

BIOFILMES BIODEGRADÁVEIS COMO EMBALAGENS ATIVAS E INTELIGENTES PARA ALIMENTOS: AVANÇOS RECENTES



<https://doi.org/10.22533/at.ed.361112504047>

Data de aceite: 10/09/2025

Nicolas Bueno Mordhost Zeraik
Universidade Estadual De Maringá

Amanda Dorta Maestro
Universidade Estadual De Maringá

Laura Lana Pinelli
Universidade Estadual De Maringá

Danieli suzan Valerio
Universidade Estadual De Maringá

Samanta Shiraishi Kagueyama
Universidade Estadual De Maringá

Elizangela Regina Da Silva Martins
Universidade Estadual De Maringá

Camila Calistro Miculis
Universidade Estadual De Maringá

Alexandra Perdigão Maia de Souza
Universidade Estadual De Maringá

Simone Maria Altoé Porto
Universidade Estadual De Maringá

Emilly Brito Ferreira
Universidade Estadual De Maringá

Julie Suzan da Silva
Universidade Estadual De Maringá

RESUMO: A crescente demanda por alimentos seguros, com vida útil prolongada, e a preocupação com o impacto ambiental das embalagens plásticas convencionais têm impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de biofilmes biodegradáveis na área de alimentos. Este capítulo aborda os avanços mais significativos dos últimos sete anos no campo dos biofilmes biodegradáveis, com foco em sua aplicação como embalagens ativas e inteligentes. São discutidas as principais fontes de polímeros naturais, como polissacarídeos e proteínas, utilizados na elaboração desses materiais, bem como a incorporação de compostos ativos, como agentes antimicrobianos e antioxidantes, e de indicadores de qualidade, que conferem funcionalidades específicas aos biofilmes. A influência da nanotecnologia na melhoria das propriedades de barreira e mecânicas dos biofilmes é detalhada, apresentando o desenvolvimento de bionanocompósitos. Ademais, são explorados os principais métodos de produção e caracterização dessas embalagens inovadoras. Por fim, o capítulo analisa as aplicações atuais e futuras dos biofilmes biodegradáveis em diferentes setores da indústria de alimentos, além de discutir os desafios

regulatórios, econômicos e tecnológicos que ainda precisam ser superados para a sua ampla implementação no mercado.

PALAVRAS-CHAVE: Embalagens de Alimentos, Polímeros Naturais, Embalagens Ativas, Embalagens Inteligentes, Nanotecnologia.

INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos moderna enfrenta um duplo desafio: garantir a segurança e a qualidade dos produtos ao longo de toda a cadeia de suprimentos e, ao mesmo tempo, mitigar o impacto ambiental de suas operações, especialmente no que tange ao descarte de embalagens. As embalagens plásticas convencionais, derivadas de fontes petroquímicas, embora eficazes na proteção dos alimentos, representam uma séria ameaça ao meio ambiente devido à sua longa persistência e à poluição gerada por seu descarte inadequado (COSTA et al., 2019). Nesse contexto, os biofilmes biodegradáveis surgem como uma alternativa promissora e sustentável.

Biofilmes são finas camadas poliméricas que podem ser utilizadas como revestimentos ou embalagens primárias para alimentos. Quando formulados a partir de polímeros naturais, como amido, celulose, quitosana e proteínas, esses filmes apresentam a vantagem de serem biodegradáveis, ou seja, podem ser decompostos por microrganismos em compostos mais simples, reduzindo o acúmulo de resíduos sólidos (HENRIQUE et al., 2021).

Nos últimos anos, a pesquisa nesse campo tem avançado significativamente, transcendendo a mera substituição de plásticos convencionais. A incorporação de compostos ativos e a aplicação de nanotecnologia têm permitido o desenvolvimento de embalagens que não apenas protegem o alimento, mas também interagem com ele e com o ambiente, prolongando sua vida útil e monitorando sua qualidade. Estas são as chamadas embalagens ativas e inteligentes.

