



# Embalagens Ativas

## Produtos Hortofrutícolas

*Produtividade, eficácia e eficiência ao nível da Indústria 4.0 e Economia Circular.*

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional





# Embalagens Ativas

## Produtos Hortofrutícolas

**Pedro Dinis Gaspar**

**(coordenação)**

**Data**

9-11-2021

Cofinanciado por:



iii



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional



# Ficha Técnica

**Título:**

Embalagens Ativas – Produtos Hortofrutícolas

O documento encontra-se disponível para download em [www.s4agro.pt](http://www.s4agro.pt).

**Coordenação editorial:**

Pedro Dinis Gaspar

**Agradecimentos:**

O editor e autores agradecem ao “Programa Operacional Fatores de Competitividade” - COMPETE, pelo financiamento atribuído ao projeto S4Agro

**Autores e copyright:**

Pedro Dinis Gaspar  
Tânia Miranda Lima  
Pedro Dinho da Silva  
Fernando Charrua-Santos

O consórcio do Projeto S4Agro agradece a todas as instituições, entidades e organismos, governamentais, públicos e privados, que, de algum modo, quer pela disponibilização de dados, quer pelas indicações fornecidas, contribuíram para a elaboração do presente estudo.

**Data:**

Novembro 2021

**Projeto gráfico e design:**

Catarina Laginha

**ISBN:**

978-989-654-803-2 (impresso)  
978-989-654-804-9 (eletrónico)

**Nota Explicativa:**

Este relatório foi desenvolvido no âmbito do projeto S4Agro - Soluções Sustentáveis para o Setor Agroindustrial (Aviso 02/SIAC/2019 – Sistema de Apoio a Ações Coletivas – Qualificação, Projeto SIAC 46425), apoiado pelo COMPETE 2020.

**DOI:**

10.25768/654-803-2/654-804-9



# Parceiros

Universidade da Beira Interior



Universidade de Évora



Instituto Politécnico de Castelo Branco



Instituto Politécnico de Coimbra



Instituto Politécnico da Guarda



Instituto Politécnico de Leiria



Instituto Politécnico de Viana do Castelo



InovCluster

Associação do Cluster Agro-Industrial do Centro







# Enquadramento

O projeto S4AGRO - *Soluções Sustentáveis para o Setor Agroindustrial* visa qualificar as PME do setor agroindustrial, nomeadamente da fileira dos produtos alimentares, nomeadamente cárneos, hortofrutícolas, lácteos e padaria/pastelaria, para a adoção de soluções inovadoras e sustentáveis, que permitam aumentar a sua produtividade, eficácia e eficiência ao nível da indústria 4.0 e economia circular.

O projeto S4AGRO pretende identificar e disseminar junto das PME do setor agroindustrial, boas práticas na utilização de embalagens primárias ou ecológicas e secundárias ou recicláveis e/ou reutilizáveis, sustentáveis e os fatores críticos à aplicação destas e as práticas logísticas mais eficazes. Neste contexto, encontram-se também as tecnologias inovadoras e boas práticas em utilização de embalagens inteligentes e/ou ativas. Aborda igualmente a cibersegurança, visando identificar fatores críticos para a segurança de sistemas informáticos e qualificação para a aplicação de boas práticas. Destina-se também à identificação e caracterização de pontos geradores de desperdício e à definição de soluções inovadoras para o seu aproveitamento com vista à melhoria da eficiência produtiva e redução dos impactos ambientais. Visa ainda, permitir, divulgar e facilitar o acesso a processos de capacitação para a introdução de inovação de base científica e tecnológica com o intuito de capacitar PME para acelerar a adoção da Indústria 4.0.



# Agradecimentos

O editor e autores agradecem ao Portugal 2020, COMPETE 2020 - Programa Operacional da Competitividade e Internacionalização (POCI) o financiamento do projeto S4AGRO - *Soluções Sustentáveis para o Setor Agroindustrial* (Aviso 02/SIAC/2019 – SIAC 46425), no âmbito do qual este manual foi produzido.

Agradece-se a todas as instituições, entidades e organismos, governamentais, públicos e privados, que, de algum modo, quer pela disponibilização de dados, quer pelas indicações fornecidas, contribuíram para a elaboração do presente estudo "Embalagens Ativas – Produtos Hortofrutícolas".



# Resumo

A sustentabilidade pode ser definida como a capacidade de o ser humano interagir com o mundo, preservando o meio ambiente de forma a não comprometer os recursos naturais das gerações futuras. O projeto S4AGRO - *Soluções Sustentáveis para o Setor Agroindustrial* visa qualificar as PME (pequenas e médias empresas) do setor agroindustrial, as mais recentes tecnologias que permitam aumentar a sua produtividade, eficácia e eficiência ao nível da indústria 4.0 e economia circular. Ao mesmo tempo que as PMEs se tornam mais eficientes é reduzido também o impacto ambiental.

No presente documento encontra-se o resultado de uma pesquisa exploratória e revisão bibliográfica, contendo sistemas e tecnologias de agentes ativos para embalagens ativas e respetivos mecanismos de ação, produtos disponíveis comercialmente e respetivos fabricantes e empresas, para que sirvam de portefólio de referência para a implementação de soluções eficientes para as PMEs do setor agroindustrial, especificamente para os produtos hortofrutícolas.

## Palavras-chave

Agroindústria, Embalagens Ativas, Absorvedores Oxigénio, Absorvedores Dióxido Carbono, Emissores Dióxido Carbono, Absorvedores Etileno, Antimicrobianos, Antioxidantes, Hortofrutícolas.



# Abstract

Sustainability can be defined as the ability of human beings to interact with the world, preserving the environment in a way that does not compromise the natural resources of future generations. The S4AGRO - Sustainable Solutions for the Agro-industrial Sector project aims to qualify as SMEs (small and medium enterprises) in the agro-industrial sector, as the latest technologies that increase their productivity, effectiveness, and efficiency at the level of industry 4.0 and circular economy. At the same time, while SMEs become more efficient, the environmental impact is also reduced.

This document contains the result of exploratory research and bibliographic review, containing systems and technologies of active agents for active packaging, the respective mechanisms of action, commercially available products, and the respective manufacturers and enterprises. This serves as a reference portfolio for the implementation of efficient solutions for SMEs in the agro-industrial sector, specifically for horticultural products.

# Keywords

Agro-industry, Active packaging, Oxygen Scavengers, Carbon Dioxide Absorbers, Carbon Dioxide Emitters, Ethylene Scavengers, Antimicrobial, Antioxidant, Horticultural.





# Índice

Ficha Técnica.....	v
Parceiros.....	vii
Enquadramento .....	ix
Agradecimentos.....	xi
Resumo .....	xiii
Palavras-chave .....	xiii
Abstract.....	xv
Keywords.....	xv
Índice.....	xvii
Lista de Figuras .....	xix
Lista de Tabelas.....	xxi
<b>1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivo .....	4
<b>2 Tecnologias e Sistemas de Embalagens Ativas .....</b>	<b>5</b>
2.1 Absorvedores de Oxigénio.....	5
2.2 Absorvedores de Etileno.....	10
2.4 Antimicrobianos.....	15
2.5 Antioxidantes.....	21
Referências .....	<b>24</b>



# Lista de Figuras

Figura 1 - Agentes ativos e respetiva aplicação alimentar para embalagens ativas. ...	3
Figura 2 - Sistemas e mecanismos de absorção de oxigénio.....	7
Figura 3 - Exemplos de sistemas de absorção de oxigénio.....	7
Figura 4 - Tecnologias e mecanismos de captação e eliminação de etileno.....	12
Figura 5 - Exemplos de tecnologias de embalagens ativas para eliminação de etileno. .....	12
Figura 6 - Diferentes agentes antimicrobianos para aplicação em embalagens ativas. .....	18
Figura 7 - Exemplos de embalagens ativas e sistemas antimicrobianos.....	19
Figura 8 - Agentes antioxidantes para aplicação em embalagens ativas alimentares. .....	23



# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Absorvedores de Oxigénio comercialmente disponíveis para aplicação alimentar.....	8
Tabela 2 - Alguns absorvedores de etileno comerciais para a indústria alimentar. .	13
Tabela 3 - Sistemas e tecnologias antimicrobianas comercializadas para a indústria alimentar.....	19
Tabela 4 - Única embalagem ativa antioxidante comercializada para aplicação alimentar.....	23



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

As tendências recentes em técnicas de embalagem de alimentos são o resultado das preferências do consumidor e da mudança no estilo de vida dos clientes. Verificou-se uma crescente demanda por produtos alimentares limpos, de alta qualidade, frescos e prontos para consumo com vida útil prolongada (Majid et al., 2018; Firouz, Mohi-Alden & Omid, 2021). Para além disso, também as tecnologias de embalagem de alimentos estão a evoluir e melhorar consistentemente em resposta às exigências da sociedade moderna, aos novos processos de produção industrial e às tendências da prática de comercialização e distribuição modernizadas, nomeadamente a globalização dos mercados e as compras na Internet, sem comprometer a segurança alimentar e as características de qualidade (Ahmed et al., 2017; Firouz, Mohi-Alden & Omid, 2021).

No entanto, ainda existem desafios para as embalagens alimentares no que diz respeito à legislação, aos mercados globais, às preocupações ambientais, e, ainda, ao desperdício alimentar. Todos os anos existe uma perda e geração de resíduos alimentares a rondar aproximadamente os 89 milhões de toneladas na Europa, variando entre países e setores, todavia é uma crescente que tem de ser combatida e enfrentada em toda a cadeia de abastecimento alimentar. Uma das possíveis respostas a este problema, será o aumento do prolongamento da vida útil dos produtos de forma a conseguir alimentos mais seguros, saudáveis e autênticos, e reduzir, assim, o desperdício alimentar (Realini & Marcos, 2014). Por outro lado, a segurança alimentar é uma prioridade global uma vez que existe uma elevada propensão para a rápida deterioração e degradação dos alimentos altamente perecíveis, a menos que sejam processados, embalados e armazenados adequadamente. A deterioração alimentar ocorre naturalmente devido à sua vulnerabilidade dos riscos microbiológicos e reações biológicas como degradação de proteínas, oxidação de lipídios ou putrefações intercedidas por enzimas microbianas e endógenas, resultando em vidas úteis dos produtos mais curtas e, conseqüentemente,

degradação e perda de qualidade dos mesmos (Realini & Marcos, 2014; Ahmed et al., 2017).

