

MICROENCAPSULAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS: ESTRATÉGIA TECNOLÓGICA FRENTE AOS DESAFIOS DA SEGURANÇA ALIMENTAR

Isabella Liberalino Paulista¹, Ana Carolina Rosa da Costa², Rachel Santos¹, Maiara Taís Bazana³, Cassandra de Deus³, Maritiele Naissinger da Silva⁴, Cristiano Augusto Ballus¹

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
(isabellapaulista2@gmail.com)

²Universidade Franciscana, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

³Weecaps Comércio de Insumos para Alimentos, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

⁴Universidade Federal de Santa Maria, Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil

Resumo: A microencapsulação tem se destacado como estratégia tecnológica para proteção e estabilização de compostos fenólicos em alimentos. Este estudo revisa a literatura sobre sua aplicação, evidenciando sua capacidade de reduzir a degradação de flavonoides e ácidos fenólicos, aumentar a estabilidade e viabilizar sua incorporação em diferentes matrizes alimentares, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos funcionais.

Palavras-chave: Microencapsulação; compostos fenólicos; alimentos funcionais; estabilidade; segurança alimentar

INTRODUÇÃO

A segurança alimentar e nutricional (SAN) é um direito humano fundamental e compreende o acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente e sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais (Brasil, 2006). Nesse contexto, a qualidade nutricional dos alimentos torna-se um aspecto central diante da persistência da insegurança alimentar em escala global. Em 2023, cerca de 2,4 bilhões de pessoas enfrentaram insegurança alimentar moderada ou grave, evidenciando a necessidade de estratégias que não apenas ampliem o acesso aos alimentos, mas também contribuam para a melhoria de sua qualidade nutricional (FAO et al., 2024).

A insegurança alimentar está associada a deficiências de micronutrientes, desnutrição, anemia e comprometimentos no crescimento e desenvolvimento, além de aumentar a vulnerabilidade a doenças e agravos à saúde (FAO et al., 2024). Nesse cenário, a fortificação de alimentos tem sido amplamente empregada como estratégia para a prevenção de deficiências nutricionais e promoção da saúde da população (Cui et al., 2023; Espinoza et al., 2024).

Entre os compostos bioativos utilizados na fortificação alimentar, destacam-se os compostos fenólicos, especialmente os flavonoides e os ácidos fenólicos. Essas substâncias são amplamente

reconhecidas por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, estando associadas à redução do risco de doenças crônicas (Rana et al., 2022). Entretanto, sua aplicação em sistemas alimentares pode ser limitada pela instabilidade frente a fatores como temperatura, luz, oxigênio e umidade, além de interações com a matriz alimentar que podem comprometer sua biodisponibilidade e eficácia (Coskun, 2025; Šaponjac et al., 2016).

Nesse contexto, a microencapsulação tem sido amplamente empregada para proteger compostos fenólicos, aumentando sua estabilidade e favorecendo sua aplicação em alimentos funcionais (Raddatz e Menezes, 2021; Cui et al., 2023).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo revisar a literatura científica sobre a aplicação da microencapsulação de compostos bioativos na indústria de alimentos, com ênfase nos compostos fenólicos mais estudados, nas principais técnicas empregadas e em suas contribuições para a estabilidade dos compostos e o desenvolvimento de alimentos funcionais.

MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, de caráter descritivo e exploratório, sobre a aplicação da microencapsulação de compostos bioativos em alimentos.



A busca bibliográfica foi realizada nas bases *ScienceDirect* e *Scopus*, no período de 2016 a 2026, utilizando os descritores “microencapsulation”, “bioactive compounds”, “food fortification” e “functional foods”, combinados pelo operador booleano AND.

Foram incluídos artigos originais e de revisão, disponíveis na íntegra e relacionados ao tema. Foram excluídos estudos duplicados ou sem relação direta com a microencapsulação de compostos bioativos em alimentos.

A seleção ocorreu por leitura de títulos, resumos e leitura completa dos artigos elegíveis. Os dados foram analisados de forma descritiva, considerando compostos bioativos, técnicas de microencapsulação, materiais de parede e efeitos tecnológicos e funcionais.