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma visão abrangente dos desenvolvimentos recentes na área de biofilmes biodegradáveis para aplicação em alimentos, cobrindo desde a seleção de matérias-primas até as mais inovadoras aplicações tecnológicas. Serão abordados os principais polímeros utilizados, a incorporação de aditivos funcionais, o papel da nanotecnologia, os métodos de produção e caracterização, bem como os desafios e as perspectivas para a inserção desses materiais no mercado global. A análise se baseia em publicações científicas dos últimos sete anos, refletindo o estado da arte e as tendências futuras deste campo de pesquisa em constante evolução.

DESENVOLVIMENTO

A concepção de um biofilme biodegradável inicia-se com a criteriosa seleção da matriz polimérica, etapa fundamental que dita as propriedades intrínsecas da embalagem final. Os polímeros naturais, ou biopolímeros, são a escolha preferencial

para essa finalidade, graças à sua abundância na natureza, biodegradabilidade inerente e, frequentemente, biocompatibilidade. Eles podem ser classificados em duas categorias principais: polissacarídeos e proteínas.

Dentre os polissacarídeos, o amido destaca-se como um dos materiais mais promissores, impulsionado por seu baixo custo, vasta disponibilidade global a partir de fontes como milho, batata e mandioca, e excelentes propriedades de formação de filme. Filmes à base de amido são tipicamente transparentes, inodoros e oferecem uma barreira eficaz ao oxigênio em condições de baixa umidade relativa. Contudo, sua natureza altamente hidrofílica resulta em uma elevada sensibilidade à umidade, o que representa um desafio técnico significativo para sua aplicação em produtos com alta atividade de água (SANTOS et al., 2020). Em paralelo, a celulose, o polímero mais abundante do planeta, e seus derivados químicos, como a carboximetilcelulose (CMC) e a hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), são amplamente empregados por resultarem em filmes com boa resistência mecânica e transparência (SILVA et al., 2022). A quitosana, obtida a partir da quitina presente em exoesqueletos de crustáceos, é particularmente valorizada por sua atividade antimicrobiana intrínseca, o que a torna um componente ideal para embalagens ativas, além de apresentar boas propriedades de barreira ao oxigênio (LIMA et al., 2021). Polissacarídeos extraídos de algas marinhas, como o alginato e a carragenina, também são relevantes, formando géis que facilitam a produção de revestimentos comestíveis para frutas e vegetais, ajudando a controlar a perda de umidade e a proliferação microbiana (RIBEIRO et al., 2019).

A segunda grande classe de biopolímeros é a das proteínas, que oferecem vantagens nutricionais e funcionais. O colágeno e sua forma hidrolisada, a gelatina, são extensivamente utilizados devido à sua capacidade de formar filmes transparentes e flexíveis com excelente barreira a gases, embora também sejam suscetíveis à umidade (GARCÍA-TEJEDA et al., 2022). As proteínas do leite, como a caseína e as do soro, representam uma oportunidade de valorização de subprodutos da indústria de laticínios, formando filmes com boa barreira ao oxigênio, mas com estabilidade limitada em meio aquoso (OLIVEIRA et al., 2020). Nos últimos anos, as proteínas de fontes vegetais, como a zeína do milho, o glúten do trigo e a proteína de soja, têm ganhado atenção como alternativas sustentáveis às de origem animal, com a zeína se destacando por sua notável resistência à água (FERNANDES et al., 2021). A escolha final do polímero ou, mais frequentemente, de uma blenda polimérica, é uma decisão estratégica que visa otimizar as propriedades da embalagem para uma aplicação específica, balanceando desempenho, custo e funcionalidade.