Por conseguinte, existe uma oportunidade única para a indústria de embalagens e de alimentos de oferecerem soluções inovadoras e conceitos tecnológicos emergentes para atender às demandas industriais, da sociedade e respectivos consumidores, bem como os crescentes requisitos regulamentares e legais. Com esta evolução houve necessidade de adaptar a função da embalagem alimentar de um método simples de preservação para uma embalagem conveniente, segura, inviolável, e, ainda, incluir aspectos de marketing e questões ambientais (Realini & Marcos, 2014; Ahmed et al., 2017). Os conceitos das tecnologias de embalagens ativas fornecem todas essas funcionalidades e inúmeras outras inovadoras, como por exemplo os absorvedores de oxigênio e etileno, eliminadores ou emissores de gás, absorvedores de humidade e controladores de respiração, absorvedores de aroma/odor, sistemas de agentes antimicrobianos e antioxidantes (Ahmed et al., 2017; McMillin, 2017; Majid et al., 2018). Estas tecnologias de embalagem ativa são um bom exemplo de inovação que vão além das funcionalidades tradicionais da embalagem pois foram incluídos deliberadamente no material de embalagem ou no espaço superior da embalagem com o intuito de aumentar o desempenho do sistema. Assim, o produto e o seu ambiente interagem para prolongar a vida útil dos alimentos ou para melhorar a sua segurança ou propriedades sensoriais, mantendo a qualidade dos alimentos (Realini & Marcos, 2014; Ahmed et al., 2017). O conceito de Embalagem Ativa caracteriza-se como uma tecnologia para aumentar a segurança, qualidade e prazo de validade dos alimentos embalados (Vilela et al., 2018). Os sistemas de embalagens ativas alteram as condições ambientais dos alimentos embalados durante o período de preservação, mas também é crucial ter em conta a necessidade de preservar a segurança, as propriedades sensoriais e a qualidade dos alimentos embalados (Firouz, Mohi-Alden & Omid, 2021). As embalagens ativas geralmente contêm agentes ativos para embalagens de alimentos e são classificados de acordo com as suas funções ativas: atividade microbiana, atividade antioxidante, eliminação de oxigênio e etileno, emissão ou absorção de dióxido de carbono (Figura 1).



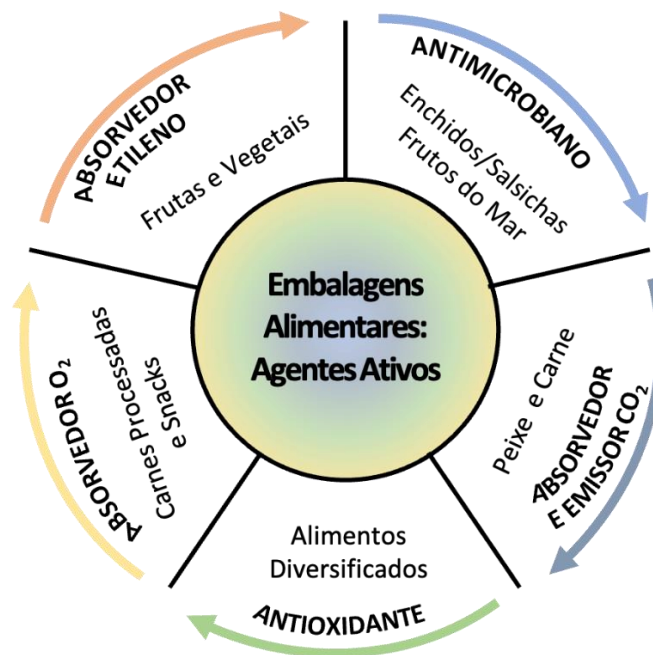


Figura 1 - Agentes ativos e respetiva aplicação alimentar para embalagens ativas.

Este conceito de embalagem reage a diferentes estímulos dos alimentos ou do ambiente para permitir monitorizar ou manter a qualidade e segurança dos alimentos em tempo real. Assim, os sistemas de embalagens ativas podem contribuir para a redução do desperdício alimentar, proporcionando uma barreira inerte às condições externas, funções associadas à preservação de alimentos, remoção de propriedades, controlo microbiológico e controlo de qualidade (Vilela et al., 2018).

## **1.2 Objetivo**

O objetivo do presente trabalho é elaborar um relatório de tecnologias e sistemas de embalagens ativas inovadoras e as suas boas práticas de utilização para a indústria agroalimentar especificamente para o subsetor dos produtos hortofrutícolas. Para isso, o relatório foi dividido pelas diferentes áreas tecnológicas de embalagens ativas:

- Absorvedores de Oxigénio;
- Absorvedores de Etileno;
- Agentes Antimicrobianos;
- Agentes Antioxidantes.

# 2 Tecnologias e Sistemas de Embalagens Ativas

## 2.1 Absorvedores de Oxigénio

A presença de oxigénio ( $O_2$ ) nas embalagens de alimentos acelera a deterioração dos produtos pela rápida oxidação de gorduras e vitaminas presentes nos alimentos, promovendo o crescimento de microrganismos como bolores, leveduras e bactérias aeróbicas. Quando isto acontece, evidenciam-se alterações no próprio alimento como mudanças sensoriais, nomeadamente, mau aroma e sabor desagradável, mudanças de cor e perdas nutricionais. Para tentar combater estas modificações, os Absorvedores de Oxigénio aplicados nas embalagens alimentares são uma das principais tecnologias de embalagens ativas utilizadas na remoção de qualquer resíduo de oxigénio presente na embalagem ou para melhorar as suas propriedades de barreira ativa (Dey & Neogi, 2019; Yildirim et al., 2018).

Existe uma grande variedade de produtos alimentícios sensíveis ao  $O_2$  e, por isso, a indústria alimentar e de embalagens intenta eliminar a presença deste gás do interior das embalagens. A embalagem a vácuo e a técnica de embalagem de atmosfera modificada são abordagens para criar ambientes livres de oxigénio. No entanto, estes não removem completamente o oxigénio, permanecendo na maioria das vezes pequenas concentrações residuais do mesmo no interior da embalagem, dependendo também do produto alimentar embalado (Ahmed et al., 2017). O oxigénio remanescente deve-se ao facto de existir  $O_2$  na composição do próprio alimento que é libertado para o interior da embalagem após processo de embalamento e gradualmente ao longo do tempo de forma a atingir um equilíbrio gasoso. Para além disso, outros fatores como eliminação insuficiente e/ou deficiente do oxigénio no processo de embalamento ou utilização de materiais permeáveis ao oxigénio na embalagem podem

influenciar as variações de oxigénio na embalagem alimentar (Yildirim et al., 2018). Para ultrapassar estas questões e melhorar as propriedades de barreiras de oxigénio, aplicam-se absorvedores de O<sub>2</sub> ativos em diversas formas, como rótulos, saquetas, filmes, entre outros. Estas alternativas oferecem o prolongamento do prazo de validade de vários alimentos e conseguem atrasar o transporte de oxigénio ou absorver o O<sub>2</sub> residual na embalagem (Ahmed et al., 2017). Os absorvedores de oxigénio preservam a qualidade do produto alimentar através:

- Minimizam os efeitos de permeação de oxigénio do material de embalagem durante a vida útil do produto;
- Retardam o metabolismo alimentar;
- Previnem o “ranço oxidativo” (oxidação de gorduras);
- Previnem as perdas de nutrientes;
- Impedem o crescimento e proliferação de microrganismos aeróbios;
- Controlam a descoloração enzimática.

Para além disso, os absorvedores de oxigénio são uma alternativa eficiente e económica para o uso de MAP e VP e a sua utilização elimina e minimiza o uso de outros conservantes de forma a manter o valor agregado de “natural e fresco” (Wyrwa & Barska, 2017; Ahmed et al., 2017). Os diferentes mecanismos de tecnologias de eliminação de O<sub>2</sub> usados no setor de embalagem são maioritariamente químicos e incluem oxidação de ferro, ácidos gordos insaturados e ácido ascórbico, oxidação enzimática e oxidação de corante fotossensível (Dey & Neogi, 2019). Existem também mecanismos bioquímicos que recorrem ao uso de enzimas ou esporos bacterianos. O absorvedor químico de O<sub>2</sub> com maior diversidade comercial é baseado na oxidação de ferro e derivados, sendo os absorvedores mais eficazes e mais utilizados (Ahmed et al., 2017; Yildirim et al., 2018)(Figura 2).

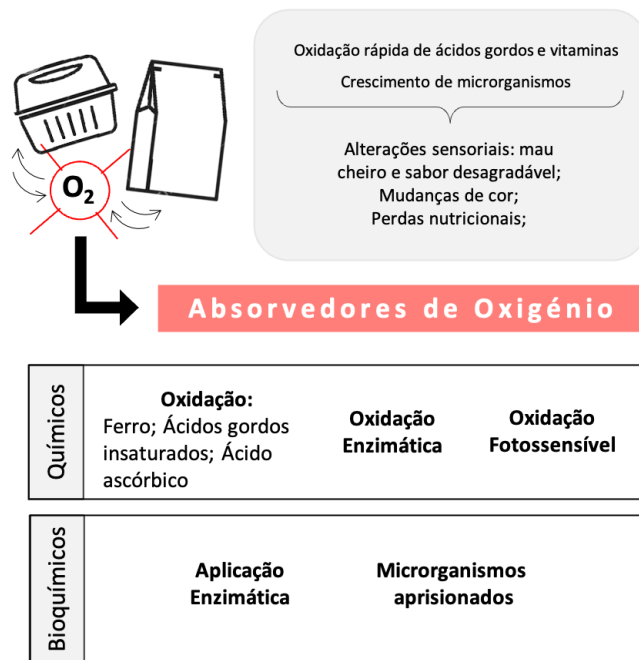


Figura 2 - Sistemas e mecanismos de absorção de oxigénio.

