

# Encapsulamento de moléculas como oportunidade emergente na agricultura

## *Molecule encapsulation as an emerging opportunity in agriculture*

Rodrimar Barboza Gonçalves<sup>1</sup>, Mireli Trombin de Souza<sup>1</sup>, Mariana Vieira Porsani<sup>1</sup>, Renata Prieto Bach<sup>1</sup>, Michele Trombin de Souza<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Patologia Básica, Universidade Federal do Paraná (UFPR), CP 19031, CEP 81531-980, Curitiba, PR, Brasil

\*autor correspondente  
✉ [mictrombin@gmail.com](mailto:mictrombin@gmail.com)

**RESUMO:** O encapsulamento de moléculas na liberação de inseticidas é recente e visa oferecer proteção contra a degradação ambiental e garantir sua aplicação segura. Assim, o objetivo desta revisão é compilar informações sobre os agentes encapsulados, as principais pragas agrícolas estudadas e as vantagens da encapsulação em relação aos inseticidas convencionais. Para isso, a análise bibliométrica foi realizada usando o software R versão 3.6.3., pacote Bibliometrix, com a definição da base de dados Scopus e da sentença title-abs-key (agriculture and pest\* and encapsulation). Entre 2009-2020, foram publicadas 23 revisões, expressando uma taxa de crescimento de 33,35% ao ano, sendo que as Instituições que mais publicam nesta área estão localizadas na China. As literaturas mostraram que fungos, óleos essenciais, extratos botânicos e bactérias são os principais agentes encapsulados. *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa armigera* são as pragas agrícolas mais estudadas. Em relação às vantagens, 32% das revisões reportaram a maior estabilidade da formulação, 25% a capacidade de liberação lenta dos ingredientes ativos, 18% a estabilidade melhorada para prevenir sua degradação precoce, 14% a maior atividade inseticida devido ao tamanho de partícula menor e 11% maior solubilidade de ingredientes ativos insolúveis em água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nanoencapsulação, microencapsulação, controle de pragas, bibliometrix.

**ABSTRACT:** *Molecule encapsulation in the release of insecticides is a recent approach that aims to protect against environmental degradation and to ensure safe application. Thus, this review aims to compile information about the encapsulated agents, the main agricultural pests studied, and the advantages of encapsulation compared to conventional insecticides. For this, we performed a bibliometric analysis using software R version 3.6.3., Bibliometrix package, with the definition of the Scopus database, and the sentence title-abs-key (agriculture and pest\* and encapsulation). Between 2009-2020, 23 reviews were published, expressing a growth rate of 33.35% per year, with the institutions that publish the most in this area being located in China. Literature has shown that fungi, essential oils, botanical extracts and bacteria are the main encapsulated agents. *Spodoptera frugiperda* and *Helicoverpa armigera* are the most studied agricultural pests. Regarding the advantages, 32% of reviews reported greater formulation stability, 25% the ability to slowly release active ingredients, 18% improved stability to prevent its early degradation, 14% greater insecticidal activity due to smaller particle size and 11% higher solubility of water-insoluble active ingredients.*

**KEYWORDS:** *Nanoencapsulation, microencapsulation, pest control, bibliometrix.*

## Introdução

O encapsulamento de moléculas na liberação de inseticidas é recente e visa incorporar agentes ativos dentro de um material de parede. Esta técnica também é usada para encapsular substâncias puras ou uma mistura, exceto os agentes ativos, que são chamadas de material revestido, núcleo, preenchimento, fase ativa, interna ou de carga útil. Enquanto os materiais de revestimento são conhecidos como material de embalagem, cápsula, material de parede, filme, membrana transportadora

ou casca externa. Estes materiais de revestimento geralmente são feitos de polissacarídeos naturais ou modificados, gomas, proteínas, lipídios e polímeros sintéticos (RAI et al., 2009). A escolha dos materiais de revestimentos varia conforme a natureza do material do núcleo, do processo de encapsulamento e do uso final do produto. Várias morfologias das cápsulas resultantes dependem do arranjo do núcleo e do processo de deposição do material de revestimento, que pode ser dividido em: a) mononuclear – contém uma camada externa ao redor do núcleo; b) polinuclear – apresentam muitos núcleos que estão presos em um invólucro; c) matriz – têm o material do núcleo uniformemente distribuído dentro do material da carcaça (LENGYEL et al., 2019). Além disso, é possível ter uma cápsula mononuclear multi-shell ou uma cápsula com formato não esférico/formato irregular (KIM et al., 2004).