Documentos legais e normativos foram utilizados como suporte teórico complementar, independentemente do período de publicação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos analisados demonstraram ampla aplicação da microencapsulação na proteção e estabilização de compostos bioativos, com destaque para compostos fenólicos, especialmente flavonoides, antocianinas, catequinas, quercetina e resveratrol. Segundo Bińkowska et al. (2024), esses compostos figuram entre os mais investigados devido ao seu elevado potencial antioxidante e à sua suscetibilidade à degradação causada por fatores ambientais, como luz, oxigênio, temperatura e umidade (Bińkowska et al., 2024). Os flavonoides representam uma das principais classes de compostos fenólicos estudados na microencapsulação e estão amplamente distribuídos em alimentos de origem vegetal, como frutas, hortaliças, chás, cacau, leguminosas e especiarias (Rana et al., 2022). São reconhecidos por sua elevada atividade antioxidante, relacionada à capacidade de neutralizar espécies reativas de oxigênio, além de apresentarem efeitos anti-inflamatórios e cardioprotetores, contribuindo para a prevenção de doenças crônicas (Rana et al., 2022).

As antocianinas são pigmentos naturais pertencentes ao grupo dos flavonoides, responsáveis pelas colorações vermelhas, roxas e azuis de diversos alimentos. Esses compostos estão presentes em diferentes vegetais pigmentados, como repolho roxo, batata-doce roxa, cenoura roxa e beterraba vermelha, os quais vêm sendo amplamente explorados no desenvolvimento de alimentos funcionais devido ao seu potencial antioxidante e aos efeitos benéficos associados à saúde (El-Sayed et al., 2025). O

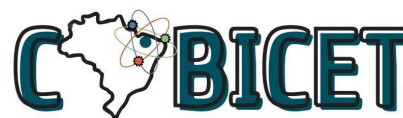
consumo desses vegetais tem sido relacionado à promoção da saúde em virtude da elevada atividade antioxidante das antocianinas. Entretanto, esses compostos apresentam baixa estabilidade, sendo facilmente degradados por fatores como pH, temperatura, luz e oxigênio, o que limita sua aplicação em produtos alimentícios e reforça a importância de estratégias como a microencapsulação para sua proteção (Bińkowska et al., 2024; Coskun, 2025).

As catequinas são compostos fenólicos pertencentes ao grupo dos flavonoides, encontrados principalmente no chá verde e no cacau. Destacam-se pela elevada atividade antioxidante, atuando na neutralização de espécies reativas de oxigênio e na redução do estresse oxidativo. Além disso, apresentam propriedades anti-inflamatórias e estão associadas à prevenção de doenças crônicas, especialmente cardiovasculares (Sidhu et al., 2024).

A quercetina é um flavonoide amplamente distribuído em alimentos como cebola, maçã, brócolis e hortaliças (Vollmannová et al., 2024). Destaca-se por sua elevada atividade antioxidante e anti-inflamatória, atuando na modulação do estresse oxidativo e de diferentes vias celulares relacionadas ao desenvolvimento de doenças crônicas, evidenciando seu potencial na promoção da saúde (Vollmannová et al., 2024).

O resveratrol é um composto fenólico pertencente à classe dos estilbenos, encontrado naturalmente em uvas, frutas vermelhas e amendoim. Destaca-se por sua atividade antioxidante e anti-inflamatória, estando associado a efeitos cardioprotetores e à modulação de mecanismos celulares relacionados ao envelhecimento e ao estresse oxidativo (Tian; Liu, 2020). No entanto, apresenta baixa estabilidade e biodisponibilidade, fatores que limitam sua aplicação em alimentos (Tian; Liu, 2020).

De forma geral, a microencapsulação é descrita como uma estratégia tecnológica capaz de proteger compostos bioativos por meio da formação de sistemas encapsulantes capazes de protegê-los contra a degradação, preservando suas propriedades funcionais e favorecem sua liberação controlada no intestino (Cui et al., 2023; Naik et al., 2026). Além da proteção física dos compostos, essa tecnologia contribui para a manutenção da estabilidade durante o processamento e armazenamento dos alimentos, favorecendo a conservação de suas características funcionais. A Figura 1 ilustra esquematicamente o processo de microencapsulação, destacando os principais compostos bioativos, os benefícios da encapsulação e sua aplicação em diferentes matrizes alimentares.