Atualmente já existe uma enorme variedade de sistemas de absorção de oxigénio disponíveis ao público, algumas delas demonstradas na Figura 3 (Gaspar et al., 2021).

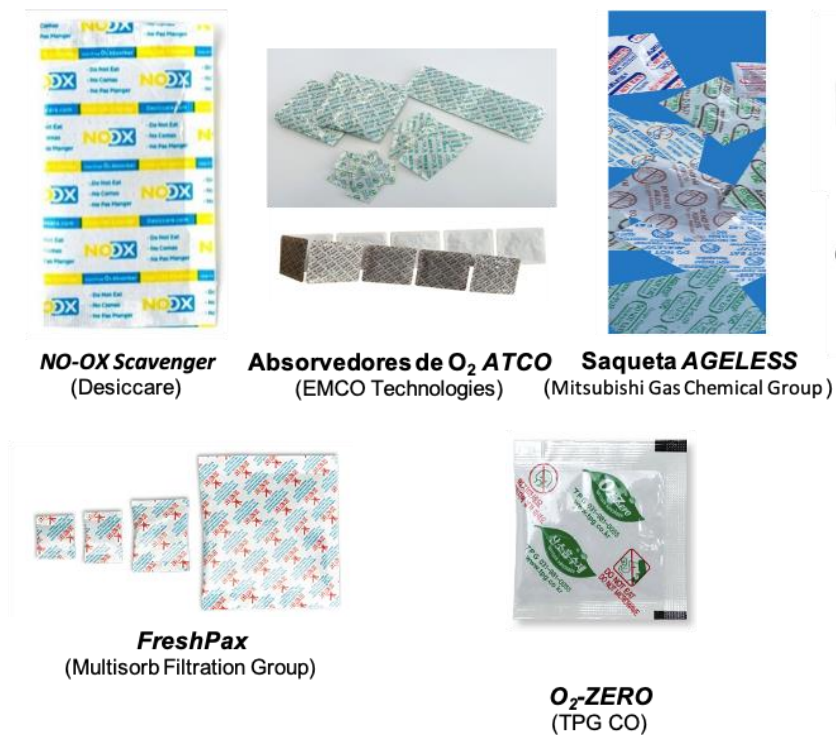


Figura 3 - Exemplos de sistemas de absorção de oxigénio.

Na Tabela 1 estão presentes os seus nomes comerciais, as empresas e fabricantes e os respetivos princípios de ação e formas disponibilizadas (Dey & Neogi, 2019; Ahmed et al., 2017; Fang et al., 2017; Vilela et al., 2018; Realini & Marcos, 2014; Sharma & Ghoshal, 2018; Gaikwad, Singh & Lee, 2018; de Abreu, Cruz & Losada, 2012). Os absorvedores de oxigénio podem ser aplicados em alimentos com diferentes níveis de humidade, todavia níveis elevados são preferidos, alimentos que contenham alto teor em lipídios, alimentos armazenados refrigerados e congelados e produtos alimentares para microondas. Nomeadamente, vegetais congelados, sumos de fruta e vegetais, produtos à base de tomate (Vermeiren et al., 1999; Wyrwa & Barska, 2017; Yildirim et al., 2018).

Tabela 1 - Absorvedores de Oxigénio comercialmente disponíveis para aplicação alimentar.

Nome Comercial	Empresas e Fabricantes	Princípio de Ação	Descrição/ Forma
<b>ActiTUF™</b>	M&G Finanziaria s.r.l., Alessandria, Itália	Sensível ao oxigénio	Resinas de barreira
<b>Activ-Film</b>	Aptar CSP Technologies, EUA	Absorvedor ativado por UV	Filmes
<b>Aegis HFX Resin</b> <b>XCE Resin</b>	Honeywell International Inc., EUA	Nylon absorvedor oxigénio	Resinas de nylon de barreira
<b>Ageless®</b>	Mitsubishi GasChemical, Japão	Ferro/Não-ferro (oxidação)	Saquetas/Rótulos
<b>Amosorb®</b> <b>Amosorb SolO2</b>	ColorMatrix Group Inc., EUA	-	Resinas
<b>Amosorb 2000</b>	BP Amoco, EUA	Ferro (oxidação)	Filmes
<b>Amosorb 3000</b>	BP Amoco, EUA	Tinta fotossensível	Filmes multicamada
<b>ATCO®</b>	Laboratories STANDA, França	Ferro/Orgânicos (oxidação)	Rótulos
<b>Bioka®</b>	Bioka Ltd., Kantvik, Filândia	Enzimática	Saquetas/ Filmes laminados
<b>Celox™</b>	Grace Darex Packaging Technologies, EUA	-	Selante, "Masterbatch"
<b>CPTX 312</b>	Continental PET	-	Garrafas plástico
<b>Cryovac®</b>	OS1000, Sealed Air Co., EUA	Hidrocarbonetos insaturados	Saquetas
<b>Cryovac OS Film</b>	Sealed Air Food Care, EUA	Absorvedor ativado por UV	Filmes
<b>Daraform®</b>	W.R. Grace & Co., EUA	Ácido ascórbico (oxidação)	Saquetas
<b>Darex</b> <b>PureSeal</b>	W.R. Grace & Co., EUA	Ascorbato/ Sulfito/ Sais metálicos	Garrafas/ Tampas, Rolhas e Caricas
<b>Desi</b> <b>Getter</b> <b>Sorb-It®</b>	<b>Pak®</b> <b>Pak®</b> Süd-Chemie AG, Munique, Alemanha	-	Solventes

<b>Tri-Sorb<sup>®</sup></b>			
<b>2-in-1 Pak<sup>®</sup></b>			
<b>Verifrais</b>	SARL Codimer, França	-	Saquetas
<b>Freshlizer™</b>	Toppan Printing Co., Japão	Ferro/ Ácido ascórbico(oxidação)	Saquetas
<b>FreshMax<sup>®</sup></b>	Multisorb Technolgoies, Inc., EUA	Ferro (oxidação)	Rótulos
<b>FreshPax<sup>®</sup></b>	Multisorb Technolgoies, Inc., EUA	Ferro (oxidação)	Saquetas
<b>Keplon™</b>	Keplon co., Japão	-	Saquetas
<b>O2S<sup>®</sup></b>	Bericap GmbH und Co. KG, Alemanha	-	Tampas, fechos
<b>O-Buster</b>	Dessicare Ltd., EUA	Pó de ferro + zeólitas, ferro (oxidação)	Saquetas
<b>O-Buster<sup>®</sup></b>	Hsiao Sung Non-Oxygen Chemical Co., Ltd., Taiwan, China	-	Saquetas
<b>OMAC<sup>®</sup></b>	Mitsubishi Gas Chemical Inc., Japão	-	Filmes suscetíveis a altas temperaturas
<b>OS 1000</b>	Cryovac Sealed Air Co., EUA	Ativado por luz	Filmes
<b>Oxbar<sup>®</sup></b>	Constar International Inc., Plymouth, EUA	-	Resinas
<b>Oxbar™</b>	Metal Box, Reino Unido	Catalisador de cobalto/ polímero de nylon	Filmes multicamadas
<b>OXBAR</b>	CMB Technologies, Bélgica	Catalisador de cobalto	Garrafas plástico
<b>Oxycap</b>	Laboratories STANDA, França	Ferro (oxidação)	Saquetas/ Tampas, Rolhas e Caricas
<b>OxyCatch<sup>®</sup></b>	Kyodo Printing Co., Ltd., Japão	Óxido de cério (oxidação)	Saquetas, Filmes
<b>OxyGuard<sup>®</sup></b>	Clariant Ltd., Suíça	-	Saquetas
<b>Oxyguard™</b>	Toyo Seikan, Japão	Ferro (oxidação)	Filmes multicamadas/ Bandejas plástico
<b>OxyRx<sup>®</sup></b>	Mullnix Packages Inc., EUA	Óxido de cério (oxidação)	Recipiente adequado para altas temperaturas
<b>Shelflus™</b>	CIBA, EUA	Ferro (oxidação)	Filmes multicamada
<b>Shelfplus<sup>®</sup> O<sub>2</sub></b>	Albis Plastic GmbH	Ferro (oxidação)	Filmes, "Masterbatch"
<b>Tri Sorb</b>			
<b>Tri Shield</b>			
<b>Tri Sorb EVA</b>	Tekni-Plex, Bélgica	-	Solventes, Escudos/Proteção
<b>Tri Shield EVA blue</b>			
<b>EVA Tri-Seal</b>			
<b>Zero<sub>2</sub>™</b>	CSIRO, Austrália	Tinta fotossensível, polímero absorvedor de oxigénio ativado por UV	Filmes multicamada

## 2.2 Absorvedores de Etileno

Com as demandas crescentes de manutenção, prolongamento do prazo da qualidade dos alimentos e a minimização da deterioração dos alimentos, a utilização de inibidores de síntese e absorvedores de etileno é crítica na preservação pós-colheita de frutas e legumes (Wei et al., 2021). O etileno é um hidrocarboneto puro insaturado, inodoro, incolor, volátil e muito reativo, sendo reconhecido como um obstáculo aos produtos hortofrutícolas pois é responsável por muitos efeitos indesejáveis neste tipo de produtos (Kour et al., 2013; Drago et al., 2020; Gaikwad, Singh & Negi, 2020). O Etileno ( $C_2H_4$ ) é naturalmente produzido pelas plantas e atua como uma fito-hormona estimulante do crescimento de frutas e vegetais frescos, afetando o ciclo de crescimento, taxa de respiração, embriogênese somática, germinação de sementes, crescimento e desenvolvimento de raízes. Esta hormona vegetal acelera o processo de amadurecimento e senescência dos produtos, o que pode ser adequado no amadurecimento de produtos para o mercado, como por exemplo o “desverdear” de limões. No entanto, em elevadas concentrações de etileno e a sua acumulação provoca a maturação excessiva, nomeadamente amadurecimento e amolecimento dos produtos, e degradação da clorofila, causando a deterioração da qualidade e redução da vida útil dos produtos frescos (Drago et al., 2020; Vermeiren et al., 1999; Yildirim et al., 2018). Por isso, é importante controlar os níveis de etileno na atmosfera envolvente dos produtos alimentares frescos durante o transporte, armazenamento e manuseio, a fim de melhorar a sua qualidade visual e organolética, estendendo a vida útil e prolongando o prazo de validade (Vilela et al., 2018; Abreu, Cruz & Losada, 2012).

