



# Embalagens Inteligentes

## Produtos Cárneos

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

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional





# Embalagens Inteligentes

## Produtos Cárneos

Pedro Dinis Gaspar

(coordenação)

Data

9-11-2021

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional



# Ficha Técnica

**Título:**

Embalagens Inteligentes - Produtos  
Cárneos

**Coordenação editorial:**

Pedro Dinis Gaspar

**Autores e copyright:**

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

**Data:**

Novembro 2021

**Projeto gráfico e design:**

Catarina Laginha

**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.

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

**Agradecimentos:**

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

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.

**ISBN:**

978-989-654-809-4 (impresso)  
978-989-654-810-0 (eletrónico)

**DOI:**

10.25768/654-809-4/654-810-0



# 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 dados, quer pelas indicações fornecidas, contribuíram para a elaboração do presente estudo "Tecnologias e Sistemas em Embalagens Inteligentes - Produtos Cárneos".





# 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 cárneos, produtos hortofrutícolas, produtos lácteos e, produtos de 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 (ecológicas) e secundárias (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 impactes 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 dados, quer pelas indicações fornecidas, contribuíram para a elaboração do presente estudo "Embalagens Inteligentes - Produtos cárneos".



# 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 impacte ambiental.

No presente documento encontra-se o resultado de uma revisão bibliográfica sobre o tema de Embalagens Inteligentes aplicadas em produtos alimentares. Como resultado, obteve-se um resumo das principais tecnologias, classificações e conceitos, bem como exemplos de sua utilização, que podem trazer benefícios tais como, aumento da eficiência, redução do desperdício, extensão da vida útil do produto, rastreabilidade, garantia de autenticidade, entre outros. Destaca-se em especial sua aplicação do subsector cárneo.

## Palavras-chave

Base de dados, Agro-indústria, Embalagens Ativas, Embalagens Inteligentes, Inovação, Competitividade, Cárneos, Hortofrutícolas, Lácteos, Panificação, Pastelaria.





# Abstract

Sustainability can be defined as the ability of human beings interacts 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 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 that SMEs become more efficient, the environmental impact is also reduced.

This document contains the result of a literature review on the topic of Intelligent Packaging applied to food products. As a result, a summary of the main technologies, classifications, and concepts was obtained, as well as examples of their use, which can bring benefits such as increased efficiency, reduction of waste, the extension of product life, traceability, a guarantee of authenticity, between others. Its application in the meat subsector stands out in particular.

# Keywords

Database, Agro-industry, Active packaging, Smart packaging, Innovation, Competitiveness, Meat, Horticultural, Dairy, Bakery, Pastry.



# Índice

<b>Ficha Técnica .....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>vii</b>
<b>Parceiros .....</b>	<b>ix</b>
<b>Enquadramento .....</b>	<b>xi</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>xv</b>
<b>Palavras-chave .....</b>	<b>xv</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Keywords .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Índice .....</b>	<b>xix</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>xxi</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>1 Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Metodologia .....</b>	<b>6</b>
2.1 Questão de pesquisa e definição .....	6
2.2 Base de dados e palavras-chave .....	6
2.3 Métricas .....	8
<b>3 Embalagens Inteligentes .....</b>	<b>9</b>
3.1 Indicadores.....	11
3.1.1 Time Temperature Indicator (TTI) .....	12
3.1.2 Frescura .....	13
3.1.3 Gases.....	15
3.2 Sensores.....	16
3.3 Data Carriers .....	18

3.3.1	Bar Code .....	19
3.3.2	QR Code .....	19
3.3.3	Realidade Aumentada .....	21
3.3.4	Radio Frequency Identification (RFID).....	22
<b>4</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>32</b>
	<b>Referências .....</b>	<b>34</b>

