Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional
Departamento de Tecnologia de Alimentos
Tecnologia de Alimentos

Embalagens alimentícias com ênfase em materiais plásticos: influência na conservação e na segurança alimentar

Letícia Matias Araújo

João Pessoa - PB
2026

Leticia Matias Araújo

Embalagens alimentícias com ênfase em materiais plástico: influência na conservação e na segurança alimentar

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido e apresentado no âmbito do Curso de Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba como requisito para obtenção do título de Tecnólogo de Alimentos.

Orientador (a): Prof° Dr° Adriana Maria Fernandes de Oliveira Golzio

João Pessoa
2026

Leticia Matias Araújo

Embalagens alimentícias com ênfase em materiais plástico: influência na conservação e na segurança alimentar

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal da Paraíba como parte das exigências para a obtenção do título de Tecnólogo de Alimentos.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br ADRIANA MARIA FERNANDES DE OLIVEIRA GOL
Data: 02/04/2026 09:06:27-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Dr.ª Adriana Maria Fernandes de Oliveira Golzio
Orientadora

Documento assinado digitalmente
gov.br MARISTELA ALVES ALCANTARA
Data: 02/04/2026 09:35:07-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra Maristela Alves Alcântara
Examinador

Documento assinado digitalmente
gov.br ANGELA MARIA TRIBUZY DE MAGALHAES CORD
Data: 06/04/2026 13:49:50-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Dr.ª Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro
Examinador

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663e Araujo, Leticia Matias.
Embalagens alimentícias com ênfase em materiais plásticos: influência na conservação e na segurança alimentar / Leticia Matias Araujo. - João Pessoa, 2026.
34 f.

Orientação: Adriana Golzio.
TCC (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Embalagens. 2. Plásticas. 3. Alimentos. 4. Conservação. I. Golzio, Adriana. II. Título.

UFPB/CTDR CDU 664.8.03

Elaborado por Rodrigo Araújo de Sá Pereira - CRB-755/O

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me sustentou ao longo de toda essa jornada e tornou este momento possível. Enfrentar a rotina de morar a duas horas de distância da universidade foi desafiador e, por muitas vezes, cansativo, mas encontrei forças Nele diariamente para seguir em frente e concluir cada etapa. Acredito que tudo acontece no tempo certo, e, se estou aqui hoje, é porque este era o momento certo.

Em segundo lugar, agradeço à minha irmã, Laís Matias, que me apresentou o curso, me incentivou a segui-lo e esteve ao meu lado em todos os momentos, não me permitindo desistir. Hoje, temos em nossa família uma Engenheira de Alimentos e uma Tecnóloga de Alimentos, o que me enche de orgulho. Obrigada por sempre me encorajar e por contribuir para que eu me tornasse uma pessoa mais forte e determinada. Aos meus pais, Simonildo e Vanira, e aos meus irmãos, Leonardo e Lívia, deixo minha profunda gratidão por todo apoio, sustento e incentivo. Vocês foram minha base durante toda essa trajetória, tornando possível que eu chegasse até aqui.

Agradeço também às professoras e a técnica que gentilmente aceitaram compor a banca examinadora. Às professoras Fernanda, Angela, meu muito obrigada pela disponibilidade, dedicação e contribuição para a formação de tantos profissionais. A técnica do laboratório, Maristela, agradeço pela disponibilidade e auxílio durante as semanas de estágio. Em especial, agradeço à minha orientadora, Adriana Golzio, pela paciência, apoio e dedicação na orientação deste trabalho.

Por fim, agradeço às amizades construídas ao longo dessa caminhada, que tornaram essa jornada mais leve e significativa. Foram várias horas de ônibus, conversas, risadas, desafios e momentos compartilhados que fizeram com que o peso da graduação se tornasse mais suportável quando dividido.

RESUMO

As embalagens plásticas desempenham papel fundamental na conservação, proteção e estabilidade dos alimentos, atuando como barreiras contra agentes externos, como oxigênio, umidade, luz e microrganismos. Contudo, alguns parâmetros, como a permeabilidade a gases e vapor d'água, resistência mecânica e proteção contra a radiação luminosa, devem ser cuidadosamente avaliados, uma vez que influenciam diretamente a qualidade e a vida útil dos produtos alimentícios. Para a realização deste estudo, foi conduzida uma revisão bibliográfica narrativa, por meio da análise de artigos científicos, livros e normas técnicas relacionados à tecnologia de embalagens e à conservação de alimentos. A partir da literatura estudada, verificou-se que as características físico-químicas e estruturais das embalagens plásticas são determinantes para a manutenção da qualidade, segurança e durabilidade dos alimentos, contribuindo para a redução de perdas e desperdícios ao longo do armazenamento e transporte. Além disso, evidenciou-se que a correta seleção dos materiais e o uso de tecnologias adequadas de embalagem são fatores essenciais para otimizar a vida de prateleira e assegurar a integridade dos produtos. Assim, conclui-se que o avanço no desenvolvimento de embalagens plásticas, aliado à escolha adequada de seus sistemas, representa um elemento estratégico para a indústria de alimentos, ao integrar conservação, segurança alimentar e sustentabilidade.

Palavras-chave: embalagens, plásticas, alimentos, conservação, segurança.

Abstract

Plastic packaging plays a fundamental role in the preservation, protection, and stability of foods, acting as a barrier against external agents such as oxygen, moisture, light, and microorganisms. However, certain parameters, such as gas and water vapor permeability, mechanical resistance, and protection against light radiation, must be carefully evaluated, as they directly influence the quality and shelf life of food products. To conduct this study, a narrative literature review was carried out, based on the analysis of scientific articles, books, and technical standards related to packaging technology and food preservation. Based on the reviewed literature, it was observed that the physical, chemical, and structural characteristics of plastic packaging are essential for maintaining food quality, safety, and durability, contributing to the reduction of losses and waste during storage and transportation. Furthermore, it was evidenced that the proper selection of materials and the use of appropriate packaging technologies are key factors in optimizing shelf life and ensuring product integrity. Thus, it is concluded that advances in the development of plastic packaging, combined with the appropriate choice of packaging systems, represent a strategic element for the food industry by integrating preservation, food safety, and sustainability.