Os absorvedores de etileno mais utilizados são fornecidos em saquetas ou integrados em filmes baseados em permanganato de potássio ( $KMnO_4$ ) integrados em matrizes inertes como por exemplo, a sílica gel, alumina, perlita, vermiculita, carvão ativado ou celita (Álvarez-Hernández et al., 2019). Ao utilizar este sistema químico ocorrem sucessivas oxidações que transformam o etileno em dióxido de carbono e água que é acompanhada de uma mudança cromática visível, de roxo para castanho, indicando a capacidade de eliminação do  $C_2H_4$  (Vilela et al., 2018; Vermeiren et al., 1999; Gaikwad,



Singh & Negi, 2020). No entanto, o  $\text{KMnO}_4$  tem de ser imobilizado nos substratos inertes devido à sua alta toxicidade e, por isso, não pode ser usado em contato direto com os alimentos (Kour et al., 2013; Vilela et al., 2018). Para combater este problema, foi estudada a impregnação do permanganato de potássio em nanopartículas para formulação de nanofilmes, como potenciais embalagens ativas para produtos frescos (Ebrahimi et al., 2021). Outros sistemas catalíticos de oxidação de etileno, podem ocorrer por reação fotocatalítica usando prata, dióxido de titânio, óxido de zinco, cobre e paládio (Drago et al., 2020; Gaikwad, Singh & Negi, 2020).

Por outro lado, também têm sido aplicados sistemas alternativos que se baseiam na capacidade de adsorção de etileno por diferentes materiais de forma isolada ou em combinação com qualquer agente oxidante, nomeadamente, minerais finamente divididos e dispersos como zeólitos, silicatos, carvão ativado e argila (Kour et al., 2013; Abreu, Cruz & Losada, 2012). Além destes sistemas, existem outros baseados em compostos químicos, dienos e trienos com déficit de elétrons, como por exemplo benzenos e piridinas que reagem quimicamente e irreversivelmente com o etileno gasoso, eliminando-o da embalagem (Gaikwad, Singh & Negi, 2020). Em contrapartida à absorção e adsorção do etileno, é possível ainda utilizar um sistema de inibição do etileno, através da aplicação de uma pequena molécula não-tóxica e altamente eficiente, o 1-Methylcyclopropene (1-MCP), que atua como inibidor competitivo dos receptores do etileno e, por isso, prevenindo o amadurecimento e senescência das frutas e vegetais (Álvarez-Hernández et al., 2019; Wei et al., 2021) (Figura 6).

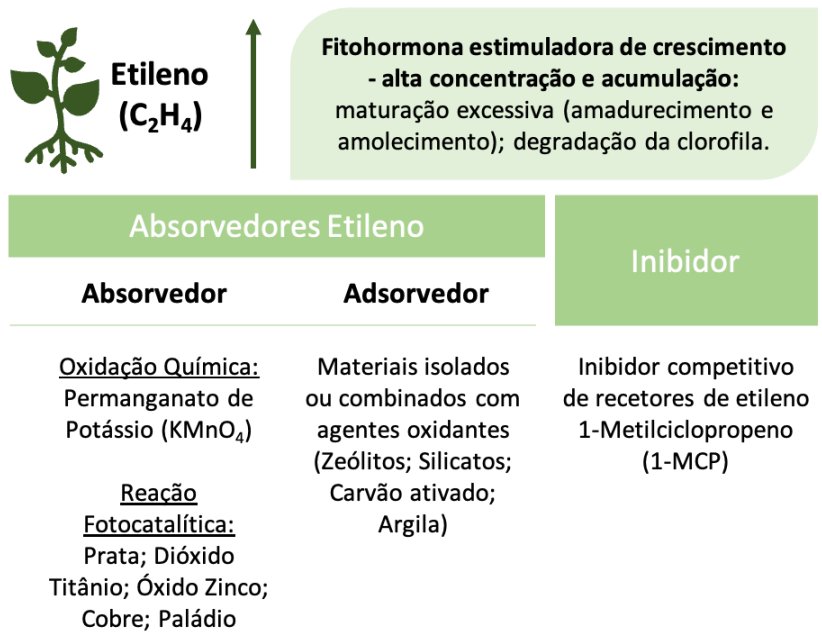


Figura 4 - Tecnologias e mecanismos de captação e eliminação de etileno.

Este tipo de mecanismos e sistemas de absorção de etileno já estão a ser usados por redes de supermercados e disponíveis comercialmente, como demonstra a Figura 7 (Gaspar et al., 2021).

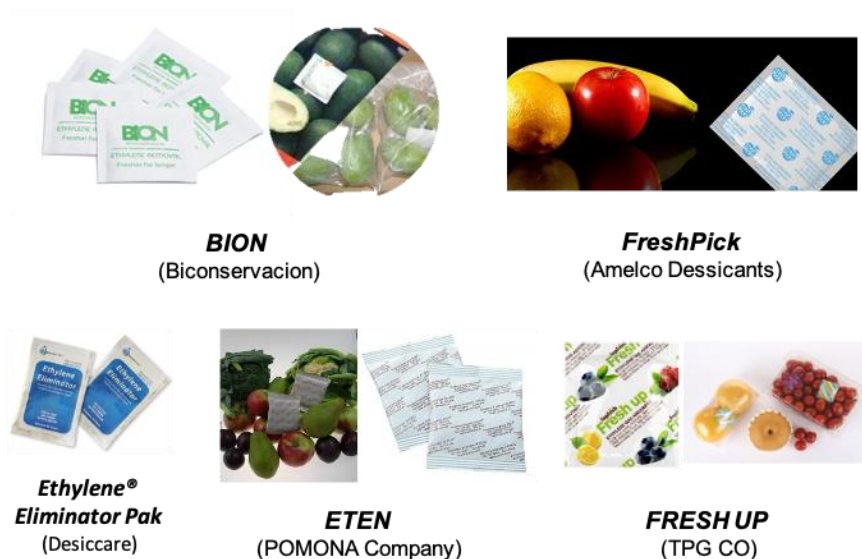


Figura 5 - Exemplos de tecnologias de embalagens ativas para eliminação de etileno.

Os seus nomes comerciais, fabricantes e respetivos formatos disponíveis estão descritos na Tabela 3 (Gaikwad, Singh & Negi, 2020; Vermeiren et al., 1999; Vilela et al., 2018; Abreu, Cruz & Losada, 2012; Wyrwa & Barska, 2017). Os eliminadores de etileno são altamente aplicados e têm-se demonstrado eficazes para preservar frutas, vegetais e outros produtos hortofrutícolas sensíveis ao etileno, incluindo maçãs, kiwis, bananas, abacates, caquis, mangas, tomates, cebolas, cenouras, cogumelos e espargos (Abreu, Cruz & Losada, 2012; Lee et al., 2015; Ozdemir & Floros, 2004).

Tabela 2 - Alguns absorvedores de etileno comerciais para a indústria alimentar.

Nome Comercial	Empresas e Fabricantes	Princípio de Ação	Descrição/ Forma
<b>Air repair</b>	Deltatrak Inc., EUA	Permanganato de potássio	Saquetas
<b>BEfresh</b>	Befresh Technology, Espanha	Argilas naturais impregnadas com permanganato de potássio	Saquetas
<b>Biofresh</b>	Grofit Plastics, Israel	-	Sacos (Zipper)
<b>BIOPAC</b>	Biopac Pty Ltd., Austrália	Material poroso misturado com permanganato de potássio	Saquetas
<b>Bi-On<sup>®</sup></b>	Bioconservacion S.A., Barcelona, Espanha	Permanganato de potássio	-
<b>BioX<sup>®</sup> 4.0</b>	BioXTEND Co., EUA	Permanganato de potássio com mistura de alumina	Saquetas
<b>BO film</b>	Odja Shoji Co. Ltd., Japão	Cerâmica de crisburita	Filmes poliméricos
<b>BRYSORBTM 508</b>	Bry-Air (Asia) Pvt Ltd., Índia	Alumina ativada com permanganato de potássio	Grânulos
<b>Chemisorbent</b>	Purafil, Inc., Doraville GA, EUA	Permanganato de potássio	-
<b>Crisper SL</b>	OhE Chemicals, Japão	-	Filmes poliméricos
<b>Eris filter</b>	Miatech, Inc., EUA	Grânulos permanganato de potássio	Folhas
<b>Ethylene Control Power Pellet</b>	-	-	-
<b>Ethylene eliminationPack</b>	Desiccare, EUA	Zeólito	Saquetas
<b>Ethylene filter products</b>	Marathon products, EUA	Zeólito	Saquetas
<b>Ethysorb<sup>®</sup></b>	Molecular Products Limited, Reino Unido	Alumina ativada com permanganato de potássio	Grânulos a granel/ tubo
<b>Evert-Fresh</b>	Evert-Fresh Corporation Ltd., EUA	Zeólito	Sacos
<b>Extend-A-Life<sup>TM</sup></b>	AgraCo Technologies International, LLC, EUA	Zeólito revestido com permanganato de potássio	Saquetas
<b>FAIN</b>	Nippon Container corporation, Japão	-	Filmes poliméricos

