

## ARTIGO TÉCNICO

# NANOTECNOLOGIA VERDE EM EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS PARA ALIMENTOS

**Autores:** Atos Henrique Santos<sup>1</sup>, Geovana Rocha Plácido<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde

Autor para correspondência (email): [atos.santos1@estudante.ifgoiano.edu.br](mailto:atos.santos1@estudante.ifgoiano.edu.br);  
[geovana.placido@ifgoiano.edu.br](mailto:geovana.placido@ifgoiano.edu.br)



## DESTAQUE

*Nanopartículas verdes em embalagens biodegradáveis melhoram propriedades antimicrobianas, antioxidantes e de barreira, ampliando a conservação de alimentos e a sustentabilidade agroindustrial.*

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos plásticos e o descarte inadequado de embalagens convencionais têm agravado os impactos ambientais decorrentes da contaminação do solo e dos ecossistemas aquáticos. Paralelamente, as perdas de alimentos ao longo da cadeia produtiva continuam sendo um problema global, o que estimula o desenvolvimento de tecnologias capazes de ampliar a conservação dos produtos alimentícios e reduzir os desperdícios pós-colheita (Prasad *et al.*, 2025). Nesse cenário, embalagens sustentáveis têm recebido destaque pelo potencial de minimizar os impactos ambientais e preservar a qualidade dos alimentos.

Entre as alternativas propostas, destacam-se as embalagens biodegradáveis produzidas a partir de biopolímeros, como amido, quitosana, pectina, alginato e poli (ácido lático) (PLA). Apesar da biodegradabilidade e da origem renovável, esses materiais apresentam limitações quanto à

resistência mecânica e às propriedades de barreira. Segundo Barbato, Incarnato e Apicella (2026), filmes biodegradáveis ativos podem melhorar a barreira ao oxigênio e aumentar a conservação de alimentos perecíveis.

Nos últimos anos, nanopartículas verdes obtidas por síntese a partir de extratos vegetais e resíduos agroindustriais têm recebido maior atenção por reduzirem o uso de reagentes tóxicos. Ahmed *et al.* (2026) destacam que a síntese verde favorece aplicações mais sustentáveis na nanotecnologia. Além disso, nanopartículas como ZnO e prata apresentam atividade antimicrobiana e antioxidante, contribuindo para melhorar as propriedades funcionais dos filmes biodegradáveis e ampliar o prazo de validade dos alimentos (Mottola *et al.*, 2025).

O presente artigo teve como objetivo analisar os avanços no uso de nanopartículas verdes incorporadas a embalagens biodegradáveis destinadas à conservação de alimentos, destacando seus efeitos tecnológicos, aplicações no setor agroindustrial, limitações regulatórias e perspectivas para ampliação do uso em escala comercial.

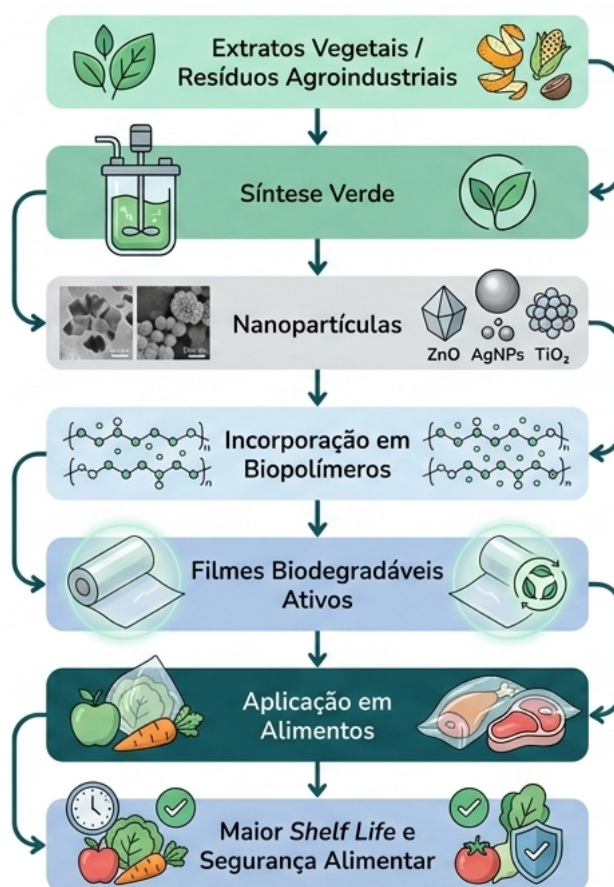
## 2. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