Keywords: plastic packaging; food; preservation; stability, security.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....5

2. OBJETIVOS.....8

2.1 OBJETIVO GERAL..... 8

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 8

3. METODOLOGIA..... 8

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 9

4.1 EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS..... 9

4.2 TIPOS DE EMBALAGENS..... 11

4.3 EMBALAGENS: TIPOS E MATERIAIS..... 13

4.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS. 15

4.4.1 Propriedades das embalagens plásticas e sua influência na conservação dos alimentos……15

4.4.2 Mecanismos de deterioração dos alimentos: relação entre a conservação e as propriedades das embalagens plásticas.....18

4.5 Segurança Alimentar e Migração De Substâncias.....21

4.6 Inovações em Embalagens Plásticas.....23

5. CONSIDERAÇÃO FINAL..... 24

6. REFERÊNCIAS.....25

1. INTRODUÇÃO

A embalagem exerce função essencial na preservação, estabilidade e proteção dos alimentos, impactando diretamente sua durabilidade, segurança microbiológica e características sensoriais (Abejón *et al.*, 2020). Além de conter os produtos, ela atua como uma barreira contra agentes químicos, físicos e microbiológicos, garantindo a qualidade e a segurança necessárias para a saúde do consumidor. De acordo com a Associação Brasileira de Embalagem (ABRE), a embalagem é definida como um recipiente ou envoltório utilizado para conter produtos de forma temporária, seja individualmente ou em conjunto. Sua principal função é proteger o conteúdo, prolongar sua vida útil e facilitar processos como a distribuição, identificação e o consumo (ABRE, 2018).

Muito além de um simples revestimento, as embalagens representam um elemento estratégico na cadeia de produção, exercendo papel essencial na preservação e no transporte dos alimentos, na interação com o consumidor e na redução de perdas e desperdícios. Com o aumento da demanda por produtos frescos e minimamente processados, a escolha adequada dos materiais e tecnologias de embalagem torna-se cada vez mais estratégica para a indústria alimentícia (Siciliano *et al*, 2024).

No entanto, a migração de substâncias químicas dos materiais para os alimentos continua sendo um desafio significativo para a segurança alimentar, apesar dos avanços tecnológicos no desenvolvimento de várias embalagens alimentícias, como vidro, metais, papel e papelão, além de polímeros plásticos. Cada material possui características físico-químicas particulares que afetam sua interação com os alimentos, podendo, sob certas condições, facilitar a transferência de substâncias indesejadas. Em embalagens poliméricas, compostos como bisfenol A (BPA), ftalatos e substâncias perfluoroalquiladas (PFAS) foram encontrados, evidenciando a necessidade de regulamentações mais severas e de pesquisas que analisem seus potenciais impactos à saúde humana (Hoffmann; Bitello, 2016).

Nesse contexto, dentre os diferentes materiais utilizados no setor alimentício, as embalagens plásticas se destacam devido à sua ampla aplicação, praticidade, baixo custo e versatilidade tecnológica. Embora apresentem essas vantagens,

também levantam preocupações relacionadas à segurança e à sustentabilidade. A análise de suas características torna-se, portanto, essencial para conciliar os avanços tecnológicos com a necessidade de preservar a saúde do consumidor e minimizar impactos ambientais. Além disso, compreender a influência das embalagens plásticas na estabilidade dos alimentos pode auxiliar a indústria na tomada de decisões mais assertivas quanto ao desenvolvimento de soluções inovadoras e seguras.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar, por meio de revisão bibliográfica, como as características das embalagens, sobretudo as plásticas, influenciam a conservação e a estabilidade dos alimentos, considerando aspectos funcionais, tecnológicos e de segurança alimentar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os tipos de embalagens utilizadas na indústria alimentícia e suas funções;
- Avaliar o impacto das embalagens plásticas na vida útil dos alimentos e na segurança alimentar;
- Compreender a relação entre as propriedades físico-químicas das embalagens plásticas e os mecanismos de deterioração dos alimentos;

3. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma revisão bibliográfica narrativa, de abordagem qualitativa, com foco na análise das propriedades das embalagens plásticas e sua influência na conservação e segurança dos alimentos.

A pesquisa foi realizada em bases de dados científicas nacionais e internacionais, como SciELO, Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink e Web of Science, além de publicações de órgãos oficiais, como ABRE e ANVISA, considerando estudos publicados entre 2013 e 2025.

Foram utilizados descritores em português e inglês, como “embalagens plásticas”, “conservação de alimentos”, “plastic packaging” e “food preservation”, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR.

Como critérios de inclusão, foram selecionados estudos relacionados ao uso de embalagens plásticas na conservação de alimentos, disponíveis na íntegra e nos idiomas português e inglês. Foram excluídos trabalhos duplicados, incompletos ou que não apresentassem relação direta com o tema.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS

Conforme a Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2001, embalagem de alimentos é o material que entra em contato direto com o alimento, destinado a armazená-lo desde o processo de fabricação até o momento da compra pelo consumidor, tendo como finalidade protegê-lo contra possíveis influências externas, alterações, contaminações e adulterações (BRASIL, 2001).

Com o constante aumento da população, existe um consequente aumento na demanda por produtos alimentícios e uma maior necessidade que esses alimentos sejam armazenados e transportados da forma correta, que não cause danos ao alimento ou à saúde do consumidor (Vitale *et al*, 2018). Dessa forma, a utilização de embalagens se tornou uma prática indispensável em nosso dia-a-dia, sendo constituída de diversos tipos de materiais, formatos e tamanhos. Além de simplificar o transporte e o armazenamento, elas são essenciais para proteger os produtos de agentes externos, mantendo suas propriedades físicas, químicas e sensoriais (Fontoura *et al*, 2016).

As embalagens, sendo um item essencial para a indústria de alimentos, apresentam algumas funções principais que são responsáveis por garantir a integridade, o armazenamento e o transporte adequado do produto. Dentre essas funções podemos citar a proteção, contenção, comunicação e conveniência (Martinazzo *et al,* 2020).

A embalagem é a principal barreira que protege o alimento contra choque, quedas, vibrações ou compressões que podem afetar o produto durante todo seu trajeto, até chegar nas prateleiras do supermercado. Também deve proteger contra adulterações ou comprometimento da integridade, sejam de origem acidental ou intencional, utilizando dispositivos que indiquem violação, como selos, tampas com anel de ruptura ou com botão indicador de vácuo, entre outros (Jorge, 2013).

Os alimentos, desde a colheita até o momento do consumo, passando pelas etapas de processamento e armazenamento, estão sujeitos a diferentes formas de deterioração. Esses processos ocorrem principalmente devido à ação de microrganismos, enzimas e reações com o oxigênio presente no ar (Peron *et al*, 2022).

A embalagem é essencial para manter a qualidade e a segurança do produto, contribuindo para prolongar sua vida útil e reduzir perdas por deterioração. Para isso, deve-se controlar fatores como umidade, oxigênio e luz, além de impedir a ação de micro-organismos, funcionando como barreira protetora (Abejón *et al.*, 2020).

Deve ser produzida com materiais seguros, que não liberem substâncias capazes de comprometer a saúde do consumidor ou alterar as características sensoriais do produto. Além de proteger e conservar os alimentos por meio de métodos como processamento térmico, acondicionamento asséptico e atmosfera modificada, a embalagem garante a qualidade final e atua como um importante meio de comunicação entre produto e consumidor, influenciando inclusive a decisão de compra (Jorge, 2013).

Dessa forma, torna-se um recurso indispensável para a oferta e distribuição de produtos na vida cotidiana. Por meio de elementos visuais, como cores, imagens, tipografia e design estrutural, ela desperta a atenção, transmite a identidade da marca e influencia diretamente a decisão de compra (Landim *et al*, 2016).