<b>GKZ4</b>	Greenkeeper Iberia, Espanha	Zeólito carregado com permanganato de potássio	Saquetas/ Folhas
<b>Hatofresh System</b>	Honshu Paper, Japão	Carvão ativado com bromo	Sacos papel/ box
<b>KEEPCOOL</b>	Molina de Segura, Espanha	Sepiolita misturada com permanganato de potássio e carvão ativado	Saquetas
<b>KEEFRESH</b>	KeepFresh Technologies, Malaga WA, Austrália	Zeólito natural impregnado com permanganato de potássio	Saquetas/ Folhas
<b>MM-1000 MULTI MIX<sup>®</sup> MEDIA</b>	Circul-Aire Inc., Montreal, Canadá	Permanganato de potássio	-
<b>Mrs Green extra life</b>	Dennis Green Ltd., EUA	Permanganato de potássio	Cartucho para refrigeração
<b>Neupalon</b>	Sekisui Jushi Corp., Japão	Carvão ativado com um catalisador de metal	Saquetas
<b>Orega bags</b>	Cho Yang Heung San Co. Ltd., Coreia do Sul	Minerais	Sacos
<b>PEAKfresh<sup>®</sup></b>	-	Zeólito / Minerais	Filmes
<b>Prodew</b>	Prodew Inc., EUA	Grânulos de permanganato de potássio	Saquetas
<b>Profresh</b>	E-I-A Warenhandels GmbH, Áustria	Minerais	Filmes poliméricos
<b>Purafil</b>	Purafil, Inc., Doraville GA, EUA	Alumina ativada com permanganato de potássio	Saquetas
<b>PURETHYL</b>	Isolcell Spa, Itália	Grânulos de alumina ativada com permanganato de potássio	Máquina
<b>Retarder<sup>®</sup></b>	Retarder S.R.L, Itália	Mistura de argilas e permanganato de potássio	Saquetas
<b>Ryan<sup>®</sup></b>	Sensitech Inc., EUA	Mistura de argilas naturais e permanganato de potássio	Saquetas
<b>SendoMate</b>	Mitsubishi Gas Chemical Co. Ltd., Japão	Carvão ativado com um catalisador de metal	Saquetas
<b>Sofnofil<sup>™</sup></b>	Molecular Products Limited, Essex, Reino Unido	Permanganato de potássio	-
<b>Super Fresh Media</b>	Ethylene Control, Inc., EUA	Zeólito natural impregnado com permanganato de potássio	Saquetas

## 2.4 Antimicrobianos

Nos dias de hoje, a tendência e preocupação para o desenvolvimento de abordagens e sistemas de embalagens de alimentos com inibição de atividade microbiana patogénica é crescente uma vez que o prazo de validade dos alimentos é fortemente afetado pela presença de microrganismos (Sung et al., 2013; Drago et al., 2020).

A contaminação microbiana pode ocorrer por processamento inadequado dos alimentos ou comprometimento da embalagem nalguma das fases e etapas da cadeia de abastecimento onde o alimento é sujeito ou exposto ao meio ambiente. Assim, as consequências da contaminação microbiológica podem variar nos produtos alimentícios desde provocar simples alterações das características sensoriais como a aceleração da mudança de aroma, cor e textura de alimentos, até a graves riscos para a saúde dos consumidores, uma vez que aumentam o risco de doenças transmitidas por alimentos (Abreu, Cruz & Losada, 2012; Realini & Marcos, 2014; Drago et al., 2020). Para controlar ativamente o crescimento de microrganismos, o desenvolvimento de embalagens antimicrobianas é crucial (Zhou, Xu & Liu, 2010). A aplicação destes sistemas está associada à segurança microbiana de alimentos através da redução da fase de crescimento e prolongamento da fase de latência dos microrganismos com o objetivo de melhorar a segurança e qualidade alimentar, e ainda, prolongar a vida útil dos produtos alimentícios (Ahmed et al., 2017; Kerry, O'Grady & Hogan, 2006).

A embalagem antimicrobiana pode assumir e concentrar-se de diversas formas: pela adição e inclusão de saquetas ou almofadas que contêm agentes e compostos antimicrobianos voláteis na embalagem, pela incorporação direta de compostos voláteis e não voláteis com capacidade antimicrobiana na estrutura de polímeros, na aplicação de um revestimento ou de um agente antimicrobiano adsorvente nas superfícies dos polímeros que estão em contato com o produto alimentar, pela imobilização química de compostos antimicrobianos em polímeros através de ligações iónicas ou covalentes, e, por fim, pela aplicação de polímeros que atuem de forma intrínseca como compostos antimicrobianos, como por exemplo, o quitosano (Appendini & Hotchkiss, 2002; Mousavi Khaneghah, Hashemi & Limbo, 2018). A aplicação de sistemas de embalagens

antimicrobianas torna-se mais vantajosa em comparação à adição direta dos agentes e compostos antimicrobianos nos alimentos. Os compostos adicionados à superfície difundem-se rapidamente e as suas substâncias ativas desnaturam, e, conseqüentemente, perdem reatividade, não sendo eficazes na inibição dos microrganismos. Em contrapartida, a embalagem antimicrobiana oferece um sistema de migração lenta, controlada e contínua que permite que o composto ativo com capacidade antimicrobiana se mantenha em maiores concentrações e por períodos de tempo mais longos (Sung et al., 2013).

A aplicação de agentes antimicrobianos é extensa e diversificada, mas de uma forma generalizada os compostos antimicrobianos incluem bacteriocinas, enzimas e proteínas, óleos essenciais e compostos naturais, polímeros antimicrobianos, ácidos orgânicos e nanopartículas (Yildirim et al., 2018; Khaneghah et al., 2018; Pellerito et al., 2018; Jideani & Vogt, 2016). Nos dias de hoje, pretende-se incorporar os sistemas de embalagens antimicrobianas em polímeros recicláveis, reutilizáveis, biodegradáveis (Schumann & Schmid, 2018), “green-based”, como “strach” e celulose à base de polissacarídeos, proteína de soja e de soro de leite, de base proteica, gelatinas e agar (Asgher *et al.*, 2020; Zhong *et al.*, 2020; Jamróz & Kopel, 2020; Kraśniewska, Galus & Gniewosz, 2020) e também, recorrendo a nanomateriais à base de grafeno (Carvalho & Conte Junior, 2020). Outro método que tem sido explorado para aplicação em embalagens antimicrobianas são os filmes edíveis (Salgado et al., 2015), constituídos por exemplo por proteína de soja e de soro de leite, e, ainda à base de alginato (Sung et al., 2013; Al-Tayyar, Youssef & Al-Hindi, 2020).

De forma mais detalhada, as substâncias antimicrobianas podem ser iões metálicos como a prata, cobre, ouro e platina e óxidos de metal como o dióxido de titânio, óxido de zinco e óxido de magnésio. Estes compostos ativos apresentam atividade antimicrobiana através da formação de espécies reativas de oxigénio, o que leva ao stress oxidativo, comprometimento das biomoléculas e integridade da membrana celular, e, ainda, inibição enzimática (Omerović et al., 2021). Os óleos essenciais (OE) são substâncias biológicas produzidas e extraídas de plantas que têm sido amplamente estudados pela sua capacidade antimicrobiana e antioxidante com o intuito de se tornarem possíveis substitutos dos aditivos sintéticos alimentares (Ribeiro-Santos et al.,

2017; Devlieghere, Vermeiren & Debevere, 2004). A atividade antimicrobiana provém dos seus principais constituintes, os compostos fenólicos que alteram os sistemas enzimáticos, material genético e membrana celular das bactérias (Otoni et al., 2016). Os mecanismos de atuação variam entre os diversos óleos essenciais: o cinamaldeído, o eugenol e timol alteram a morfologia celular, o carvacrol, eugenol, timol e OE de orégãos provocam o quebra da membrana citoplasmática; o OE de tomilho causa a ruptura da membrana externa de bactérias Gram-negativas, o carvacrol, timol e OE de alecrim alteram propriedades da membrana, o carvacrol interrompe a homeostase do pH intracelular, o OE da canela e orégãos causa a interrupção da respiração celular, a alicina, cinamaldeído e eugenol provoca a inibição enzimática, o cinamaldeído inibe a divisão celular, entre outros mecanismos (Maisanaba et al., 2017). Como compostos naturais, os extratos vegetais, ervas e especiarias também têm suscitado interesse como potenciais agentes antimicrobianos a serem introduzidos em embalagens ativas, como chá verde, alecrim, orégãos, gengibre, menta, casca de romã, ginseng, murta (Valdés et al., 2015).

Outro tipo de estratégias centra-se na atividade antimicrobiana inerente de moléculas como os polissacarídeos e os peptídeos (Costa et al., 2021). Os peptídeos bacterianos antimicrobianos, como as bacteriocinas, têm sido usados na preservação de alimentos e incorporados em matrizes poliméricas para desenvolver embalagens ativas. A bacteriocina mais comum nos sistemas antimicrobianos é a nisina, um polipeptídeo de origem natural, que demonstrou grande eficácia na inibição do crescimento de inúmeras bactérias. Outros peptídeos com potencial promissor para serem introduzidos em sistemas antimicrobianos incluem a periodicina, lactinina e enterocina (Santos et al., 2018). Também a introdução de enzimas em embalagens antimicrobianas tem-se demonstrado eficaz, nomeadamente a lisozima. A lisozima atua através da degradação dos peptidoglicanos da parede celular bacteriana, ou seja, a lise das bactérias (Khaneghah et al., 2018). Para as embalagens antimicrobianas podem ser utilizados também ácidos orgânicos e derivados e outros agentes sintéticos, como ácidos propiónico, benzoico e sórbico e EDTA (Silveira et al., 2007; Rudra et al., 2013; Gorrasi et al., 2020).

Finalmente, existem ainda sistemas e tecnologias antimicrobianos que já são usados comercialmente: os sistemas de absorção de dióxido de carbono (descritos acima) que também apresentam atividade antimicrobiana; o Isotiocianato de alilo, um composto alifático volátil, natural de algumas plantas, que atua como agente antimicrobiano através da indução de reações químicas e que levam à destruição da membrana celular bacteriana (Otoni et al., 2016); adição de fungicidas como a natamicina (produzida naturalmente por espécies da *Streptomyces*) que se liga aos esteróis da membrana da célula fúngica (Long, Joly & Dantigny, 2016); por último, a incorporação de gases como o dióxido de cloro e etanol como agentes antimicrobianos para a preservação dos alimentos (Otoni et al., 2016) (Figura 8).