Até o momento, as micro e nanocápsulas são mais comuns e amplamente utilizadas em indústrias inseticidas. As escalas micro e nanocápsulas referem-se a 1–1000 µm e 1–1000 nm de diâmetro, respectivamente (KATOUZIAN; JAFARI, 2016; SHISHIR et al., 2018). Estes tamanhos das partículas entre a faixa do micro e nanocápsulas são denominados partículas submicrônicas, enquanto o tamanho da partícula acima da faixa de microencapsulação é referido como macropartículas (LEVIĆ et al., 2015). Estas formulações atraíram crescente interesse agrônomo, por oferecer proteção contra a degradação ambiental, aplicação segura, estabilidade e liberação aprimorada (KATOUZIAN; JAFARI, 2016; SHISHIR et al., 2018).

Na indústria de inseticidas, quando encapsulados, podem aumentar a mortalidade das pragas em comparação com os pesticidas convencionais (KAH et al., 2018), evitando a degradação precoce dos ingredientes ativos sob condições adversas. Pesquisa mostra que os micros e nanoinseticidas podem escapar da deriva e perdas voláteis durante a aplicação (ATHANASSIOU et al., 2018). Em adição, informações acerca da síntese, características e modo de ação das encapsulações também estão disponíveis (BENELLI, 2018). Devido ao progresso das pesquisas e o uso potencial da técnica de encapsulamento na agricultura, esta revisão sumariza informações sobre os agentes encapsulados, as principais pragas agrícolas estudadas

e as vantagens da encapsulação em relação aos inseticidas convencionais.

## Metodologia

### Revisão de literatura

A revisão foi elaborada a partir das literaturas indexadas na base de dados Scopus, no período entre 2009 e 2020. As palavras utilizadas foram adicionadas na sentença da busca TITLE-ABS-KEY (agriculture AND pest\* AND encapsulation). Com estes termos, 27 publicações retornaram como resultado. Após a identificação de todos trabalhos, eles foram acessados para leitura a partir do seu respectivo portal de indexação.

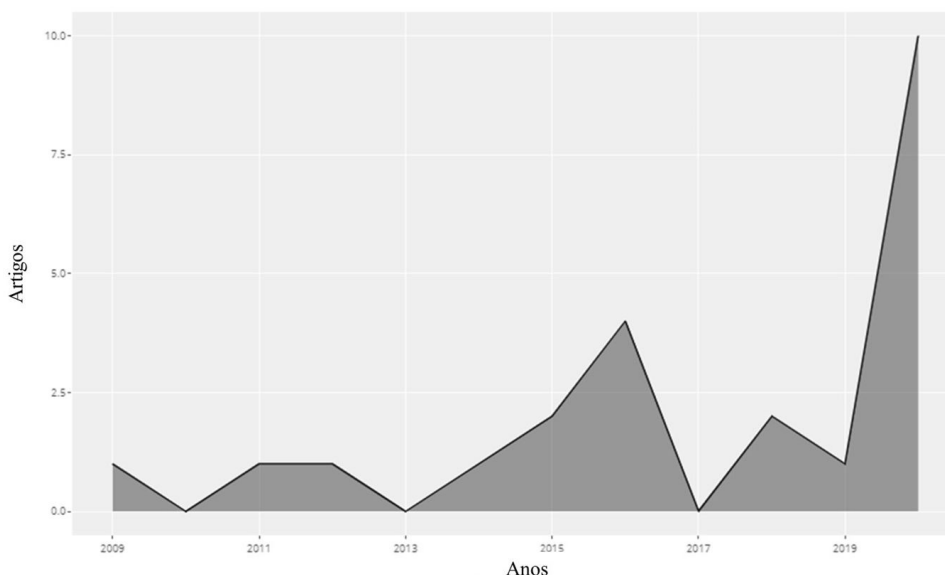
Em seguida, com uma triagem de trabalhos que avaliaram o encapsulamento de moléculas inseticidas na agricultura, 23 revisões foram consideradas. Os requisitos abordados para a seleção possuíam pelo menos um dos critérios a seguir: *i*) agentes encapsulados com o objetivo de controlar pragas agrícolas; *ii*) para quais pragas agrícolas os estudos estão direcionados; e *iii*) as vantagens do uso da encapsulação de ingredientes ativos na agricultura.