Todos os recursos que a embalagem pode oferecer tornam o consumo mais prático e conveniente ao consumidor. A embalagem pode incluir tampas dosadoras e sistemas de fechamento reutilizáveis, possibilitar aquecer, cozinhar ou servir o alimento diretamente nela, ser compatível com micro-ondas, permitir a combinação de produtos diferentes, como iogurte e cereais, e se adequar a diversas ocasiões de consumo, oferecendo diferentes quantidades e doses individuais (Jorge, 2013).

Portanto, a embalagem desempenha um papel crucial na cadeia de produção de alimentos, atuando como elo entre a produção e o consumo. Além de proteger os produtos contra danos físicos e contaminação, ela também desempenha um papel significativo na manutenção da qualidade e segurança dos alimentos em toda a cadeia de suprimentos (Mahmed *et al*, 2024). Além disso, uma embalagem eficaz facilita a movimentação e o armazenamento de mercadorias, reduzindo custos e aumentando a eficiência logística (Balakrishnan *et al,* 2019).

4.2 TIPOS DE EMBALAGENS

Na indústria alimentícia, as embalagens podem ser classificadas quanto à estrutura dos materiais ou quanto à sua função. Cada uma com funções únicas que ajudam a proteger, conservar e distribuir produtos alimentícios (Ojha *et al,* 2015).

Quanto à estrutura, podem ser classificados em rígidas, semi-rígidas ou flexíveis (Jorge 2013).

As **embalagens rígidas** oferecem excelente proteção contra impactos e contaminantes, pois possuem uma estrutura sólida e resistente, são exemplos alimentos enlatados, garrafas de vidro e potes plásticos (Jorge 2013).

As **embalagens semi-rígidas** são uma junção das embalagens rígidas e flexíveis. Compatíveis com produtos que exigem mais proteção, mas também exigem alguma flexibilidade no processo de embalagem. Eles são feitos de materiais como o alumínio, que oferecem resistência mecânica e proteção contra luz e

oxigênio, cruciais para a conservação de alimentos sensíveis. Exemplos incluem embalagens termoformadas e bandejas de alumínio (Jorge 2013).

As **embalagens flexíveis** podem ser dobradas, amassadas ou comprimidas sem perder sua integridade. São amplamente utilizados por serem versáteis, leves e com melhor custo benefício. No entanto, a proteção contra impactos pode ser inferior à das embalagens rígidas. São exemplos materiais como filmes plásticos, laminados e folha de papelão comuns nesse tipo de embalagem (Ojha *et al,* 2015).

Quanto à função, são divididas em três categorias distintas: embalagens primárias, secundárias e terciárias (Jorge 2013).

A **embalagem primária**, como latas, garrafas ou sacos, é a que entra em contato direto com o alimento, sendo responsável, principalmente, pela sua conservação e contenção. Atua como proteção imediata contra fatores externos, como oxigênio, luz, umidade e contaminações microbiológicas. Além disso, desempenha um papel crucial na preservação das propriedades sensoriais e nutricionais do produto, influenciando diretamente sua vida útil e aceitação pelo consumidor. Deve ser projetada para garantir a segurança alimentar, atender às normas sanitárias e possibilitar a comunicação de informações essenciais, como data de validade e instruções de armazenamento (Saeter *et al.* 2020).

A **embalagem secundária** é normalmente responsável pela proteção física e mecânica durante a distribuição, é responsável por envolver a embalagem primária e agrupar unidades individuais. Alguns exemplos incluem caixas de papelão, bandejas plásticas e rótulos adicionais. Deve ser planejada para otimizar a logística, minimizar danos durante o transporte e fornecer uma apresentação atraente do produto sem comprometer a funcionalidade da embalagem primária (Saeter *et al*. 2020).

A **embalagem terciária** está relacionada com o transporte em larga escala e armazenamento das embalagens primárias ou secundárias. Facilitando o manuseio e a distribuição eficiente dos produtos, protegendo-os durante o transporte e armazenamento em centros de distribuição ou pontos de venda. Alguns exemplos incluem paletes, caixas de transporte e filmes plásticos para agrupamento (Jorge 2013).

Da mesma forma, a escolha adequada de materiais e tecnologias de embalagem tem se tornado cada vez mais essencial para a indústria alimentícia, principalmente com o aumento da demanda por produtos frescos e minimamente processados (Wani *et al*. 2015).

4.3 EMBALAGENS: TIPOS E MATERIAIS

Os materiais tradicionais usados para embalagens são o plástico, vidro, metal e papel (Ojha *et al,* 2015). Eles desempenham papéis vitais na preservação, proteção e apresentação dos alimentos. A escolha de um determinado tipo de embalagem baseia-se nos requisitos necessários para proteger o alimento acondicionado. Por outro lado, aspectos econômicos e comerciais também devem ser levados em consideração (Saeter *et al*, 2020).

Na indústria alimentícia, o vidro é muito utilizado por causa de sua alta inércia química, ou seja, trata-se de um material que praticamente não reage com o alimento armazenado. Por não interagir com o alimento, previne processos de migração e mudanças sensoriais, sendo especialmente recomendado para produtos ácidos e bebidas (Robertson, 2016). Além disso, sua transparência possibilita a visualização do conteúdo, o que pode agregar valor comercial; no entanto, possui desvantagens, como fragilidade e maior peso em relação a outros materiais (Ojha et al., 2015).

As embalagens metálicas, normalmente fabricadas com aço estanhado ou alumínio, são notáveis por sua alta resistência mecânica e por oferecerem uma excelente proteção contra luz, oxigênio e umidade, sendo muito usadas para alimentos enlatados e produtos que passam por tratamento térmico (Robertson, 2016). A habilidade de resistir a processos como a esterilização ajuda a prolongar a vida útil dos alimentos. No entanto, o risco de corrosão em situações de revestimento interno inadequado destaca a importância de escolher o material adequado de acordo com o tipo de alimento armazenado (Saeter et al., 2020).

Devido ao seu baixo custo, leveza e facilidade de impressão, o papel e o papelão são usados principalmente como embalagens secundárias ou em combinação com outros materiais (Ojha et al., 2015). Embora possuam uma barreira limitada a gases e vapores e baixa resistência à umidade, é possível aplicar tratamentos ou laminações para melhorar suas características funcionais (Robertson, 2016). Além disso, são notáveis pela reciclabilidade e pela crescente necessidade de soluções mais sustentáveis ambientalmente no setor alimentício (Saeter et al., 2020).

As embalagens plásticas são as mais utilizadas, isso se dá ao fato de possuírem o melhor custo benefício, serem mais leves e versáteis, protegem contra o oxigênio, a umidade e contaminantes (Sangroniz *et al*, 2019). De acordo com a ABRE (Associação Brasileira de Embalagens) o segmento de embalagens plásticas encerrou o ano de 2024 com 34,4% de participação na indústria brasileira de embalagens. Com relação à exportação, as embalagens plásticas apresentaram desempenho positivo, encerrando o ano com crescimento de 12,6% e na importação com um aumento de 4,1% (ABRE, 2025).