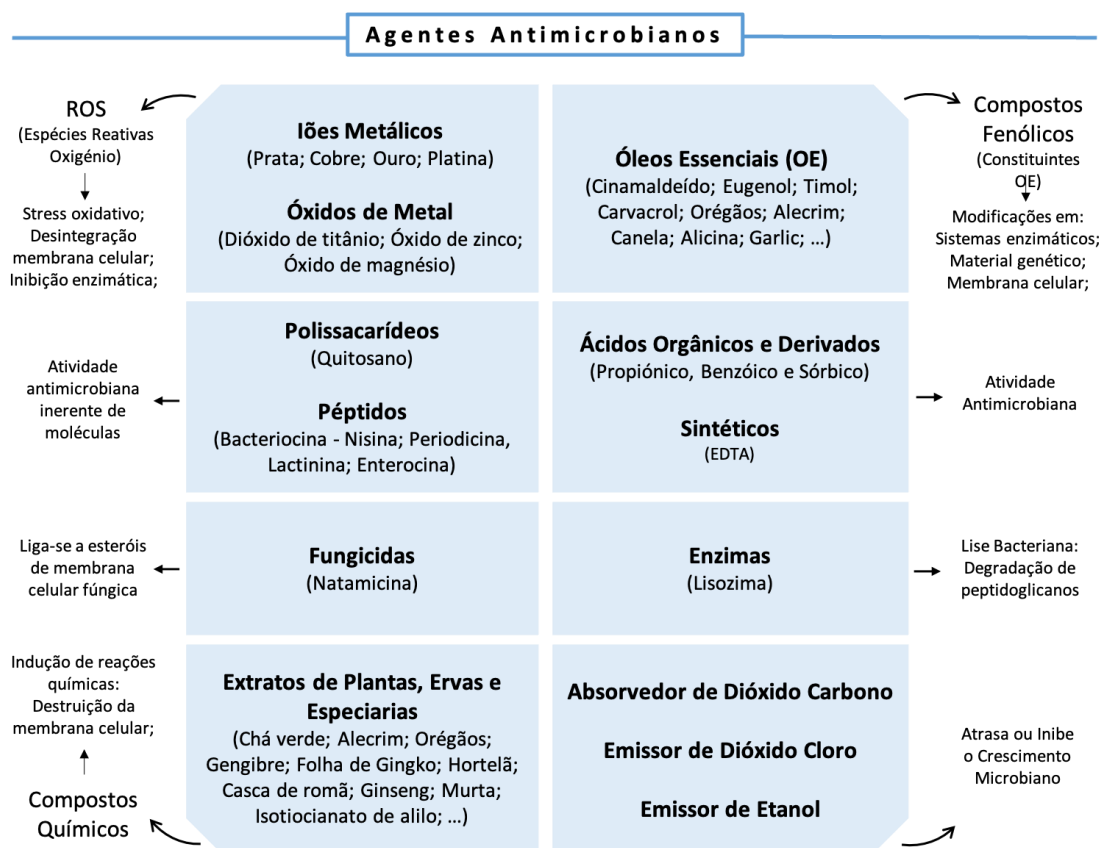


Figura 6 - Diferentes agentes antimicrobianos para aplicação em embalagens ativas.

Algumas destas abordagens de tecnologias antimicrobianas estão disponíveis comercialmente (Figura 9) (Gaspar et al., 2021).



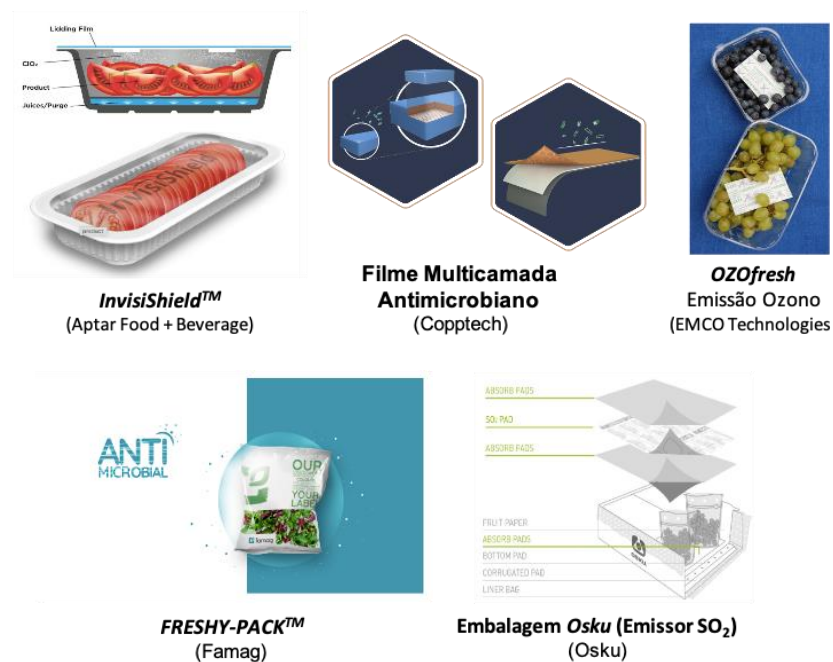


Figura 7 - Exemplos de embalagens ativas e sistemas antimicrobianos.

Na Tabela 4 estão descritos os seus nomes comerciais, forma e mecanismos de atuação, e ainda os respectivos fabricantes e fornecedores (Fang et al., 2017; Vilela et al., 2018; COMA, 2008; Wyrwa & Barska, 2017; Ahmed et al., 2017; Realini & Marcos, 2014; Schumann & Schmid, 2018; Zhou, Xu & Liu, 2010; Jideani & Vogt, 2016). As embalagens antimicrobianas estão destacadas para frutas e vegetais frescos (Vermeiren et al., 1999; Wyrwa & Barska, 2017).

Tabela 3 - Sistemas e tecnologias antimicrobianas comercializadas para a indústria alimentar.

Nome Comercial	Empresas e Fabricantes	Princípio de Ação	Descrição / Forma
<b>Agion</b> <sup>®</sup>	Agion Technologies, EUA	Zeólito Prata	Cartões, filmes, wraps e caixas de papelão
<b>Aglon</b> <sup>®</sup>	Life Materials Technology Ltd.	Prata	“Masterbatch”
<b>Bactiblock</b> <sup>®</sup>	NanoBio Maters, Espanha	Prata	“Masterbatch”
<b>Bioka</b>	Bioka Ltd., Filândia	Glucose oxidase (Enzima)	Saquetas
<b>Biomaster</b> <sup>®</sup>	Addmaster Ltd., Reino Unido	Prata	“Masterbatch”
<b>Biomaster</b> <sup>®</sup>	Linpac Packaging Ltd., EUA	Prata	Filmes e bandejas
<b>Cleanaid</b> <sup>™</sup>	-	Zeólito substituído com prata	Filme, wraps, recipientes de leite, caixas de papelão
<b>d<sub>2</sub>p</b> <sup>®</sup>	Symphony Environmental Ltd., Reino Unido	Prata	Filmes e bandejas

<b>Ethicap™</b>	Freund, Japão	Emissor etanol	Saquetas
<b>Food-touch®</b>	Microbe-guard Co., EUA	-	Liner / capa, intercaladores, papéis e wraps
<b>IonPure®</b>	Solid Spot LLC, EUA	Prata	“Masterbatch”
<b>Irgaguard®</b>	BASF, EUA	Prata	“Masterbatch”
<b>Microban</b>	Microban Prod., Reino Unido	Triclosano	Plástico
<b>Microgarde™</b>	Bernard Technologies, EUA	Dióxido cloro	Saquetas, filmes e wraps
<b>Microsphere™</b>	Bernard Technologies, EUA	Dióxido cloro	Saquetas, filmes e wraps
<b>Negamold Oitech</b>	Nippon Kayalan, Japão	Emissor vapor de etanol	Saquetas
<b>Novaron®</b>	Toagosei, Japão	Prata	Cartões, filmes, wraps e caixas de papelão
<b>Sanic Films®</b>	Nanopack Technology and Packaging, Espanha	Compostos minerais	Filmes e intercaladores
<b>Sanico®</b>	Laboratories STANDA, CAEN, França	Natamicina	Revestimento antifúngico
<b>Surfacine®</b>	Surfacine Development Co. LLC., EUA	Prata	“Masterbatch”
<b>Uvasy™</b>	Grapetek, África do Sul	Dióxido de enxofre	Almofadas e folhas laminadas
<b>WasaOuro</b>	Lintec Co., Japão	Isotiocianato de alilo	Folhas
<b>Wasaouro® sheets</b>	Mitsubishi-Kagaku Foods Co., Japão	Isotiocianato de alilo	Filmes e rótulos antifúngicos e antibacterianos
<b>Wasapower™</b>	Sekisui Plastics Co., Ltd., Japão	Extrato de Wasabi encapsulado em ciclodextrina	Comprimidos revestidos e PEF
<b>Zeomic™</b>	Sinanen Co., Ltd., Japão	Prata	Cartões, filmes, caixas e wraps

## 2.5 Antioxidantes

A seguir à contaminação microbiana, a degradação oxidativa dos alimentos é dos principais motivos de deterioração alimentar e está diretamente relacionada à sensibilidade ao oxigénio e à concentração de lípidos nos produtos alimentícios (Vilela et al., 2018; Ahmed et al., 2017). O oxigénio residual no interior da embalagem e os ácidos gordos insaturados presentes na composição alimentar são os principais componentes envolvidos nas reações oxidativas lipídicas que causam a deterioração da qualidade dos alimentos. Estes são responsáveis pelo desenvolvimento de odores e sabores estranhos, alterações de cor devido à degradação de pigmentos, modificações na textura, produção de compostos tóxicos como a formação de aldeídos tóxicos e, ainda, leva a uma redução significativa do valor nutricional devido à destruição de ácidos gordos essenciais, proteínas e vitaminas lipídicas solúveis dos alimentos (Tian, Decker & Goddard, 2013; Benito-Peña et al., 2016; Sanches-Silva et al., 2014; Ganiari, Choulitoudi & Oreopoulou, 2017). Posto isto, para além da aplicação de sistemas de absorção de oxigénio (descritos acima), o uso de agentes antioxidantes em embalagens de alimentos tem sido promissor devido ao aumento da capacidade de estabilização oxidativa (Vilela et al., 2018; Ahmed et al., 2017). Os compostos antioxidantes aumentam a vida útil dos alimentos aos quais são adicionados, inibindo a oxidação de lípidios, proteínas e pigmentos, preservando atributos como cor, textura, aroma, sabor e qualidade geral do produto (Ribeiro et al., 2019).