### Análises bibliométricas

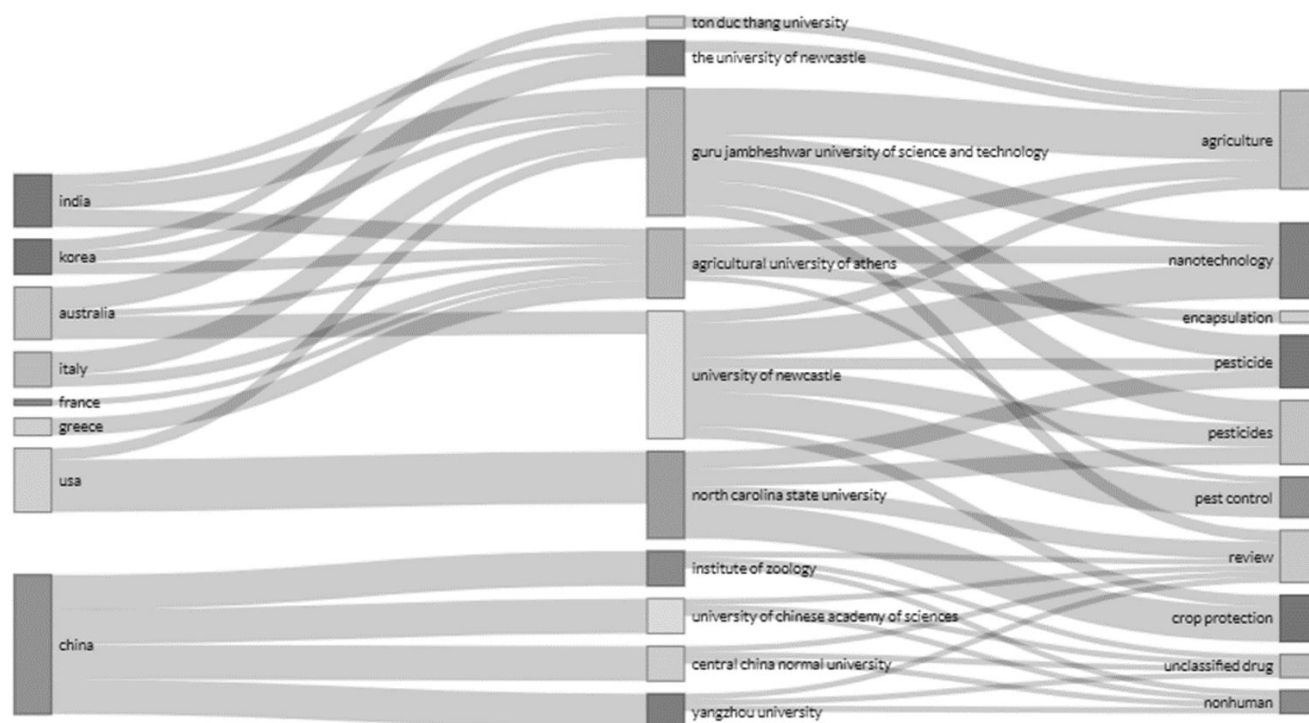
Para a realização das análises bibliométricas, as 23 revisões indexadas na base de dados Scopus foram exportados no formato BibTex. Após, as revisões foram analisadas no software R versão 3.6.3., com o suporte do pacote Bibliometrix e do aplicativo Biblioshiny (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

## Resultados e discussão

A técnica de encapsulamento, desenvolvida há cerca de 60 anos, atraiu interesse para o setor agrônomo. As revisões abordando o tema de encapsulamento de inseticidas com fins



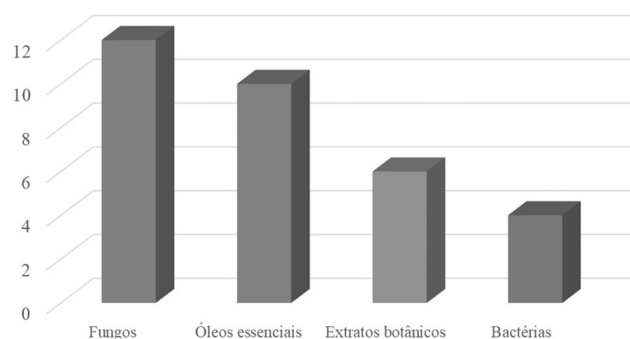
**Figura 1.** Produção Científica Anual (2009-2020) das revisões de literatura indexadas na base de dados Scopus abordando o tema de encapsulamento com fins agrícolas.