As embalagens plásticas rígidas garantem uma maior resistência estrutural e mecânica, utilizando uma maior quantidade de material e apresentam uma maior proteção contra alteração durante a manipulação do produto. São exemplos as garrafas PET (Polietileno Tereftalato), latas revestidas, potes de Polipropileno ou Poliestireno, ideais para líquidos, produtos que exigem empilhamento ou acondicionamento com temperaturas mais elevadas (Ojha et al, 2015). As semirrígidas são embalagens plásticas ideais para serem utilizadas em carne fresca, queijos e alimentos prontos ao consumo, pois são resistentes e leves ao mesmo tempo. São exemplos de embalagens plásticas semirrígidas as bandejas termoformadas em PET/PP e os copos de EPS/PP com paredes finas. As embalagens plásticas flexíveis

se destacam por facilmente se adaptar ao conteúdo, são mais econômicas e também menos resistentes. São exemplos os filmes multicamadas, pouches, sacos e são bastante aplicados em snacks, molhos e alimentos desidratados (Bamps *et al,* 2017).

As embalagens plásticas são materiais à base de polímeros sintéticos ou naturais modificados, que podem ser moldados pela ação do calor e/ou pressão. Os materiais mais utilizados na indústria alimentícia são: PET (polietileno tereftalato), o PE (polietileno), que pode ser classificado em polietileno de baixa densidade (LDPE, do inglês *Low-Density Polyethylene*) e polietileno de alta densidade (HDPE, do inglês *High-Density Polyethylene*), além do PP (polipropileno) e do PS (poliestireno) (Jorge, 2013).

As embalagens PET (polietileno tereftalato) são transparentes, rígidas e com excelente barreira mecânica e a gases, amplamente empregado em garrafas e bandejas. As de PP (polipropileno) são resistentes a calor e a processos de esterilização, ideal para potes e tampas. As embalagens de PE (polietileno – LDPE/HDPE) são versáteis em formas rígidas e flexíveis, com boa resistência química. Já as embalagens de PS (poliestireno) são rígidas, transparentes e utilizadas em bandejas e copos descartáveis (Thangamuniyandi *et al,* 2025).

4.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS

4.4.1 Propriedades das embalagens plásticas e sua influência na conservação dos alimentos

As embalagens plásticas apresentam um conjunto de características físicoquímicas que definem sua eficácia na conservação dos alimentos. Entre essas características, a permeabilidade a gases é uma das mais importantes, uma vez que o oxigênio participa diretamente dos processos de deterioração, como a oxidação de lipídios e degradação de vitaminas. Polímeros como o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) possuem alta permeabilidade ao oxigênio, o que os torna apropriados para frutas e hortaliças que precisam de trocas gasosas para regular a respiração. Por outro lado, o Polietileno Tereftalato (PET) oferece alta resistência ao oxigênio, sendo

recomendados para alimentos mais delicados, como carnes e bebidas carbonatadas, nos quais o oxigênio acelera o processo de deterioração (Ncube *et al*, 2020).

A permeabilidade ao vapor d'água é outra característica fundamental que afeta diretamente a textura e a estabilidade dos alimentos. Embalagens de baixa permeabilidade, como o polipropileno (PP), são empregadas para produtos secos, como biscoitos, farinhas e cereais, pois previnem a absorção de umidade e o subsequente amolecimento. Já os materiais mais permeáveis, como o PEBD, podem ser benéficos para hortaliças frescas, uma vez que permitem uma leve perda de umidade, o que contribui para evitar a condensação e o desenvolvimento de fungos (Romruen *et al.*, 2024).

Outra característica importante é a resistência à luz, particularmente à radiação ultravioleta (UV). A luz pode acelerar a oxidação e a degradação de nutrientes, como as vitaminas A, C e D, além de causar mudanças indesejadas na cor e no sabor dos alimentos. Polímeros transparentes, como o PET, podem ser alterados com aditivos que absorvem UV ou incorporados em estruturas multicamadas com barreira óptica, proporcionando maior proteção a produtos sensíveis à luz, como óleos vegetais e laticínios (Meadows *et al*., 2025).

Do ponto de vista mecânico, a resistência ao impacto e à deformação é fundamental para proteger alimentos durante transporte e armazenamento. O PET e o PP apresentam boa resistência mecânica, sendo amplamente utilizados em garrafas e potes. Já o poliestireno (PS), embora rígido e transparente, é mais frágil e propenso à quebra, sendo restrito a usos de curta duração. Essa resistência física está diretamente ligada à redução de perdas e desperdícios alimentares, que representam um dos principais desafios logísticos da indústria (Liu, 2024).

A resistência térmica também deve ser levada em conta, principalmente para os alimentos submetidos a processos de aquecimento, congelamento ou esterilização. Por exemplo, o PP é recomendado para embalagens que serão utilizadas em micro-ondas, graças à sua estabilidade térmica. Por outro lado, polímeros como PEBD e PVC têm menor resistência a altas temperaturas e não são apropriados para esse tipo de uso. Esse ponto é importante porque a embalagem precisa tanto preservar o alimento quanto se ajustar às condições de processamento e consumo (Geueke *et al*., 2018).

Por fim, a interação entre embalagem e alimento deve ser analisada com cuidado. Alguns polímeros têm a capacidade de absorver ou liberar compostos voláteis, o que pode modificar o aroma e sabor dos alimentos. Ademais, a migração de aditivos, plastificantes e contaminantes não intencionais pode afetar a qualidade e a segurança do produto. Esse ponto liga diretamente as características físicoquímicas à segurança alimentar (Bamps *et al*., 2023).

O quadro 1 fornece um resumo comparativo dos materiais plásticos citados, enfatizando suas características físico-químicas e como elas afetam os processos de deterioração alimentar.

Quadro 1 – Características físico-químicas dos principais polímeros utilizados em embalagens alimentícias.

Tipo de Plástico	Sigla	Principais características físico-químicas
Polietileno de Baixa Densidade	PEBD (LDPE)	Alta permeabilidade ao oxigênio e ao vapor d'água; flexível; baixa resistência térmica
Polietileno Tereftalato	PET	Baixa permeabilidade ao oxigênio; boa resistência mecânica; transparência; possibilidade de aditivos com proteção UV
Polipropileno	PP	Baixa permeabilidade ao vapor d'água; boa resistência mecânica; alta resistência térmica
Poliestireno	PS	Rígido e transparente; menor resistência ao impacto; maior fragilidade

Policloreto de Vinila	PVC	Boa barreira a gases; flexível (quando plastificado); menor resistência a altas temperaturas

4.4.2 Mecanismos de deterioração dos alimentos: relação entre a conservação e as propriedades das embalagens plásticas

A deterioração dos alimentos é um fenômeno natural que engloba mudanças microbianas, químicas, físicas e sensoriais, as quais podem afetar a segurança, o valor nutricional e a qualidade organoléptica dos produtos. Esses mecanismos estão ligados diretamente às condições de armazenamento, às características do alimento e às propriedades da embalagem empregada (Ncube et al., 2020).