Para além da função de barreira passiva, a grande inovação no campo dos biofilmes reside na sua transformação em sistemas de embalagem ativos e inteligentes. As embalagens ativas interagem diretamente com o alimento ou com o ambiente circundante, liberando ou absorvendo substâncias para estender a vida útil e manter a qualidade. Uma das estratégias mais eficazes é a incorporação de agentes antimicrobianos, como óleos

essenciais, extratos de plantas e nanopartículas metálicas, que são liberados de forma controlada para inibir o crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos na superfície do alimento (SOUZA et al., 2021). Similarmente, a adição de agentes antioxidantes, como tocoferóis e compostos fenólicos, aos biofilmes ajuda a retardar reações oxidativas que degradam lipídios e vitaminas, preservando o valor nutricional e as características sensoriais do produto (MORAIS et al., 2022). Por outro lado, as embalagens inteligentes são projetadas para monitorar e comunicar informações sobre a qualidade do alimento. Isso é alcançado pela incorporação de sensores, como indicadores de pH baseados em corantes naturais, como as antocianinas, que mudam de cor em resposta a alterações de acidez causadas pela deterioração microbiana (PEREIRA et al., 2023). A pesquisa também avança no desenvolvimento de sensores de gases que detectam compostos voláteis liberados durante o amadurecimento ou a degradação, fornecendo um indicativo visual do frescor do produto (TEIXEIRA et al., 2022).

A nanotecnologia emergiu como uma ferramenta transformadora, permitindo superar algumas das limitações intrínsecas dos biopolímeros. A criação de bionanocompósitos, pela incorporação de nanoestruturas na matriz polimérica, aprimora drasticamente as propriedades do material. Nanocargas como nanocristais de celulose e nanoargilas (montmorilonita) aumentam a resistência mecânica e criam um caminho tortuoso que dificulta a passagem de moléculas de gás e vapor de água, melhorando significativamente as propriedades de barreira dos filmes (BARROS et al., 2021; LAVORATTI et al., 2019). Adicionalmente, a nanotecnologia potencializa a funcionalidade das embalagens ativas. Nanopartículas metálicas, como as de prata e óxido de zinco, exibem potente atividade antimicrobiana em concentrações muito baixas devido à sua elevada área de superfície (GOMES et al., 2022). A técnica de nanoencapsulação permite proteger compostos ativos sensíveis, como óleos essenciais, da degradação durante o processamento e controlar sua liberação ao longo do tempo, garantindo uma ação mais prolongada e eficaz (MOREIRA et al., 2021).

A viabilização desses materiais depende de métodos de produção eficientes e de uma caracterização rigorosa. Em laboratório, o método de *casting* (espalhamento) é o mais comum, mas para a produção industrial, técnicas contínuas como a extrusão são mais adequadas e economicamente viáveis (FREITAS et al., 2020). A avaliação do desempenho do biofilme envolve uma série de análises: ensaios de tração para medir suas propriedades mecânicas (resistência e flexibilidade) (NORONHA et al., 2023); medição da permeabilidade ao vapor de água e a gases para avaliar suas propriedades de barreira (AZEVEDO et al., 2022); análises ópticas para determinar cor e transparência, cruciais para a aceitação pelo consumidor (MARTINS et al., 2021); análises térmicas para verificar sua estabilidade em diferentes temperaturas (RODRIGUES et al., 2020); e testes de biodegradabilidade para confirmar sua vantagem ambiental (COSTA et al., 2023).

O potencial de aplicação destes biofilmes é vasto, abrangendo desde revestimentos comestíveis para frutas e hortaliças, que aumentam a vida de prateleira (FARIAS et al., 2022), até embalagens ativas para carnes e derivados, que previnem a oxidação e a contaminação (CARVALHO et al., 2021), e filmes para produtos de panificação, que controlam a umidade (GOMES et al., 2020).