**Figura 2.** Três campos (país × instituição × palavras-chave) das revisões de literatura indexadas na base de dados Scopus abordando o tema de encapsulamento com fins agrícolas.

agrícolas iniciaram em 2009 (Figura 1). A análise bibliométrica mostrou a evolução histórica das publicações. Destaca-se o aumento do número de documentos em 2020 (10) (Figura 1), expressando uma taxa de crescimento anual de 33,35%, o que leva a inferir ser uma área recente e emergente para novas publicações. Os autores e coautores responsáveis pelas 23 publicações com encapsulamento de inseticidas voltados para a agricultura são filiados a instituições localizadas na China (24), Estados Unidos (11), Austrália (9), Índia (9), Coreia (6) e Itália (6) (Figura 2). Nestas revisões, as palavras-chaves agricultura (17), nanotecnologia (13), inseticidas (11), inseticida (9) e revisão (9) foram as mais utilizadas (Figura 2), ou seja, elas são as que mais sintetizam os contextos centrais contidos nos trabalhos.

A escolha do método de encapsulação para uma aplicação específica depende de uma série de fatores, entre eles, o tamanho de partículas (SHISHIR et al., 2018). Para o manejo integrado de pragas, o processamento das cápsulas nas dimensões micro ou nanoencapsulação é o mais estudado (TSUJI, 2001; KUMAR et al., 2019). Independentemente da micro ou nanoencapsulação, a literatura mostra que os principais agentes encapsulados no controle de pragas agrícolas são fungos (12), óleos essenciais (10), extratos botânicos (6) e bactérias (4) (Figura 3). Destes, fungos com óleos essenciais (6) e fungos com bactérias (3) foram encapsulados em associação. Entre os diversos fungos, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Trichoderma harzianum* têm sido amplamente relatados em práticas agrícolas como inseticidas (VINCEKOVIĆ et al., 2014; RODRIGUES et al., 2017; MARUYAMA et al., 2020). Há também um interesse significativo de pesquisa sobre a encapsulação dos agentes ativos renováveis, como os óleos essenciais (MAES et al., 2019)



**Figura 3.** Principais agentes encapsulados com base nas revisões de literatura indexadas na base de dados Scopus abordando o tema de encapsulamento com fins agrícolas.

e extratos botânicos (ARMENDÁRIZ-BARRAGÁN et al., 2016), destacando o uso da planta indiana nim – *Azadiracta indica* (Meliaceae), que contém o princípio ativo azadiractina (DEVI; MAJI, 2009). Além desses, os micro-organismos *Bacillus thuringiensis* e *Baculovirus anticarsia* (TAMEZ-GUERRA et al., 2020) foram relatados como potenciais agentes ativos devido à sua toxicidade específica contra pragas-alvo em seu estágio larval.

A maioria das revisões analisadas trataram da encapsulação de inseticidas com foco em alternativas de controle das pragas agrícolas de commodities. Mais de 20 revisões de literatura foram encontradas no banco de dados Scopus usando o tema “encapsulação de pragas na agricultura”. Em relação às pragas, os estudos focaram principalmente nas pragas de grandes culturas ou de grãos armazenados, com destaque