Entre as técnicas estudadas, observou-se predominância do *spray drying* (secagem por aspersão), seguida por *freeze drying* (liofilização) e emulsificação. O *spray drying* consiste na atomização de uma solução ou emulsão contendo o composto bioativo e o material encapsulante em uma corrente de ar aquecido, promovendo rápida evaporação do solvente e formação de micropartículas. Trata-se de uma das técnicas mais utilizadas na microencapsulação de compostos bioativos devido ao seu baixo custo operacional, elevada produtividade e facilidade de aplicação em escala industrial. Além disso, possibilita a obtenção de pós com maior estabilidade, contribuindo para a proteção dos compostos bioativos durante o processamento e armazenamento dos alimentos (Coimbra et al., 2021). Estudos também demonstram que a utilização dessa técnica pode aumentar a estabilidade, a biodisponibilidade e a preservação das propriedades funcionais dos compostos encapsulados (Abdel-Aty et al., 2024).

O *freeze drying* baseia-se no congelamento da amostra seguido da sublimação da água sob baixa pressão, permitindo a obtenção de pós com reduzido teor de umidade (Pudziuelyte et al., 2020). Essa técnica opera em baixas temperaturas, favorecendo a preservação de compostos sensíveis ao calor e a manutenção de suas propriedades funcionais, sendo amplamente utilizada na microencapsulação de compostos bioativos (Estupiñan et al., 2020). Entretanto, apesar de sua elevada eficiência na proteção dos ingredientes encapsulados, apresenta maior custo operacional e maior tempo de processamento em comparação a outras técnicas de secagem (Muhoza et al., 2023).

A emulsificação promove a dispersão do composto bioativo em fases imiscíveis por meio da utilização de agentes estabilizantes ou surfactantes, favorecendo a formação de sistemas encapsulados (Choudhury et al., 2021). Essa técnica pode ser empregada na microencapsulação de diferentes compostos bioativos e frequentemente é associada a outros métodos de secagem, contribuindo para a proteção dos ingredientes encapsulados e para a manutenção de suas propriedades funcionais. Diversos materiais de parede, como alginato, quitosana e carragenina, têm sido utilizados em sistemas emulsificados, evidenciando a versatilidade da técnica na proteção e estabilidade de compostos sensíveis (Razavi et al., 2021; Vivek et al., 2023).

De modo geral, a ampla utilização dessas técnicas está relacionada à sua eficiência na encapsulação, capacidade de proteção dos compostos bioativos e potencial de aplicação na indústria de alimentos,

favorecendo o desenvolvimento de produtos com maior estabilidade e funcionalidade.

Os estudos analisados demonstraram ampla aplicação da microencapsulação na proteção e estabilização de compostos bioativos, com destaque para os compostos fenólicos, especialmente flavonoides, antocianinas, catequinas, quercetina e resveratrol. Esses compostos figuram entre os mais investigados devido à elevada atividade antioxidante e à suscetibilidade à degradação causada por fatores como luz, oxigênio, temperatura e umidade, o que limita sua aplicação em alimentos (Bińkowska et al., 2024; Coskun, 2025). Além dos compostos fenólicos, vitaminas também têm sido amplamente estudadas, uma vez que a microencapsulação contribui para aumentar sua estabilidade, controlar sua liberação e ampliar sua aplicação em alimentos fortificados (Espinoza-Espinoza et al., 2024).

De forma geral, a microencapsulação protege compostos bioativos por meio da formação de sistemas encapsulantes capazes de reduzir sua degradação, preservar suas propriedades funcionais e favorecer sua liberação controlada, além de aumentar a estabilidade durante processamento e armazenamento dos alimentos (Cui et al., 2023). Entre as principais técnicas, destaca-se o *spray drying*, seguido pela liofilização e emulsificação. O *spray drying* é amplamente utilizado devido ao baixo custo operacional, elevada produtividade e facilidade de aplicação em escala industrial, produzindo micropartículas mais estáveis e favorecendo a preservação das propriedades funcionais dos compostos encapsulados (Coimbra et al., 2021; Abdel-Aty et al., 2024). A liofilização destaca-se pela preservação de compostos termossensíveis, embora apresente maior custo e tempo de processamento (Pudziuelyte et al., 2020; Muhoza et al., 2023). Já a emulsificação favorece a formação de sistemas encapsulados estáveis e pode ser combinada a outras técnicas de secagem, ampliando a proteção de compostos sensíveis (Choudhury et al., 2021; Razavi et al., 2021).