### 2.1. Embalagens biodegradáveis

As embalagens biodegradáveis produzidas a partir de biopolímeros, como amido, quitosana, pectina, alginato e PLA, destacam-se como alternativas aos plásticos convencionais devido à biodegradabilidade e à origem renovável (Prasad *et al.*, 2025). Entretanto, limitações relacionadas à resistência mecânica e às propriedades de barreira ainda restringem algumas aplicações. Nesse contexto, a incorporação de nanopartículas representa uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho funcional desses materiais. Segundo Barbato *et al.* (2026), sistemas ativos baseados em filmes biodegradáveis podem proporcionar melhor barreira ao oxigênio, maior estabilidade e conservação prolongada dos alimentos.

A Figura 1 apresenta o processo de obtenção de nanopartículas verdes a partir de extratos vegetais e resíduos agroindustriais, bem como sua incorporação em matrizes biodegradáveis, evidenciando a integração entre nanotecnologia e sustentabilidade no desenvolvimento de embalagens alimentícias.

Figura 1 - Processo de obtenção e aplicação de nanopartículas verdes em embalagens biodegradáveis para alimentos.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de IA (Gemini 3 Flash Image), 2026.

## 2.2. Nanopartículas verdes e aplicações

A síntese verde utiliza extratos vegetais, microrganismos e resíduos agroindustriais como agentes redutores e estabilizantes, reduzindo o uso de reagentes tóxicos e favorecendo processos alinhados à economia circular (Ahmed *et al.*, 2026).

Entre as nanopartículas mais utilizadas, destacam-se ZnO, AgNPs, TiO<sub>2</sub> e nanocelulose, associadas à atividade antimicrobiana, à atividade antioxidante, à proteção UV e à melhoria das propriedades de barreira. Mottola *et al.* (2025) desenvolveram aerogéis de pectina/alginato contendo ZnO sintetizado a partir de extrato de beterraba e observaram atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, demonstrando potencial para reduzir a deterioração microbiológica de alimentos perecíveis.

Paralelamente, compostos bioativos naturais vêm sendo incorporados a filmes biodegradáveis. Estudos demonstram que a incorporação de quercetina pode conferir atividade antioxidante e propriedades funcionais adicionais às embalagens biodegradáveis (Ezati; Rhim, 2021). Barbato *et al.* (2026) desenvolveram filmes de PBS/PVOH revestidos com PLA contendo

quercetina. O sistema com 7% de quercetina apresentou liberação máxima de 101,7 mg/L em simulante alimentar gorduroso, elevada atividade antioxidante e redução do escurecimento de abacates minimamente processados, preservando a textura da polpa e atendendo aos limites de migração para contato com alimentos. Esses resultados demonstram que nanopartículas verdes e compostos bioativos podem atuar simultaneamente na proteção microbiológica e oxidativa dos alimentos. O Quadro 1 apresenta as principais nanopartículas verdes e os compostos bioativos empregados em embalagens biodegradáveis, destacando seus efeitos tecnológicos e potenciais aplicações industriais.

**Quadro 1 – Nanopartículas verdes e compostos bioativos aplicados em embalagens biodegradáveis para alimentos, seus efeitos tecnológicos e potenciais aplicações industriais**

| Nanopartícula       | Biopolímero      | Aplicação Alimentícia | Efeito Tecnológico                                           |
|---------------------|------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------|
| ZnO (síntese verde) | Pectina/Alginato | Frutas e hortaliças   | Ação antimicrobiana contra <i>E. coli</i> e <i>S. aureus</i> |
| AgNPs               | Quitosana        | Carnes e pescados     | Redução do crescimento bacteriano                            |
| TiO <sub>2</sub>    | Pectina          | Tomates e hortaliças  | Proteção UV e menor fotooxidação                             |
| Nanocelulose        | PLA              | Frutas frescas        | Maior resistência mecânica e barreira                        |

Fonte: Adaptado de Prasad *et al.* (2025), Mottola *et al.* (2025) e Barbato *et al.* (2026).