As embalagens plásticas, por sua vez, desempenham papel estratégico na modulação desses processos, atuando como barreiras contra oxigênio, umidade, luz e contaminantes externos, e influenciando a velocidade e a extensão da deterioração. Compreender esses mecanismos é fundamental para a escolha adequada do material, garantindo maior vida útil, segurança alimentar e preservação das propriedades sensoriais dos alimentos (Bamps et al., 2023).

A deterioração dos alimentos é um processo complexo que compromete sua segurança, valor nutricional e qualidade sensorial. Esse processo resulta da interação entre fatores biológicos, químicos e físicos. As embalagens plásticas são essenciais na modulação desses processos, funcionando como barreiras físicas e químicas contra agentes externos (Ncube et al, 2020).

Um dos principais fatores de deterioração é o crescimento microbiano. Quando os alimentos estão em contato com oxigênio, umidade ou temperaturas impróprias, há a possibilidade de proliferação de bactérias, leveduras e fungos. Embalagens que possuem baixa permeabilidade ao oxigênio e barreiras apropriadas à umidade contribuem para diminuir a taxa de crescimento microbiano, estendendo a vida útil do produto (Bamps *et al.*, 2023). O controle parcial da troca gasosa em alimentos frescos, como frutas e hortaliças, é vantajoso, pois possibilita a respiração natural sem promover fermentações indesejadas (Liu, 2024).

Quando um alimento entra em contato com oxigênio, luz ou calor, processos químicos como oxidação lipídica, degradação de vitaminas e reações de Maillard podem acontecer. A oxidação de lipídios tem grande importância em produtos com alto teor de gordura, como óleos, margarinas e carnes industrializadas. Polímeros que possuem barreiras eficientes, como o EVOH em estruturas multicamadas, reduzem a entrada de oxigênio e diminuem a velocidade dessas reações (Meadows *et al*., 2025). Ademais, a luz pode degradar pigmentos e vitaminas sensíveis, tornando a proteção contra radiação UV um elemento fundamental no design da embalagem (Geueke *et al*., 2018).

As mudanças físicas incluem perda de textura, ressecamento, absorção de umidade e deformações. Quando armazenados em embalagens que permitem a passagem de umidade, produtos como biscoitos ou cereais secos podem perder a crocância. Por outro lado, vegetais frescos podem desidratar e murchar quando acondicionados em embalagens muito impermeáveis. A conservação também é afetada pela resistência mecânica da embalagem, uma vez que danos físicos durante o transporte podem expor os alimentos a microrganismos e acelerar sua deterioração (Shah, 2023).

O efeito final na experiência do cliente está ligado a alterações no sabor, cheiro, cor e apresentação do produto alimentar. Os polímeros têm a capacidade de absorver compostos voláteis ou liberar aditivos que modificam o perfil sensorial. O uso de materiais apropriados reduz essas mudanças, assegurando que o alimento preserva suas características originais até o momento do consumo (Bamps *et al*., 2023).

Para além da barreira física, as embalagens podem desempenhar um papel ativo no combate à deterioração, utilizando tecnologias de embalagens ativas ou inteligentes. Filmes antimicrobianos, absorvedores de oxigênio e indicadores de frescor são exemplos de avanços que melhoram a estabilidade dos alimentos, estendendo sua vida útil sem afetar sua segurança ou qualidade (Anukiruthika *et al.*, 2020).

Em suma, a escolha do tipo de embalagem plástica e a adequação de suas características físico-químicas são essenciais para gerenciar os processos de deterioração microbiana, química, física e sensorial, assegurando a segurança e a qualidade do alimento ao longo de toda a cadeia de distribuição e consumo.

A relação entre embalagem e deterioração é direta e crucial, pois a eficácia da barreira protetora define a rapidez e a gravidade das mudanças nos alimentos. Uma embalagem apropriada deve minimizar a exposição a oxigênio, umidade, luz e microrganismos, elementos que aceleram reações químicas, crescimento microbiano e mudanças físicas. Portanto, a escolha adequada do material plástico está diretamente relacionada à manutenção da qualidade e da durabilidade dos produtos (Ncube *et al*, 2020).

Para prevenir a deterioração microbiana, a embalagem precisa proporcionar barreiras que impeçam o desenvolvimento de bactérias, fungos e leveduras. Polímeros como PET e EVOH, quando usados em estruturas multicamadas, oferecem elevada barreira ao oxigênio, restringindo a presença desse elemento fundamental para o crescimento microbiano (Bamps *et al*, 2023). Para produtos frescos, como frutas e hortaliças, a embalagem precisa equilibrar a permeabilidade ao oxigênio e ao vapor d'água, permitindo que o alimento respire naturalmente sem acumular excessivamente gases ou umidade, o que pode acelerar a deterioração (Liu, 2024).

Com relação à deterioração química, como a oxidação lipídica e a degradação de pigmentos e vitaminas, é essencial utilizar plásticos que possuam barreiras eficazes contra a luz e o oxigênio. Por exemplo, filmes transparentes de PET podem ser mesclados com aditivos que absorvem radiação UV ou com camadas opacas, a fim de reduzir a degradação fotoquímica em óleos e bebidas (Meadows *et al*, 2025). Assim, a embalagem não só armazena o alimento, como também atua ativamente na prevenção de reações indesejadas.

O tipo de polímero também afeta a deterioração física, como perda de textura, ressecamento e absorção de umidade. Materiais como polipropileno (PP) oferecem uma boa barreira contra o vapor d'água, sendo recomendados para produtos secos. Por outro lado, o polietileno de baixa densidade (PEBD), por ser mais permeável, é apropriado para hortaliças que necessitam de trocas de umidade controladas (Romruen *et al*., 2024). Portanto, a seleção da embalagem deve estar alinhada com as propriedades intrínsecas de cada alimento.

Por último, a deterioração sensorial, que abrange mudanças no sabor, aroma, cor e aparência, pode estar relacionada tanto às condições externas quanto às interações entre o alimento e sua embalagem. Alguns polímeros tendem a absorver ou liberar compostos voláteis, alterando o perfil sensorial. Nesse contexto, estudos

recentes têm criado embalagens ativas que liberam antimicrobianos naturais ou absorvem odores desagradáveis, preservando a qualidade sensorial por um período mais longo (Anukiruthika *et al*, 2020).