Os estudos analisados demonstraram que a microencapsulação permite a aplicação de compostos bioativos em diferentes matrizes alimentares, especialmente em produtos de panificação, contribuindo para a manutenção da estabilidade durante o processamento térmico e o armazenamento. Šaponjac et al. (2016) incorporaram extrato de bagaço de cereja rico em compostos fenólicos, microencapsulado por liofilização com proteínas do soro de leite e proteína isolada de soja como materiais de parede, em cookies. Os autores observaram retenção de polifenóis e antocianinas após o processamento térmico, além da preservação

da atividade antioxidante e manutenção de características tecnológicas e sensoriais adequadas.

De forma complementar, Roshandoost et al. (2026) aplicaram extratos vegetais microencapsulados em pão funcional, evidenciando manutenção da atividade antioxidante, boa aceitação sensorial e potencial da microencapsulação para incorporação de ingredientes funcionais sem comprometer a qualidade do produto final.

Apesar dos avanços, a aplicação da microencapsulação em escala industrial ainda enfrenta desafios relacionados à seleção dos materiais encapsulantes, aos custos de produção e à estabilidade durante o armazenamento. Ainda assim, essa tecnologia destaca-se como uma estratégia promissora para o desenvolvimento de alimentos com maior valor nutricional e potencial funcional, contribuindo para a promoção da saúde e para a prevenção de deficiências nutricionais.

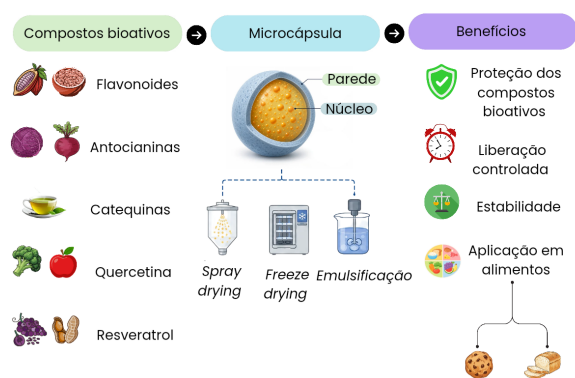


Figura 1. Representação esquemática do processo de microencapsulação de compostos bioativos.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a microencapsulação de compostos bioativos constitui uma estratégia tecnológica promissora para a proteção e estabilização desses compostos em diferentes matrizes alimentares, contribuindo para a redução da degradação causada por fatores ambientais e para a manutenção de sua atividade biológica.

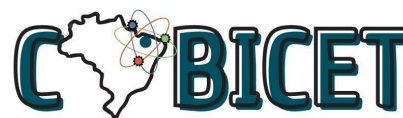
Os estudos analisados evidenciam a predominância de compostos fenólicos e da técnica de *spray drying*, reforçando sua ampla aplicabilidade e viabilidade tecnológica na indústria de alimentos. Dessa forma, a microencapsulação apresenta potencial para o desenvolvimento de alimentos com maior estabilidade e valor funcional, podendo contribuir para a melhoria da qualidade nutricional dos produtos alimentícios e, consequentemente, para o enfrentamento de desafios relacionados à segurança alimentar e nutricional.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pelo apoio institucional e pela concessão das bolsas de pesquisas. Este trabalho foi desenvolvido com apoio do programa Inovatec Finova, CNPq e Fadex.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-ATY, A. M.; BARAKAT, A. Z.; BASSUINY, R. I.; MOHAMED, S. A. Chia gum-gelatin-based encapsulation of phenolic compounds from chia sprouts enhanced storage stability, bioavailability, antioxidant, antidiabetic and antibacterial properties. *Scientific Reports*, v. 14, art. 22023, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71913-2>.
- BIŃKOWSKA, W. et al. Microencapsulation of polyphenols and their application in food technology. *Applied Sciences*, v. 14, n. 24, p. 11954, 2024. <https://doi.org/10.3390/app142411954.espinosa>
- BRASIL. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2006.
- CHOUDHURY, N.; MEGHWAL, M.; DAS, K. Microencapsulation: an overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, v. 2, p. 426–442, 2021. <https://doi.org/10.1002/fft2.94>.
- COIMBRA, P. P. S.; CARDOSO, F.; GONÇALVES, S. N.; GONÇALVES, E. C. B. A. Spray drying wall materials: relationship with bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 61, n. 17, p. 2809–2826, 2021. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1786354>.
- CUI, F. et al. Advances in the preparation and application of microencapsulation to protect food functional ingredients. *Food & Function*, v. 14, p. 6766–6783, 2023. <https://doi.org/10.1039/D3FO01077E>.
- EL-SAYED, S. M.; YOUSSEF, A. M.; EL-SAYED, H. S. Innovative dairy products with vegetables: a complementary technique with promising perspectives. *Food Measure*, v. 19, p. 8165–8181, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11694-025-03570-6>.
- ESPINOZA-ESPINOZA, L. A.; MUÑOZ-MORE, H. D.; NOLE-JARAMILLO, J. M.; RUIZ-FLORES, L.