Os compostos e substâncias antioxidantes podem ser classificados de acordo com a sua origem, ou seja, sintéticos ou naturais, e ambos conferem atividade antioxidante a sistemas de embalagens ativos. No entanto, a substituição de antioxidantes sintéticos por naturais tem sido cada vez mais imperativa, por questões de saúde e segurança. Antioxidantes sintéticos como o hidroxitolueno butilado (BHT) e hidroxianisol butilado (BHA) provocam efeitos adversos na saúde, nomeadamente causam danos e mutações no material genético e aumentam os níveis de lípidos e colesterol no sangue (Ribeiro et al., 2019). Por outro lado, os agentes antioxidantes são normalmente classificados pelo seu método de ação, isto é, os antioxidantes que eliminam os radicais livres doando

eletrões ou iões de hidrogénio são denominados de primários enquanto os antioxidantes que desativam ou quelatam os catalisadores de oxidação são designados de secundários (McMillin, 2017).

Os antioxidantes primários incluem os antioxidantes sintéticos como BHT, BHA, propilenoglicol (PG) e tert-butilhidroquinona (TBHQ) e, ainda uma vasta gama de compostos naturais antioxidantes, como o tocoferol, extratos de plantas e óleos essenciais de ervas e especiarias, como o tomilho, capim-limão, eugenol, canela, gengibre, alecrim, hortelã, cravo, orégãos, entre outros (Gómez-Estaca et al., 2014; Sharma et al., 2021) que têm sido amplamente estudados pela sua baixa toxicidade e elevada segurança (Sanches-Silva et al., 2014). Os antioxidantes secundários são subdivididos de acordo com o seu método de ação para prevenir a reação oxidativa: por quelação de metais, absorvedores de luz ultravioleta (UV) e extinção de oxigénio singleto ( $^1O_2$ ). Os quelantes de metais são compostos químicos que formam anéis heterocíclicos com iões metálicos, como é o caso do EDTA e poli (ácido acrílico) que são sintéticos, e o ácido cítrico e as proteínas de ligação ao ferro como a lactoferrina que são de origem natural. Os absorvedores de UV destinam-se a prevenir a foto-oxidação lipídica com recurso a compostos sintéticos que absorvem a energia da radiação UV, como as benzofenonas, benzotriazóis e alguns pigmentos. Por fim, os supressores de oxigénio singleto esgotam o excesso de energia ativa da molécula para controlar a hidroperoxidação dos lípidos. Para este fim, são aplicados antioxidantes naturais como os polifenóis, caratenóides e tocoferóis (Goddard, McClements & Decker, 2012; Vilela et al., 2018; Tian, Decker & Goddard, 2013).

A maioria dos sistemas antioxidantes são fabricados na forma de saquetas, almofadas ou rótulos, ou incorporados às embalagens através de filmes e revestimentos monocamada e multicamada. Contudo, cada vez mais têm sido introduzidos filmes e revestimentos comestíveis e ativos com base em derivados de celulose, quitosana, alginato, gelatina, entre outros, como transportadores de antioxidantes naturais para alimentos lipídicos (Falguera et al., 2011; Ganiari, Choulitoudi & Oreopoulou, 2017). Os agentes antioxidantes também podem ser incorporados e encapsulados em micro e nanopartículas para adição ou imobilização em diversas matrizes, quer poliméricas quer naturais (Hosseini & Jafari, 2020) (Figura 10).

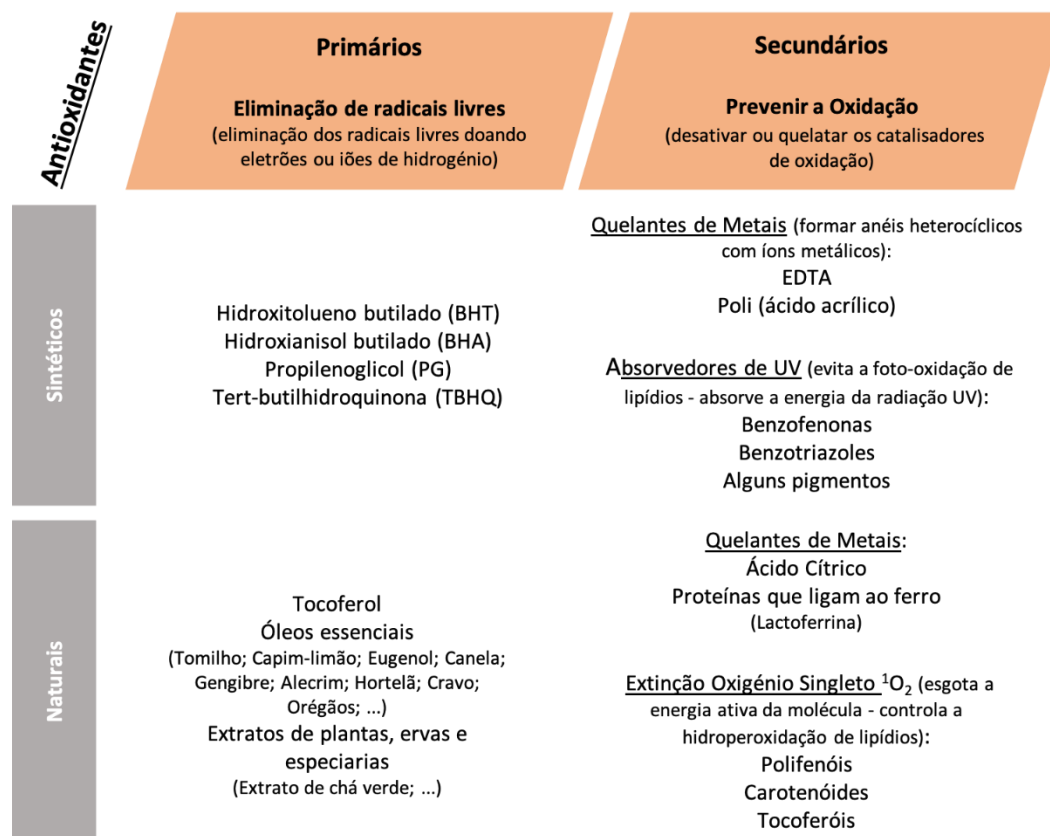


Figura 8 - Agentes antioxidantes para aplicação em embalagens ativas alimentares.

Até ao momento só é conhecido um sistema antioxidante disponível comercialmente, o ATOX<sup>®</sup>, um filme que contém o óleo essencial de orégãos (Tabela 5) (Realini & Marcos, 2014; Wyrwa & Barska, 2017), e cuja eficácia do filme contra a oxidação e descoloração de carnes frescas foi comprovada, mantendo a cor vermelha na carne bovina e cordeiro durante o armazenamento (Domínguez et al., 2018). As embalagens antioxidantes ativas destinam-se a alimentos com alto teor de lípidos, como frutas e vegetais (Vilela et al., 2018; de Abreu, Cruz & Losada, 2012; Vermeiren et al., 1999; Wyrwa & Barska, 2017).

Tabela 4 - Única embalagem ativa antioxidante comercializada para aplicação alimentar.

Nome Comercial	Empresas e Fabricantes	Princípio de Ação	Descrição / Forma
<b>ATOX<sup>®</sup></b>	Artibal SA, Espanha	Inibição do processo de oxidação: óleos essenciais de orégãos	Revestimento em filme

# Referências

Abreu, D.A.P., Cruz, J.M. & Losada, P.P. (2012) Active and Intelligent Packaging for the Food Industry. *Food Reviews International*. 28 (2), 146–187. doi:10.1080/87559129.2011.595022.

Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A.L., et al. (2017) A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*. 82, 163–178. doi:10.1016/j.foodcont.2017.06.009.

Al-Tayyar, N.A., Youssef, A.M. & Al-Hindi, R.R. (2020) Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review. *Sustainable Materials and Technologies*. 26. doi:10.1016/j.susmat.2020.e00215.

Álvarez-Hernández, M.H., Martínez-Hernández, G.B., Avalos-Belmontes, F., Castillo-Campohermoso, M.A., et al. (2019) Potassium Permanganate-Based Ethylene Scavengers for Fresh Horticultural Produce as an Active Packaging. *Food Engineering Reviews*. 11 (3), 159–183. doi:10.1007/s12393-019-09193-0.

Appendini, P. & Hotchkiss, J.H. (2002) Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 3.

Asgher, M., Qamar, S.A., Bilal, M. & Iqbal, H.M.N. (2020) Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials. *Food Research International*. 137. doi:10.1016/j.foodres.2020.109625.

Benito-Peña, E., González-Vallejo, V., Rico-Yuste, A., Barbosa-Pereira, L., et al. (2016) Molecularly imprinted hydrogels as functional active packaging materials. *Food Chemistry*. 190, 487–494. doi:10.1016/j.foodchem.2015.05.128.

Carvalho, A.P.A. de & Conte Junior, C.A. (2020) Green strategies for active food packagings: A systematic review on active properties of graphene-based nanomaterials and biodegradable polymers. *Trends in Food Science and Technology*. 103, 130–143. doi:10.1016/j.tifs.2020.07.012.

COMA, V. (2008) Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science*. 78 (1–2), 90–103. doi:10.1016/j.meatsci.2007.07.035.

Costa, S.M., Ferreira, D.P., Teixeira, P., Ballesteros, L.F., et al. (2021) Active natural-based films for food packaging applications: The combined effect of chitosan and nanocellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*. 177, 241–251. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.02.105.