Assim, a embalagem plástica não deve ser considerada apenas um recipiente passivo, mas um agente estratégico no controle da deterioração, cuja eficácia depende de suas características físico-químicas, da tecnologia utilizada e da compatibilidade com o alimento que protege. A conexão entre embalagem e deterioração destaca a importância de inovação constante neste campo, com o objetivo de aumentar a segurança, prolongar a vida útil e promover a sustentabilidade no setor de alimentos.

4.5 SEGURANÇA ALIMENTAR E MIGRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS

Um fator importante a ser considerado na escolha de embalagens plásticas é a segurança alimentar, uma vez que a migração de substâncias químicas pode afetar a saúde do consumidor. A migração ocorre quando moléculas presentes na matriz do polímero, como monômeros residuais, aditivos ou contaminantes externos, difundem-se para o alimento em condições específicas de uso e armazenamento (Bamps *et al*., 2023).

Dentre os compostos mais estudados, destacam-se o Bisfenol A (BPA), ftalatos, aminas aromáticas e substâncias perfluoroalquiladas (PFAS), podendo funcionar como desreguladores endócrinos e impactar o metabolismo, sistema reprodutivo e desenvolvimento infantil (Geueke *et al,* 2018). Estudos recentes apontam que a exposição contínua a esses compostos pode estar associada a alterações metabólicas, como obesidade, resistência à insulina e disfunções hormonais, além de impactos no desenvolvimento neurológico e reprodutivo (Rochester, 2013).

Ademais, a literatura científica tem dado maior atenção à presença de substâncias não intencionalmente adicionadas (NIAS). Durante o processamento ou degradação de materiais plásticos, podem ser geradas essas substâncias, que frequentemente não passam por uma avaliação toxicológica completa, constituindo assim um desafio adicional para a segurança alimentar (Groh et al., 2019).

Outro ponto importante diz respeito às substâncias perfluoroalquiladas (PFAS), reconhecidas por sua alta persistência no meio ambiente e potencial de bioacumulação. Pesquisas sugerem que esses compostos podem se acumular no corpo humano ao longo do tempo, estando ligados a mudanças no sistema imunológico, desequilíbrios hormonais e maior probabilidade de desenvolver doenças crônicas (Schaider et al., 2017).

A taxa de migração é influenciada por vários elementos, como o tipo de polímero, aditivos envolvidos, duração do contato, temperatura, pH e propriedades químicas do alimento (Bamps *et a*l, 2024). Assim, alimentos gordurosos expostos a altas temperaturas têm maior probabilidade de migração. Um exemplo prático é o aquecimento de alimentos em recipientes plásticos impróprios, como no microondas, o que pode aumentar a liberação de compostos para o alimento.

A exposição a esses compostos deve ser reduzida de acordo com as normas internacionais. Na União Europeia, a Regulamentação CE n.º 10/2011 define limites para a migração global e específica de compostos químicos contidos em plásticos destinados ao contato com alimentos. No Brasil, a ANVISA estabelece limites de migração global e específica para compostos que podem ser prejudiciais, seguindo critérios semelhantes (ANVISA, 2019).

Portanto, entender os mecanismos de migração e as características físicoquímicas das embalagens plásticas é fundamental para criar soluções seguras e eficazes para a conservação de alimentos. A seleção adequada dos materiais e o controle rigoroso dos processos de produção asseguram que os alimentos cheguem ao consumidor com sua integridade nutricional, sensorial e microbiológica preservada, em conformidade com as normas de segurança alimentar em vigor.

4.6 INOVAÇÕES EM EMBALAGENS PLÁSTICAS

A indústria de embalagens plásticas brasileira tem progredido consideravelmente rumo à sustentabilidade, motivada por avanços tecnológicos e pela crescente procura por soluções ecologicamente corretas. Diante desse cenário, destaca-se a busca por alternativas que conciliam eficiência funcional, segurança alimentar e redução dos impactos ambientais.

Uma das principais tendências é a criação de embalagens biodegradáveis e compostáveis, feitas com matérias-primas renováveis, como amido de milho, canade-açúcar e algas. Essas opções buscam substituir os plásticos tradicionais, proporcionando vantagens ecológicas ao diminuir a dependência de recursos fósseis e reduzir o impacto ambiental dos resíduos (Pereira, 2025). Pesquisas recentes sugerem que biopolímeros, como o ácido polilático (PLA) e polihidroxialcanoatos (PHA), possuem um alto potencial para uso em embalagens alimentícias, graças à sua biodegradabilidade e redução do impacto ambiental. No entanto, esses materiais ainda apresentam dificuldades em relação à resistência mecânica e às características de barreira (Rhim et al., 2013).

No Brasil, as embalagens monocamadas têm ganhado destaque, correspondendo a 56% da produção nacional. Essa estratégia simplifica a reciclagem, diminui o desperdício de recursos e aprimora a eficiência logística, em conformidade com os princípios da economia circular (Qualyvac, 2024). O uso de masterbatches também se mostrou estratégico, possibilitando a personalização das embalagens com aditivos que proporcionam características específicas, como resistência ao calor e proteção contra raios UV, sem afetar a reciclabilidade do material (Qualyvac, 2024).

O desenvolvimento de embalagens inteligentes, que possuem sensores para monitorar condições como temperatura e umidade, é outro progresso importante. Isso garante a segurança alimentar e aumenta a durabilidade dos produtos. Essas tecnologias proporcionam um controle aprimorado durante o transporte e armazenamento, cumprindo as demandas de consumidores e reguladores (ABRE, 2024).

Empresas brasileiras vêm apostando em soluções inovadoras, como o b-flex, um polímero biodegradável que preserva a eficácia das embalagens plásticas tradicionais, atendendo às exigências de sustentabilidade sem prejudicar o desempenho. Ademais, ações de logística reversa vêm sendo adotadas para incentivar a reciclagem e o reaproveitamento de materiais, auxiliando na diminuição de resíduos e no fortalecimento da economia circular (Sproesser, et al 2024).

Além disso, estudos têm investigado o uso de nanocompósitos, que integram nanopartículas à matriz polimérica, o que resulta em melhorias consideráveis nas propriedades de barreira, resistência mecânica e estabilidade térmica das embalagens (Rhim et al., 2013). Pesquisas também ressaltam a utilização de nanopartículas

metálicas, como prata e óxido de zinco, que proporcionam características antimicrobianas e auxiliam na conservação dos alimentos (Yildirim et al., 2018). Também o desenvolvimento de filmes biodegradáveis e comestíveis tem ganhado destaque como alternativa sustentável, contribuindo para a redução da oxidação, controle da umidade e diminuição da deterioração microbiológica dos alimentos (Rhim et al., 2013).

Em resumo, as inovações em embalagens plásticas no Brasil refletem um esforço contínuo para equilibrar a funcionalidade, segurança alimentar e sustentabilidade. A inovação no setor é essencial para atender às crescentes demandas do mercado e aos desafios ambientais, promovendo soluções que beneficiam tanto os consumidores quanto o meio ambiente.