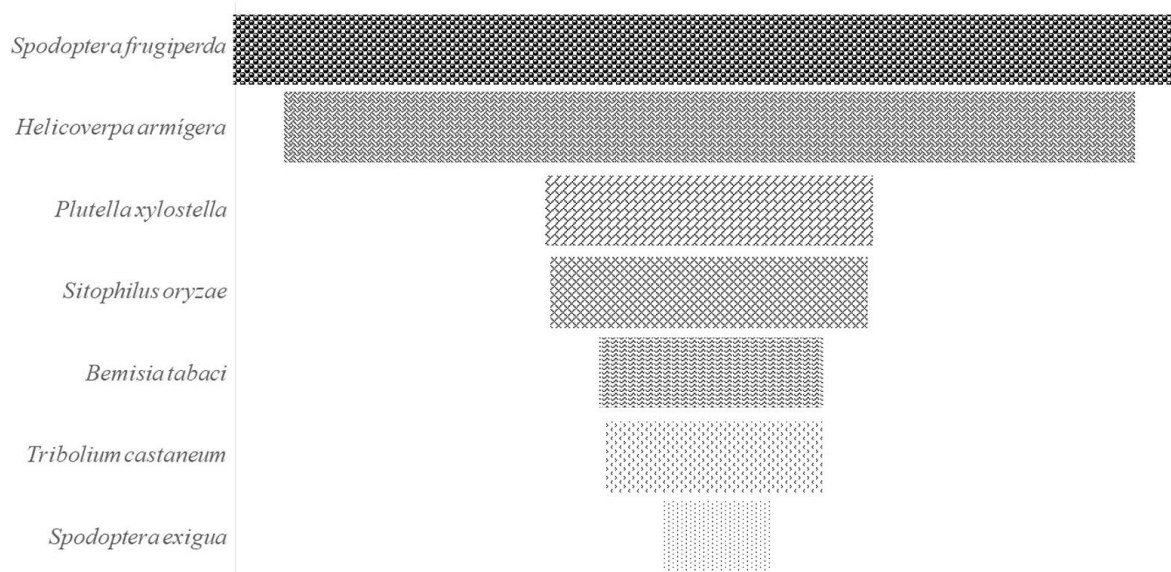


Figura 4. Principais pragas com base nas revisões de literatura indexadas na base de dados Scopus abordando o tema de encapsulamento com fins agrícolas.

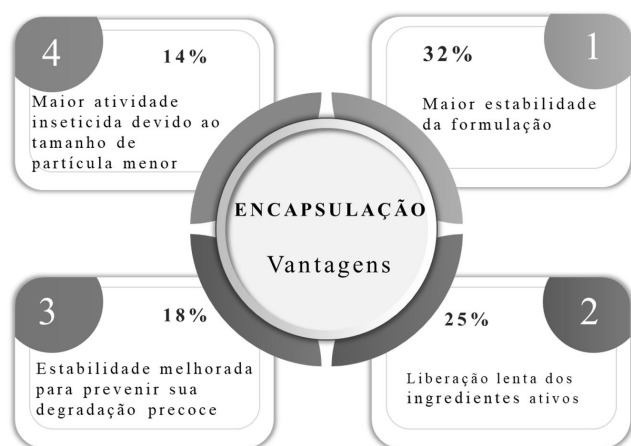


Figura 5. Principais vantagens das técnicas de encapsulamentos resumizando o tema de encapsulamento no controle de pragas agrícolas.

para *Spodoptera frugiperda* (9) e *Helicoverpa armigera* (8) (Figura 4). Os efeitos dos agentes encapsulados sobre as pragas variam conforme o seu ingrediente ativo. Porém, na literatura é citada suas múltiplas propriedades contra artrópodes, promovendo efeitos de antialimentação, larvicidas, ovicidas, tóxicas e repelentes a insetos (ATHANASSIOU et al., 2018; BENELLI, 2018).

As investigações também estão focadas no desenvolvimento de novas formulações capazes de melhorar o campo de eficácia dos inseticidas (BENELLI, 2018). Neste sentido, 32% das revisões reportaram que a encapsulação dos inseticidas proporciona maior estabilidade da formulação, 25% a capacidade de liberação lenta dos ingredientes ativos, 18% a estabilidade melhorada para prevenir sua degradação precoce, 14% a maior atividade inseticida devido ao tamanho de partícula menor e 11% a maior solubilidade de ingredientes ativos insolúveis em água (Figura 5).

Portanto, estas revisões resumizam a encapsulação de inseticidas como métodos seguros e eficientes para prevenir os efeitos adversos dos agroquímicos. No caso das aplicações, o encapsulamento de inseticidas limita as dosagens para obter efeito máximo sobre o alvo praga de inseto, possibilitando diminuir os casos de resistência (OLIVEIRA et al., 2014). Eles também podem atingir o organismo-alvo facilmente de forma controlada, exercendo uma atividade comparável aos dos pesticidas convencionais (FENNER et al., 2013). Além disso, citam as diversas aplicações industriais para produtos encapsulados no agronegócio, como na produção de inseticidas, não só de origem química, mas também de natureza biológica.