- Devlieghere, F., Vermeiren, L. & Debevere, J. (2004) New preservation technologies: Possibilities and limitations. In: *International Dairy Journal*. 273–285. doi:10.1016/j.idairyj.2003.07.002.
- Dey, A. & Neogi, S. (2019) Oxygen scavengers for food packaging applications: A review. *Trends in Food Science and Technology*. 90, 26–34. doi:10.1016/j.tifs.2019.05.013.
- Domínguez, R., Barba, F.J., Gómez, B., Putnik, P., et al. (2018) Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food Research International*. 113, 93–101. doi:10.1016/j.foodres.2018.06.073.
- Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M. & Perego, P. (2020) Innovations in Smart Packaging Concepts for Food: An Extensive Review. *Foods*. 9 (11), 1628. doi:10.3390/foods9111628.
- Ebrahimi, A., Zabihzadeh Khajavi, M., Mortazavian, A.M., Asilian-Mahabadi, H., et al. (2021) Preparation of novel nano-based films impregnated by potassium permanganate as ethylene scavengers: An optimization study. *Polymer Testing*. 93. doi:10.1016/j.polymertesting.2020.106934.
- Falguera, V., Quintero, J.P., Jiménez, A., Muñoz, J.A., et al. (2011) Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology*. 22 (6), 292–303. doi:10.1016/j.tifs.2011.02.004.
- Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R.D. & Johnson, S.K. (2017) Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science and Technology*. 61, 60–71. doi:10.1016/j.tifs.2017.01.002.
- Firouz, M.S., Mohi-Alden, K. & Omid, M. (2021) A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International*. 141. doi:10.1016/j.foodres.2021.110113.
- Gaikwad, K.K., Singh, S. & Lee, Y.S. (2018) Oxygen scavenging films in food packaging. *Environmental Chemistry Letters*. 16 (2), 523–538. doi:10.1007/s10311-018-0705-z.
- Gaikwad, K.K., Singh, S. & Negi, Y.S. (2020) Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environmental Chemistry Letters*. 18 (2), 269–284. doi:10.1007/s10311-019-00938-1.
- Ganiari, S., Choulitoudi, E. & Oreopoulou, V. (2017) Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food. *Trends in Food Science and Technology*. 68, 70–82. doi:10.1016/j.tifs.2017.08.009.
- Gaspar, P.D., Lima, T.M., Silva, P.D., Charrua-Santos, F. (2021) Benchmarking de Embalagens Ativas e Inteligentes. S4Agro - Soluções Sustentáveis para o Setor Agroindustrial, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal. doi:10.25768/21.02.02.001

- Goddard, J.M., McClements, D.J. & Decker, E.A. (2012) Innovative technologies in the control of lipid oxidation. *Lipid Technology*. 24 (12), 275–277. doi:10.1002/lite.201200242.
- Haghighi-Manesh, S. & Azizi, M.H. (2017) Active packaging systems with emphasis on its applications in dairy products. *Journal of Food Process Engineering*. 40 (5). doi:10.1111/jfpe.12542.
- Hosseini, H. & Jafari, S.M. (2020) Introducing nano/microencapsulated bioactive ingredients for extending the shelf-life of food products. *Advances in Colloid and Interface Science*. 282. doi:10.1016/j.cis.2020.102210.
- Jamróz, E. & Kopel, P. (2020) Polysaccharide and protein films with antimicrobial/antioxidant activity in the food industry: A review. *Polymers*. 12 (6). doi:10.3390/POLYM12061289.
- Jideani, V.A. & Vogt, K. (2016) Antimicrobial Packaging for Extending the Shelf Life of Bread—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 56 (8), 1313–1324. doi:10.1080/10408398.2013.768198.
- Kerry, J.P., O’Grady, M.N. & Hogan, S.A. (2006) Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*. 74 (1), 113–130. doi:10.1016/j.meatsci.2006.04.024.
- Khaneghah, A.M., Hashemi, S.M.B., Es, I., Fracassetti, D., et al. (2018) Efficacy of antimicrobial agents for food contact applications: Biological activity, incorporation into packaging, and assessment methods: A review. *Journal of Food Protection*. 81 (7), 1142–1156. doi:10.4315/0362-028X.JFP-17-509.
- Kour, H., Towseef Wani, N.A., Malik, A., Kaul, R., et al. (2013) Advances in food packaging - a review. *Stewart Postharvest Review*. 9 (4). doi:10.2212/spr.2013.4.7.
- Kraśniewska, K., Galus, S. & Gniewosz, M. (2020) Biopolymers-based materials containing silver nanoparticles as active packaging for food applications—A review. *International Journal of Molecular Sciences*. 21 (3). doi:10.3390/ijms21030698.
- Lee, D.S. (2016) Carbon dioxide absorbers for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology*. 57, 146–155. doi:10.1016/j.tifs.2016.09.014.
- Lee, S.Y., Lee, S.J., Choi, D.S. & Hur, S.J. (2015) Current topics in active and intelligent food packaging for preservation of fresh foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95 (14), 2799–2810. doi:10.1002/jsfa.7218.
- Maisanaba, S., Llana-Ruiz-Cabello, M., Gutiérrez-Praena, D., Pichardo, S., et al. (2017) New advances in active packaging incorporated with essential oils or their main components for food preservation. *Food Reviews International*. 33 (5), 447–515. doi:10.1080/87559129.2016.1175010.



- Majid, I., Ahmad Nayik, G., Mohammad Dar, S. & Nanda, V. (2018) Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 17 (4), 454–462. doi:10.1016/j.jssas.2016.11.003.
- McMillin, K.W. (2017) Advancements in meat packaging. *Meat Science*. 132, 153–162. doi:10.1016/j.meatsci.2017.04.015.
- Mousavi Khaneghah, A., Hashemi, S.M.B. & Limbo, S. (2018) Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. *Food and Bioprocess Technology*. 111, 1–19. doi:10.1016/j.fbp.2018.05.001.
- Nguyen Van Long, N., Joly, C. & Dantigny, P. (2016) Active packaging with antifungal activities. *International Journal of Food Microbiology*. 220, 73–90. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2016.01.001.
- Omerović, N., Djisalov, M., Živojević, K., Mladenović, M., et al. (2021) Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 20 (3), 2428–2454. doi:10.1111/1541-4337.12727.
- Otoni, C.G., Espitia, P.J.P., Avena-Bustillos, R.J. & McHugh, T.H. (2016) Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. *Food Research International*. 83, 60–73. doi:10.1016/j.foodres.2016.02.018.
- Ozdemir, M. & Floros, J.D. (2004) Active food packaging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 44 (3), 185–193. doi:10.1080/10408690490441578.
- Pellerito, A., Ameen, S.M., Micali, M. & Caruso, G. (2018) Antimicrobial substances for food packaging products: The current situation. *Journal of AOAC International*. 101 (4), 942–947. doi:10.5740/jaoacint.17-0448.
- Realini, C.E. & Marcos, B. (2014) Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*. 98 (3), 404–419. doi:10.1016/j.meatsci.2014.06.031.
- Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., Melo, N.R. de & Sanches-Silva, A. (2017) Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science and Technology*. 61, 132–140. doi:10.1016/j.tifs.2016.11.021.
- Ribeiro, J.S., Santos, M.J.M.C., Silva, L.K.R., Pereira, L.C.L., et al. (2019) Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*. 148, 181–188. doi:10.1016/j.meatsci.2018.10.016.
- Salgado, P.R., Ortiz, C.M., Musso, Y.S., Di Giorgio, L., et al. (2015) Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*. 5, 86–92. doi:10.1016/j.cofs.2015.09.004.

- Sanches-Silva, A., Costa, D., Albuquerque, T.G., Buonocore, G.G., et al. (2014) Trends in the use of natural antioxidants in active food packaging: a review. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 31 (3), 374–395. doi:10.1080/19440049.2013.879215.
- Santos, J.C.P., Sousa, R.C.S., Otoni, C.G., Moraes, A.R.F., et al. (2018) Nisin and other antimicrobial peptides: Production, mechanisms of action, and application in active food packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 48, 179–194. doi:10.1016/j.ifset.2018.06.008.
- Sardarodiyani, M. & Mahdian, E. (2016) Active packaging systems for a modern society Celiac disease and role of a gluten-free diet View project Determination of antioxidant activity of phenolic compounds of *Thymus transcaspicus* by high performance Liquid Chromatography View project Active packa. *International Journal of PharmTech Research*. 9 (7), 357–363. <https://www.researchgate.net/publication/306978656>.
- Schumann, B. & Schmid, M. (2018) Packaging concepts for fresh and processed meat – Recent progresses. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 47, 88–100. doi:10.1016/j.ifset.2018.02.005.
- Sharma, R. & Ghoshal, G. (2018) Emerging trends in food packaging. *Nutrition and Food Science*. 48 (5), 764–779. doi:10.1108/NFS-02-2018-0051.
- Sung, S.Y., Sin, L.T., Tee, T.T., Bee, S.T., et al. (2013) Antimicrobial agents for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology*. 33 (2), 110–123. doi:10.1016/j.tifs.2013.08.001.
- Tian, F., Decker, E.A. & Goddard, J.M. (2013) Controlling lipid oxidation of food by active packaging technologies. *Food and Function*. 4 (5), 669–680. doi:10.1039/c3fo30360h.
- Valdés, A., Mellinas, A.C., Ramos, M., Burgos, N., et al. (2015) Use of herbs, spices and their bioactive compounds in active food packaging. *RSC Advances*. 5 (50), 40324–40335. doi:10.1039/c4ra17286h.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Van Beest, M., De Kruijf, N., et al. (1999) *Developments in the active packaging of foods*.
- Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., et al. (2018) A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science and Technology*. 80, 212–222. doi:10.1016/j.tifs.2018.08.006.
- Wei, H., Seidi, F., Zhang, T., Jin, Y., et al. (2021) Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*. 337. doi:10.1016/j.foodchem.2020.127750.
- Wyrwa, J. & Barska, A. (2017) Innovations in the food packaging market: active packaging. *European Food Research and Technology*. 243 (10), 1681–1692.

doi:10.1007/s00217-017-2878-2.

Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M.K., Nilsen-Nygaard, J., et al. (2018) Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 17 (1), 165–199. doi:10.1111/1541-4337.12322.

Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y. & Xiao, H. (2020) Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 3 (1), 27–35. doi:10.1016/j.aiepr.2019.11.002.

Zhou, G.H., Xu, X.L. & Liu, Y. (2010) Preservation technologies for fresh meat - A review. *Meat Science*. 86 (1), 119–128. doi:10.1016/j.meatsci.2010.04.033.