5. CONSIDERAÇÃO FINAL

As embalagens plásticas são essenciais para a conservação e estabilidade dos alimentos, uma vez que suas características físico-químicas, tipos de materiais e tecnologias empregadas afetam diretamente a durabilidade, segurança e qualidade sensorial dos produtos alimentares. Além de armazenar o alimento, essas embalagens funcionam como barreiras contra agentes externos, como oxigênio, umidade, luz e microrganismos, ajudando a diminuir os processos de deterioração química, física e microbiana.

A literatura analisada indica que a seleção apropriada de materiais plásticos, além da configuração de barreiras multicamadas e uso de embalagens ativas e

inteligentes, têm um impacto direto na prevenção de mudanças sensoriais, nutricionais e microbiológicas. Ademais, a revisão apontou que a migração de compostos químicos contidos nos polímeros pode afetar a segurança alimentar, enfatizando a importância de regulamentações e pesquisas que assegurem o consumo seguro.

Outro ponto importante observado diz respeito às tendências e inovações no segmento de embalagens plásticas, particularmente no cenário brasileiro. Isso abrange o avanço de materiais biodegradáveis, recicláveis e de base biológica, além de soluções inteligentes e ativas que estendem a durabilidade dos alimentos e cumprem os princípios da economia circular. Essas novidades mostram que o setor alimentício está adotando sustentabilidade e tecnologia para harmonizar eficiência, segurança e compromisso com o meio ambiente.

Assim, a escolha apropriada de materiais plásticos, combinada com a aplicação de tecnologias inovadoras, é fundamental para assegurar a qualidade, segurança e longevidade dos alimentos. Ademais, o estudo destaca lacunas na literatura, especialmente no que diz respeito à avaliação do impacto ambiental de novas embalagens ativas e biodegradáveis. Isso indica a necessidade de pesquisas futuras que combinem desempenho funcional, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental.

Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de um maior estudo sobre a segurança dos materiais empregados em embalagens plásticas, principalmente no que diz respeito à migração de compostos químicos e aos possíveis impactos cumulativos na saúde humana. Apesar dos progressos tecnológicos, ainda há

deficiências na avaliação toxicológica, especialmente em relação a substâncias não intencionalmente adicionadas. Isso destaca a necessidade de pesquisas constantes e do fortalecimento das regulamentações. Além disso, é preciso maior rigor na fiscalização e atualização das normas para garantir que as novas tecnologias estejam em conformidade com os padrões de segurança alimentar.

Do ponto de vista prático e futuro, é fundamental que a indústria escolha as embalagens certas, levando em consideração não só os fatores econômicos, mas também a segurança do consumidor e o impacto ambiental. Nesse contexto, a criação de materiais mais seguros, sustentáveis e tecnologicamente avançados surge como uma tendência fundamental. Portanto, estudos que considerem desempenho funcional, segurança alimentar e sustentabilidade ao longo do ciclo de vida das embalagens são essenciais para impulsionar progressos no setor e assegurar sistemas alimentares mais seguros e eficazes.

6. REFERÊNCIAS

ABEJÓN, R.; LASO, J.; MARGALLO, M.; ALDACO, R.; BLANCA-ALCUBILLA, G.; BALA, A.; PALMER, P. F. Environmental impact assessment of the implementation of a deposit-refund system for packaging waste in Spain: a solution or an additional problem? Science of the Total Environment, v. 721, p. 137744, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137744. Acesso em: 31 jul. de 2025.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 17, de 2019 – Embalagens e materiais em contato com alimentos. Brasília: ANVISA, 2019. Acesso em: 01 ago. de 2025

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM – ABRE. Inovação. São Paulo, 2024. Disponível em: https://www.abre.org.br/abreinovacao/. Acesso em: 13 set. 2025.

BAMPS, B.; BUNTINX, M.; PEETERS, R. Seal materials in flexible plastic food packaging: a review. Packaging Technology and Science, v. 36, n. 7, p. 507–532, 2023. DOI: https://doi.org/10.1002/pts.2732. Acesso em: 17 set. de 2025

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução n. 91, de 11 de maio de 2001. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2001. Acesso em: 03 ago. de 2025.

Balakrishnan, A; Soundari, H. M.; Karthik, S. M.; Gunasekaran, M.The role of packaging in food systems and supply chain for sustainable agriculture and food security. Research for Sustainable Development, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/386734898_The_Role_of_Packaging_in_Food_Systems_and_Supply_Chain_for_Sustainable_Agriculture_and_Food_Security. Acesso em: 28 ago. de 2025.

Fontoura, D. R. S.; Ricardo M.; Ercilia M. B. A importância das embalagens para alimentos: aspectos socioeconômicos e ambientais. Atas de Saúde Ambiental (ASA). Disponível em: https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/ASA/article/view/1224/1181. Acesso em: 18 ago. 2025.

GEUEKE, B.; Ksenia J. G.; Maricel V. M.; Olwenn V. M.; Justin M. B.;,Yu-Ting C.; Frank G.; Phoenix J.; ,Christopher D. K.; Paulina Ł.; ,John P. M.; Alex O.; Lindsey V. P.; Verena N. S.; Vanessa S.; Lisa Z.; Martin S; Jane M. Systematic evidence on migrating and extractable food contact chemicals: Most chemicals detected in food

contact materials are not listed for use. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2022.2067828. Acesso em: 29 set. 2025.

GROH, K. J; Backhaus, T.; Almroth, B. C.; Geueke, B.; Inostroza, P. A.; Lennquist, A.; Leslie, H. A.; Maffini, M.; Slunge, D.; Trasande, L.; Warhurst, A. M.; Muncke, J. Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. *Science of the Total Environment*, [S.l.], v. 651, p. 3253–3268, fev. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.015. Acesso em 30 mar. de 2026.

Hoffmann, S. B.; Bitello, A. R. REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE IMPLICAÇÕES DO USO DE EMBALAGENS COM BISFENOL A – BPA PARA A SAÚDE HUMANA. Caderno Pedagógico, Lajeado, v. 13, n. 3, p. - DOI: https://doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v13i3a2016.1107. Acesso em: 03 ago. de 2025.

JORGE, N. Embalagens para alimentos. São Paulo: Cultura Acadêmica, Disponível em: https://www.santoandre.sp.gov.br/pesquisa/ebooks/360234.PDF. Acesso em: 20 ago. de 2025.

Landim, A. M.; Bernardo, C. O.; Martins, I. B. A.; Francisco, M. R.; Santos, M. B.; Melo, N. R. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. Polímeros, São Carlos, v. 26, p. 82–92, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/01041428.1897. Acesso em: 28 ago. de 2025

Liu, L.; Jiang, Y.; Wan, K.; Wei, Y.; Tuo, D.; Zhou, C.; He, Q.; Tan, Y. Critical review on food packaging strategy against spoilage. Food Packaging and Shelf Life, v. 33, p. 100824, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949824424002568. Acesso em: 28 set. 2025.