## Conclusão

Com as análises bibliométricas, 23 revisões são encontradas na base Scopus. Os estudos mostram que fungos, óleos essenciais, extratos botânicos e bactérias são os principais agentes usados no encapsulamento. *Spodoptera frugiperda* e *H. armigera* são as pragas agrícolas mais estudadas com ênfase em encapsulamento. As principais vantagens da encapsulação são maior estabilidade da formulação e a capacidade de liberação lenta dos ingredientes ativos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal (PGAPV-UFPR) pelas bolsas, suportes financeiros e oportunidades para a realização desta pesquisa.

## Referências

- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, Amsterdam, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
- ARMENDÁRIZ-BARRAGÁN, B. et al. Plant extracts: from encapsulation to application. **Expert Opinion on Drug Delivery**, London, v. 13, n. 8, p. 1165-1175, 2016.
- ATHANASSIOU, C. G. et al. Nanoparticles for pest control: current status and future perspectives. **Journal of Pest Science**, Heidelberg, v. 91, p. 1-15, 2018.
- BENELLI, G. Mode of action of nanoparticles against insects. **Environmental Science and Pollution Research International**, Berlin, v. 25, p. 12329-12341, 2018.
- DEVI, N.; MAJI, T. K. A novel microencapsulation of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) seed oil (NSO) in polyelectrolyte complex of  $\kappa$ -carrageenan and chitosan. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 113, n. 3, p. 1576-1583, 2009.
- FENNER, K. et al. Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities. **Science**, New York, v. 341, n. 6147, p. 752-758, 2013.
- KAH, M. et al. A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. **Nature Nanotechnology**, London, v. 13, p. 677-684, 2018.
- KATOUZIAN, I.; JAFARI, S. M. Nano-encapsulation as a promising approach for targeted delivery and controlled release of vitamins. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 53, p. 34-48, 2016.
- KIM, J. W. et al. Microencapsulation of cholesteryl alcanoate by polymerization-induced phase separation and its association with drugs. **Journal of Polymer Science**, Hoboken, v. 42, p. 2202-2213, 2004.
- KUMAR, S. et al. Nano-based smart pesticide formulations: emerging opportunities for agriculture. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 294, p. 131-153, 2019.
- LENGYEL, M. et al. Microparticles, microspheres, and microcapsules for advanced drug delivery. **Scientia Pharmaceutica**, Switzerland, v. 87, n. 3, p. 1-31, 2019.
- LEVIĆ, S. et al. Characterization of sodium alginate/d-limonene emulsions and respective calcium alginate/d-limonene beads produced by electrostatic extrusion. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 45, p. 111-123, 2015.
- MAES, C.; BOUQUILLON, S.; FAUCONNIER, M. L. Encapsulation of essential oils for the development of biosourced pesticides with controlled release: a review. **Molecules**, Basel, v. 24, n. 124, p. 2539, 2019.
- MARUYAMA, C. R. et al. Encapsulation of *Trichoderma harzianum* preserves enzymatic activity and enhances the potential for biological control. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, Lausanne, v. 8, n. 225, p. 1-14, 2020.
- OLIVEIRA, J. L. et al. Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: prospects and promises. **Biotechnology Advances**, Oxford, v. 32, n. 8, p. 1550-1561, 2014.
- RAI, M. K. et al. The encapsulation technology in fruit plants: a review. **Biotechnology Advances**, Oxford, v. 27, n. 6, p. 671-679, 2009.
- RODRIGUES, I. M. W. et al. Compatibility of polymers to fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* and their formulated products stability. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 39, n. 4, p. 457-464, 2017.
- SHISHIR, M. R. I. et al. Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 78, p. 34-60, 2018.
- TAMEZ-GUERRA, P. et al. Sunlight persistence and rainfastness of spray dried formulations of Baculovirus isolated from *Anagrapha falcifera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, n. 2, p. 210-218, 2020.
- TSUJI, K. Microencapsulation of pesticides and their improved handling safety. **Journal of Microencapsulation**, London, v. 18, n. 2, p. 137-147, 2001.
- VINCEKOVIĆ, M.; CURLIN, M.; JURASIN, D. Impact of cationic surfactant on the self-assembly of sodium caseinate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 62, n. 34, p. 8543-8554, 2014.

Recebido: 05 abr. 2021  
Aprovado: 20 set. 2021