A.; ARANA-TORRES, N. M.; MORENO-QUISPE, L. A.; VALDIVIEZO-MARCELO, J. Microencapsulation of vitamins: a review and meta-analysis of coating materials, release and food fortification. *Food Research International*, v. 187, p. 114420, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114420>.

ESTUPIÑAN-AMAYA, C. A.; FUENMAYOR, C. A.; LÓPEZ-CÓRDOBA, A. Novel freeze-dried Andean blueberry juice powders for potential application as functional food ingredients: effect of maltodextrin on bioactive and morphological characteristics. *Molecules*, v. 25, p. 5635, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25235635>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2024*. Rome: FAO, 2024.

MENG, T.; XIAO, D.; MUHAMMED, A.; DENG, J.; CHEN, L.; HE, J. Anti-inflammatory action and mechanisms of resveratrol. *Molecules*, v. 26, n. 1, p. 229, 2021. <https://doi.org/10.3390/molecules26010229>.

MUHOZA, B.; YUYANG, H.; URIHO, A.; HARINDINTWALI, J. D.; QIAN, L.; LI, Y. Spray drying and freeze drying of microcapsules prepared by complex coacervation method: a review. *Food Hydrocolloids*, v. 140, art. 108650, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108650>.

NAIK, A. V.; VELIP, P. M.; AMONKAR, S. G. Microencapsulation-mediated modulation of phytochemical stability and antioxidant performance in *Annona muricata* L. leaf extracts under controlled drying and extraction conditions. *Food and Humanity*, v. 7, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2026.101234>.

PUDZIUVELYTE, L.; MARKSA, M.; SOSNOWSKA, K.; WINNICKA, K.; MORKUNIENE, R.; BERNATONIENE, J. Lyophilization technique for microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* ethanolic extract using different coating materials. *Molecules*, v. 25, p. 2237, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25092237>.

RADDATZ, G. C.; MENEZES, C. R. Microencapsulation and co-encapsulation of bioactive compounds for application in food: challenges and perspectives. *Ciência Rural*, v. 51, n. 3, e20200616, 2021. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200616>.

RANA, A. et al. Health benefits of polyphenols: a concise review. *Journal of Food Biochemistry*, v. 46, n. 10, e14264, 2022. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14264>.

RAZAVI, S.; JANFAZA, S.; TASNIM, N.; GIBSON, D. L.; HOORFAR, M. Microencapsulating polymers for probiotic delivery systems: preparation, characterization, and applications. *Food Hydrocolloids*, v. 120, art. 106882, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106882>.

ROSHANDOOST, N. et al. Enzymatic protein modification enhances spray-dried microencapsulation of *Adiantum capillus-veneris* extract: morphology–bioactivity relationships and functional bread application. *Applied Food Research*, v. 6, n. 1, art. 101809, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.101809>.

SIDHU, D. et al. The intestinal-level metabolic benefits of green tea catechins: mechanistic insights from pre-clinical and clinical studies. *Phytomedicine*, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.155207>.

ŠAPONJAC, V. T. et al. Sour cherry pomace extract encapsulated in whey and soy proteins: incorporation in cookies. *Food Chemistry*, v. 207, p. 27–33, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.082>.

TIAN, B.; LIU, J. Resveratrol: a review of plant sources, synthesis, stability, modification and food application. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 100, n. 4, p. 1392–1404, 2020. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10152>.

VIVEK, K. et al. A comprehensive review on probiotic microencapsulation: technology, carriers and current trends. *Applied Food Research*, v. 3, art. 100248, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100248>.

VOLLMANNOVÁ, A. et al. Quercetin as one of the most abundant plant components with remarkable chemoprotective effects: a review. *Heliyon*, v. 10, e33342, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33342>.