Mahmed, A. M.; Mohammed, B. H.; Hassen, L. K. The role of packaging technology in the food product. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 761, n. 1, p. 012116, 2024. DOI: https://doi.org/10.1088/17551315/761/1/012116. Acesso em: 18 ago. 2025.

Martinazzo, J.; Piazza, S. P.; Scherer, G. C. S. R.; Pieta, L. Embalagens ativas: uma tecnologia promissora na conservação de alimentos. *Brazilian Journal of Food Research*, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 171–194, abr./jun. 2020. DOI: https://doi.org/10.3895/rebrapa.v11n2.10672. Acesso em: 18 ago. 2025.

Meadows, J. et al. Assessing the sustainability and performance of biobased

PET in food packaging. *Current Research in Food Science*, [S.l.], v. 8, p. 100223, 2025. Acesso em: 26 set. 2025

Ncube, L. K.; Ude, A. U.; Ogunmuyiwa, E. N.; Zulkifli, R.; Beas, I. N.; Environmental impact of food packaging materials: a review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. *Materials*, [S.l.], v. 13, n. 21, p. 4994, nov. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/ma13214994 Acesso em: 25 set. 2025.

Ojha, A.; Bujna, E.; Hamori, J.; Toth, A.; Sudheer, K. P. Food packaging – materials and sustainability: a review. *Agricultural Reviews*, [S.l.], v. 36, n. 3, p. 241–245, 2015. DOI: https://doi.org/10.5958/0976-0741.2015.00028.8. Acesso em: 31 ago. de 2025.

Pereira, A. R.; Silva, M. F.; Oliveira, T. C. Embalagens plásticas biodegradáveis: tendências e perspectivas para a indústria alimentícia no Brasil. Revista Brasileira de Engenharia de Alimentos, v. 22, n. 3, p. 112–125, 2025. Disponível em: https://www.rbengalim.com.br/artigos/embalagens-plasticasbiodegradaveis. Acesso em: 16 out. 2025.

Peron, T.; Santos, T. C. C.; Silva, L. D. S.; Arruda, T. R.; Júnior, B. R. C. L. Embalagens ativas: uma alternativa para vegetais minimamente processados? Research, Society and Development, v. 11, n. 10, p. e469111033043, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i10.33043. Acesso em: 23 ago. de 2025.

Qualyvac. Indústria de embalagens plásticas flexíveis: crescimento e desafios. São Paulo, 2024. Disponível em: https://qualyvac.com.br/industria-brasileira-deembalagens-plasticas-flexiveis-crescimento-desafios-e-perspectivas-para-2025/. Acesso em: 18 out. 2025.

Rhim, J. W.; Park. H.M.; Ha, C. S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, [S.l.], v. 38, n. 10–11, p. 1629–1652, out./nov. 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008. Acesso em 30 mar. 2026

Robertson, G. L. Food Packaging: Principles and Practice. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. DOI: https://doi.org/10.1201/b21347. Acesso em: 13 set. de 2025.

Romruen, A.; Klinkesorn, K.; Jantanasakulwong, P.; Rawdkuen, S. Biodegradable packaging materials and their influence on food preservation: a systematic review. Frontiers in Sustainable Food Systems, v. 8, p. 1357890, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1357890. Acesso em: 25 set. 2025.

Rochester, J. R. Bisphenol A and human health: a review of the literature. *Reproductive Toxicology*, [S.l.], v. 42, p. 132–155, out. 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2013.08.008. Acesso em 30 mar. de 2026

Saeter, E. et al. Food packaging use and post-consumer plastic waste management: a comprehensive review. Food Science and Technology, v. 36, n. 1, p. 1–14, 2020. Acesso em: 31 ago. de 2025.

Sangroniz, A.; Zhu, J. B.; Tang, X.; Etxeeria, A.; Chen, E. Y. X.; Sardon, H. Packaging materials with desired mechanical and barrier properties and full chemical recyclability. Nature Communications, v. 10, n. 3559, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-019-11525-x. Acesso em: 13 set. de 2025.

Siciliano, S.; Lopresto, C. G.; Lamonaca, F. From traditional packaging to smart bio-packaging for food safety: a review. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, [S.l.], 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s41207-024-00627-8. Acesso em: 18 set. 2025

Schaider, L. A.; Simona A. B.; Arlene B.; David Q. A.; Mark J. S.; Margaret E. D.; David M. L.; Johnsie R. L.; Graham F. P.; Fluorinated compounds in food packaging and their implications for human health. *Environmental Science & Technology Letters*, [S.l.], v. 4, n. 3, p. 105–111, mar. 2017. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.estlett.6b00435

Shah, Y. A.; Bhatia, S.; Al-Harrasi,, A.; Afzaal, M.; Saeed, F.; Anwer, M. K.; Khan, M. R.; Jawad, M.; Akram, N.; Faisal, Z. Mechanical properties of protein-based food packaging materials. Polymers, v. 15, n. 7, p. 1724, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/polym15071724. Acesso em: 30 set. de 2025.

Anukiruthika, T.; Sethupathy P.;, Wilson, A.; Kashampur, K.; Moses,J. A.; Anandharamakrishnan, C. Multilayer packaging: advances in preparation techniques and emerging food applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 19, n. 3, p. 1156–1186, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/1541-4337.12556. Acesso em: 30 set. 2025

Sproesser, G. R.; Santos, L. N.; Cunha, L. R. S.; Moraes, M. L. Z.; Costa, A. F.; Melara, J. F. T. Logística reversa e sustentabilidade de embalagens na indústria cosmética: um caminho para o futuro. Revista de Gestão e Secretariado, v. 15, n. 11, p. 1–20, 2024. DOI: 10.7769/gesec.v15i11.4483. Acesso em: 30 out de 2025.

Thangamuniyandi, M.; Prabhu, T.; Shenbagavalli, S.; Kennady, N. R.; Sundarrajan,

R.V. Plastics in food packaging: trends, innovations and environmental impact. Annual Research & Review in Biology, v. 40, n. 6, p. 60–71, 2025. DOI: 10.9734/arrb/2025/v40i62254 Acesso em: 17 set. de 2025.

Vitale, G.; Mosna, D.; Bottani, E.; Montanari, R.; Vignali, G. Environmental impact of a new industrial process for the recovery and valorisation of packaging materials derived from packaged food waste. Sustainable Production and Consumption, v. 14, p. 105–121, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.02.001. Acesso em: 18 ago. de 2025.

Wani, A. A.; Singh, P.; Pant, A.; Langowski, H. C. Packaging methods for minimally processed foods. Food Engineering Series. Springer, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_3. Acesso em: 06 set. 2025.

Yildirim, S.; Röcker, B.; Pettersen, M.K.; Nilsen-Nygaard, J.; Ayhan, Z.; Rutkaite, R.; Radusin,T.; Suminska, P.; Marcos, B.; Coma, V. Active and intelligent food packaging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 165–199, jan. 2018. DOI: https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322. Acesso em: 30 mar. de 2026