**2.2.1. Aplicações industriais e potencial de implementação**

As principais aplicações concentram-se na conservação de frutas frescas e minimamente processadas, hortaliças, carnes e pescados. A atividade antimicrobiana do ZnO e a ação antioxidante da quercetina contribuem para reduzir perdas pós-colheita e aumentar a vida útil comercial dos produtos. Além disso, a utilização de resíduos agroindustriais na síntese verde agrega valor a subprodutos agrícolas e fortalece estratégias de economia circular.

Entretanto, a implementação industrial ainda enfrenta limitações relacionadas aos custos de produção, padronização dos processos e exigências regulatórias para materiais destinados ao contato com alimentos. Dessa forma, a principal contribuição prática dessa tecnologia para a agroindústria consiste na obtenção de embalagens sustentáveis capazes de reduzir perdas e ampliar a vida útil comercial de alimentos perecíveis.

**2.3. Desafios e perspectivas futuras**

Apesar dos avanços, ainda persistem desafios relacionados à migração de nanopartículas, à avaliação toxicológica e à viabilidade econômica da produção em larga escala. Ahmed *et al.* (2026) destacam que a síntese verde ainda enfrenta limitações quanto à reprodutibilidade e ao escalonamento industrial.

Do ponto de vista regulatório, materiais nanoestruturados exigem avaliações específicas de segurança e conformidade. Como perspectivas futuras, destacam-se embalagens inteligentes com sensores, nanoencapsulação de compostos bioativos, uso de resíduos vegetais na síntese verde e aplicação de inteligência artificial para otimização dos processos produtivos, favorecendo a transferência dessas tecnologias para o setor agroindustrial.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As nanopartículas verdes incorporadas em embalagens biodegradáveis apresentam elevado potencial para aplicações alimentícias, promovendo melhorias nas propriedades antimicrobianas, antioxidantes e de barreira dos filmes. Os estudos analisados demonstram que nanopartículas de ZnO obtidas por síntese verde apresentam atividade antimicrobiana contra microrganismos de interesse alimentar, enquanto sistemas contendo quercetina mostraram potencial para reduzir o escurecimento e preservar a textura de abacates minimamente processados durante o armazenamento.

Como principal contribuição ao setor agroindustrial, esta revisão evidencia que a integração entre biopolímeros e nanopartículas verdes permite o desenvolvimento de embalagens multifuncionais para frutas, vegetais, carnes e pescados. Entre as tecnologias avaliadas, sistemas contendo ZnO e compostos bioativos, como a quercetina, destacam-se pelo potencial de aplicação em embalagens ativas destinadas à conservação de alimentos perecíveis.

Entretanto, ainda são necessários avanços na avaliação toxicológica, na migração de nanopartículas, na padronização da produção e no escalonamento industrial para ampliar sua adoção comercial.

### REFERÊNCIAS

- AHMED, R. *et al.* Green synthesis methods for nanoparticles: principles, biological routes, and physicochemical approaches toward sustainable nanotechnology. **Next Materials**, v. 11, p. 101929, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2026.101929>. Acesso em: 16 jun. 2026.
- BARBATO, A.; INCARNATO, L.; APICELLA, A. Sealable PLA+quercetin coatings on biodegradable PBS/PVOH films for food packaging: release kinetics, antioxidant activity and shelf-life extension potential. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 55, p. 101749, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2026.101749>. Acesso em: 16 jun. 2026.
- EZATI, P.; RHIM, J.-W. Fabrication of quercetin-loaded biopolymer films as functional packaging materials. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 3, n. 4, p. 2131-2137, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsapm.1c00177>. Acesso em: 16 jun. 2026.
- MOTTOLA, S. *et al.* Pectin/alginate aerogel containing ZnO produced from beetroot extract mediated green synthesis for potential applications in food packaging. **Journal of CO2 Utilization**, v. 91, p. 103003, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2024.103003>. Acesso em: 16 jun. 2026.

PRASAD, J. *et al.* Biopolymer based composite packaging: a sustainable approach for fruits and vegetables preservation. **Applied Food Research**, v. 5, p. 101211, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101211>. Acesso em: 16 jun. 2026.