINOTTI, T. I.; FERNANDES, J. M. C.; SILVA, R. N.; LOCATELLI, G. O. Viability of microencapsulated species of *Trichoderma* as a strategy to optimize use in biological control. **Journal of Applied Microbiology**, [S.l.], 2024.

RIBEIRO, T. S. **O fungo *Trichoderma* spp. no controle de fitopatógenos: dificuldades e perspectivas**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

RIFAI, M. A. **A revision of the genus *Trichoderma***. Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1969.

SANTOS, R. G.S, d. Incorporação de compostos bioativos em produtos alimentícios: uma **revisão**. [S.l.], 2026.

SARAVANAKUMAR, K.; YU, C.; DOU, K.; WANG, M.; LI, Y.; CHEN, J. Effect of *Trichoderma harzianum* on maize rhizosphere microbiome and biocontrol of *Fusarium* stalk rot. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 7, p. 1–13, 2017.

SUAVE, J.; DALL'AGNOL, E. C.; PEZZIN, A. P. T.; SILVA, D. A. K.; MEIER, M. M.; SOLDI, V. Microencapsulação: inovação em diferentes áreas. **Revista Saúde e Ambiente**, v. 7, n. 2, p. 12–20, 2006.

SCHOEBITZ, M.; LÓPEZ, M. D.; ROLDÁN, A. Bioencapsulation of microbial inoculants for better soil–plant fertilization: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 4, p. 751–765, 2013.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21–43, 2010.

SILVA, A. N. da; AZEVEDO, G. B. de; SOBRINHO, G. G. R.; NOVAES, Q. S. de. Efecto de los productos químicos y de *Trichoderma* spp. en control del *Fusarium solani* de la fruta de pasión. **Interciencia**, v. 39, n. 6, p. 398–403, 2014.

SILVA, J. B. T.; MELLO, S. C. M. **Utilização de *Trichoderma* no controle de fungos fitopatogênicos**. Brasília: Embrapa, 2007.

SILVA, M. C. da; SILVA, L. R. da; ALVES, H. G. F.; JESUS, É. V. O. de; SILVA, P. C. V. da; SANTOS, T. M. C. dos. Imobilização de *Trichoderma spp.* em alginato e viabilidade sob diferentes condições de armazenamento. **Diversitas Journal**, v. 9, n. 1, p. 183–191, 2024.

VEMMER, M.; PATEL, A. V. Review of encapsulation methods suitable for microbial biological control agents. **Biological Control**, v. 67, n. 3, p. 380–389, 2013.

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E. L.; MARRA, R.; WOO, S. L.; LORITO, M. *Trichoderma–plant–pathogen interactions*. **Soil Biology & Biochemistry**, [S.l.], 2008.

VINDAS-REYES, E.; CHACÓN-CERDAS, R.; RIVERA-MÉNDEZ, W. *Trichoderma* production and encapsulation methods for agricultural applications. **AgriEngineering**, v. 6, n. 3, p. 2366–2384, 2024.

WAGHUNDE, R. R., Shelake, R. M., & Sabalpara, A. N. (2016). *Trichoderma*: A significant fungus for agriculture and environment. **African journal of agricultural research**, 11(22), 1952-1965.

WOLF, M. G. B. Encapsulamento de *Trichoderma harzianum* em matrizes à base de nanocelulose e carboximetilcelulose. 2023. Dissertação (Mestrado) – **Universidade Federal de São Carlos**, São Carlos, 2023.

ZIMMERMANN, A. L. S. Desenvolvimento e avaliação de micropartículas contendo microrganismos viáveis utilizados como bioinseticida. 2001. **Tese (Doutorado)** – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ZIN, N. A.; BADALUDDIN, N. A. Funções biológicas de *Trichoderma spp.* para aplicações agrícolas. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 2, p. 168–178, 2020.