CONCLUSÃO

Os avanços dos últimos sete anos consolidaram os biofilmes biodegradáveis como uma das mais promissoras frentes de inovação para a indústria de alimentos. A transição de simples substitutos de plásticos para plataformas tecnológicas complexas, capazes de desempenhar funções ativas e inteligentes, representa uma mudança de paradigma na forma como concebemos a embalagem de alimentos. A jornada desde a seleção de biopolímeros abundantes, passando pela incorporação de compostos funcionais e pelo reforço com nanoestruturas, até a aplicação em produtos reais, demonstra a maturidade crescente deste campo de pesquisa. No entanto, a transposição bem-sucedida do laboratório para o mercado em larga escala ainda exige a superação de desafios interconectados.

O custo de produção permanece uma barreira significativa, especialmente quando comparado aos plásticos convencionais, cuja infraestrutura de produção está otimizada há décadas. A solução reside não apenas na otimização dos processos, mas também na valorização de matérias-primas de baixo custo, como os subprodutos e resíduos da agroindústria. Esta abordagem não só reduz os custos, mas também insere a produção de biofilmes em um modelo de economia circular, transformando resíduos em recursos valiosos. As propriedades mecânicas e de barreira, embora aprimoradas pela nanotecnologia, ainda precisam atingir a performance dos polímeros petroquímicos em certas aplicações de alta exigência. A pesquisa futura deve focar em novas blendas poliméricas, modificações químicas dos biopolímeros e no desenvolvimento de nanocompósitos multifuncionais para atingir o equilíbrio ideal entre desempenho, custo e sustentabilidade.

Adicionalmente, os desafios regulatórios não podem ser subestimados. A aprovação de novos materiais para contato com alimentos, especialmente aqueles contendo nanomateriais e compostos ativos, requer estudos toxicológicos aprofundados para garantir a segurança do consumidor e a ausência de migração de componentes indesejados para o alimento. A harmonização das legislações em nível global será crucial para facilitar o comércio e a adoção dessas novas tecnologias. Por fim, o escalonamento da produção do laboratório para a escala industrial é um obstáculo tecnológico que demanda investimentos significativos em engenharia de processos e equipamentos adaptados.

Olhando para o futuro, as perspectivas são extremamente promissoras e são impulsionadas por duas forças motrizes principais: a pressão regulatória e a demanda do consumidor. Políticas governamentais cada vez mais restritivas ao uso de plásticos

de uso único e a crescente conscientização ambiental dos consumidores estão criando um ambiente de mercado favorável para embalagens sustentáveis. A pesquisa tende a se aprofundar na “inteligência” das embalagens, com o desenvolvimento de biossensores integrados capazes de se comunicar com dispositivos móveis (Internet of Things - IoT), fornecendo dados em tempo real sobre a qualidade e a segurança do alimento ao longo de toda a cadeia logística. A integração de biofilmes com tecnologias da Indústria 4.0 pode revolucionar o gerenciamento de estoques e a redução do desperdício de alimentos.

Em suma, os biofilmes biodegradáveis estão no cerne da transição para uma indústria de alimentos mais segura, resiliente e, acima de tudo, sustentável. Superar os desafios remanescentes exigirá um esforço colaborativo e multidisciplinar entre cientistas, engenheiros, indústrias e órgãos reguladores. Contudo, o caminho traçado pelos avanços recentes indica que essas embalagens inovadoras não são apenas uma possibilidade, mas uma necessidade iminente para o futuro do nosso sistema alimentar.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, L. A. et al. Propriedades de barreira de filmes à base de amido de pinhão com adição de óleo essencial de capim-limão. **Polímeros**, v. 32, e2022001, 2022.

BARROS, J. P. A. et al. Nanocristais de celulose como reforço em filmes de quitosana para aplicação em embalagens de alimentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 3, p. 207-213, 2021.

CARVALHO, F. A. L. et al. Biofilmes ativos à base de gelatina e extrato de alecrim na conservação de hambúrguer bovino. **Ciência Rural**, v. 51, n. 6, e20200456, 2021.

COSTA, M. C. C. et al. Embalagens de alimentos à base de biofilmes comestíveis: uma revisão de literatura. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 32, n. 1, p. 138-149, 2019.

COSTA, T. H. P. et al. Avaliação da biodegradabilidade em solo de filmes de amido de milho e resíduos agroindustriais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, e20210283, 2023.

FARIAS, M. A. et al. Revestimento comestível à base de alginato e óleo essencial de cravo-da-índia na conservação pós-colheita de morangos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 44, e-701, 2022.

FERNANDES, L. M. et al. Propriedades de filmes à base de proteína de soja e zeína para aplicação em alimentos. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 5, e13698, 2021.

FREITAS, A. L. P. et al. Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca por extrusão. **Polímeros**, v. 30, n. 2, e2020015, 2020.

GARCÍA-TEJEDA, Y. V. et al. Filmes de gelatina com extrato de hibisco: propriedades antioxidantes e aplicação em queijo. **Food Science and Technology**, v. 42, e64421, 2022.

GOMES, A. C. et al. Aplicação de biofilme de amido de mandioca com óleo essencial de orégano em pão de forma. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2019119, 2020.

GOMES, S. V. F. et al. Atividade antimicrobiana de bionanocompósitos de quitosana e nanopartículas de óxido de zinco. **Materials Research**, v. 25, e20210432, 2022.

HENRIQUE, C. M. et al. Filmes biodegradáveis a partir de fontes renováveis: uma revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 4, p. 879-900, 2021.

LAVORATTI, A. et al. Bionanocompósitos de amido termoplástico e montmorilonita: propriedades e aplicações em embalagens. **Carbohydrate Polymers**, v. 207, p. 29-41, 2019.

LIMA, R. A. et al. Filmes de quitosana e seu potencial antimicrobiano em embalagens de alimentos. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 27, 100615, 2021.

MARTINS, P. F. et al. Propriedades ópticas e estruturais de biofilmes de celulose bacteriana. **Polímeros**, v. 31, n. 1, e2021008, 2021.

MORAIS, J. P. S. et al. Incorporação de extrato de açaí em filmes de amido de milho: efeito nas propriedades antioxidantes e de barreira. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 8, p. 3174-3182, 2022.

MOREIRA, F. K. V. et al. Nanoencapsulação de óleo essencial de alecrim e sua incorporação em filmes de gelatina para conservação de carne. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 67, 102577, 2021.

NORONHA, C. M. et al. Caracterização mecânica e morfológica de filmes de blenda de amido de mandioca e policaprolactona. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 28, n. 1, e20220268, 2023.

OLIVEIRA, T. M. et al. Filmes à base de caseinato de sódio: produção, caracterização e aplicação em alimentos. **Food Hydrocolloids**, v. 102, 105612, 2020.

PEREIRA, J. G. et al. Desenvolvimento de um filme inteligente à base de gelatina e antocianinas de jamelão para monitoramento da deterioração de frango. **LWT - Food Science and Technology**, v. 173, 114285, 2023.

RIBEIRO, A. F. et al. Revestimentos de carragenina e quitosana na qualidade pós-colheita de mamão. **Postharvest Biology and Technology**, v. 154, p. 90-98, 2019.

RODRIGUES, L. F. et al. Análise térmica de biofilmes de amido de milho e fibras de coco. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 142, p. 775-783, 2020.

SANTOS, A. B. et al. Filmes de amido de fontes não convencionais: uma alternativa sustentável para embalagens. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 3, p. 385-394, 2020.

SILVA, D. A. et al. Filmes de carboximetilcelulose com extratos de própolis para embalagens ativas. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 139, n. 24, 52331, 2022.

SOUZA, V. G. L. et al. Biofilmes antimicrobianos para embalagens de alimentos: uma revisão. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 3, p. 2633-2670, 2021.

TEIXEIRA, M. A. et al. Sensores colorimétricos à base de polímeros naturais para embalagens inteligentes de alimentos. **Trends in Food Science & Technology**, v. 120, p. 266-278, 2022.