# Lista de Figuras

Figura 1 – Perda de alimentos em cada fase da Cadeia de Abastecimento de Alimentos. Adaptado de: (Chen et al., 2020).....	2
Figura 2 – Foto ilustrativa de um produto cárneo. Fonte: (Comunilog, 2021). ....	4
Figura 3 -Processo de seleção de artigos (PRISMA). ....	7
Figura 4 – Métricas da revisão sistemática. ....	8
Figura 5 - Classificação das tecnologias das Embalagens Inteligentes.....	10
Figura 6 – Exemplo de funcionamento de um TTI. Fonte: (Deltatrak, 2021).....	12
Figura 7 - Princípio de funcionamento de um indicador.....	13
Figura 8 - Diferentes indicadores de frescura para diferentes produtos. Fonte: (Evigence, 2021).....	14
Figura 9 – Foto ilustrativa de embalagem de carne com aplicação do Indicador 3BP. Fonte: (3BP, 2021). ....	14
Figura 10 - Exemplo de um sensor de temperatura. Fonte: (InnoLabel, 2021) .....	16
Figura 11 - Arquitetura típica de um sensor. Adaptado de: (Wang et al., 2019). ....	17
Figura 12 - Printed Sensors - Exemplo de impressão de componentes eletrônicos. Fonte: (Printed Electronics World, 2021) .....	17
Figura 13 - Desenho esquemático de funcionamento de um Biosensor. ....	18
Figura 14 – Diferentes tipos de Bar Codes, comumente utilizadas no mercado. A esquerda, QR Code (2-D), ao centro UPC-A (1-D) e a direita EAN-13 (1-D). Fonte: (FreeBarcode, 2021) .....	19
Figura 15 - QR Code Inteligente. Utiliza tinta Termo cromática e QR Code para identificação da temperatura adequada do produto. Fonte: (Djurdjevic et al., 2019) .	20
Figura 16 – Exemplo de Embalagem Inteligente que utiliza QR Code + TTI. Produto Smart Dot™, comercializado pela Evigence. ....	21
Figura 17 - Realidade Aumentada, exemplo de interação com o consumidor. Fonte: (CrownSmart, 2021) .....	22
Figura 18 – Sistema funcionamento de um RFID Fonte: (Medium, 2021).....	23

Figura 19 – Desenho esquemático da arquitetura de um Sistema RFID.....	24
Figura 20 - Estrutura típica de uma Tag RFID. Suporte, RFID e Bar Code. Fonte: (eAgile Inc., 2021) .....	24
Figura 21 - Diagrama típico de um chipless RFID sensor. Fonte: (Fathi et al., 2020).....	27
Figura 22 - Sistema de aquisição e controlador dentro da caixa de proteção. Fonte: (Popa et al., 2019).....	28
Figura 23 – Sistema Chipless RFID sensor (NFC) para monitorização de temperatura e pressão. Fonte: (Nguyen et al., 2019) .....	28
Figura 24 - Desenho esquemático do sistema de rastreabilidade com a utilização da Smart Tag. Adaptado de: (Varcodé, 2021). .....	30
Figura 25 – A) Dispositivo Verigo Pod Quality. B) Sistema de estimativa de vida útil restante do produto. C) Sistema de controlo logístico baseado na qualidade do produto. (InnoLabel, 2021).....	30

# Lista de Tabelas

Tabela 1 – Resumo dos benefícios das embalagens inteligentes. ....	10
Tabela 2 - Resumo do princípio de funcionamento e aplicações de alguns dispositivos inteligentes usados em Embalagens Inteligentes. Fonte: (Soltani Firouz et al., 2021a).11	
Tabela 3 – Exemplos Tecnologias de Indicadores TTI. ....	13
Tabela 4 - Freshness Indicator. Produto e nome do fabricante.....	14
Tabela 5 - Indicadores de integridade, gases O <sub>2</sub> . ....	15
Tabela 6 – Soluções em QR Code. Rastreabilidade, realidade aumentada e autenticidade. .....	21
Tabela 7 – Resumo das frequências utilizadas pelo RFID. Fonte: (Bibi et al., 2017).....	26
Tabela 8 – Empresas de soluções em RFID.....	31





# 1 Introdução

Hoje, o setor agroindustrial é responsável pelo consumo de 20% de toda a terra, 70% da água, 32% energia produzida (Spang et al., 2019). Ao mesmo tempo, que as emissões geradas na agricultura e criação de animais é estimada de 19 % a 29 % do total de emissões de gases de efeito estufa. O relatório da organização das Nações Unidas aponta para um crescimento populacional de 30 % até 2050, quando será atingido 9 mil milhões de seres humanos na Terra. Também, estima-se que o aumento no consumo de alimentos seja 60 % maior em relação à quantidade atualmente consumida (Acosta-Alba et al., 2019; FAO, 2020).

Outro ponto que merece destaque é relativo às perdas e desperdícios ao longo de toda a cadeia de abastecimento de alimentos (CAA). Pode ser definido, em termos gerais, a perda em decorrência de uma ação involuntária, ao passo que o desperdício ocorre devido a uma ação voluntária (Spang et al., 2019). A CAA é responsável pela produção, transporte, armazenagem e distribuição (Villalobos et al., 2019). E, de uma forma mais abrangente, pode-se incluir também o processamento, embalagem, o retalho e o consumidor final (Spang et al., 2019). Este desperdício é estimado em até um terço de tudo que é produzido (Huang et al., 2021). A Figura 1 apresenta as perdas, em percentagem, de diferentes produtos alimentares nas diversas etapas da cadeia de abastecimento de alimentos. É possível destacar as elevadas perdas dos produtos hortofrutícolas, em primeiro lugar, seguidos de peixes, carnes, grãos e leite. Deve-se salientar que as perdas ao nível do consumo são elevadas para todos os produtos alimentares.

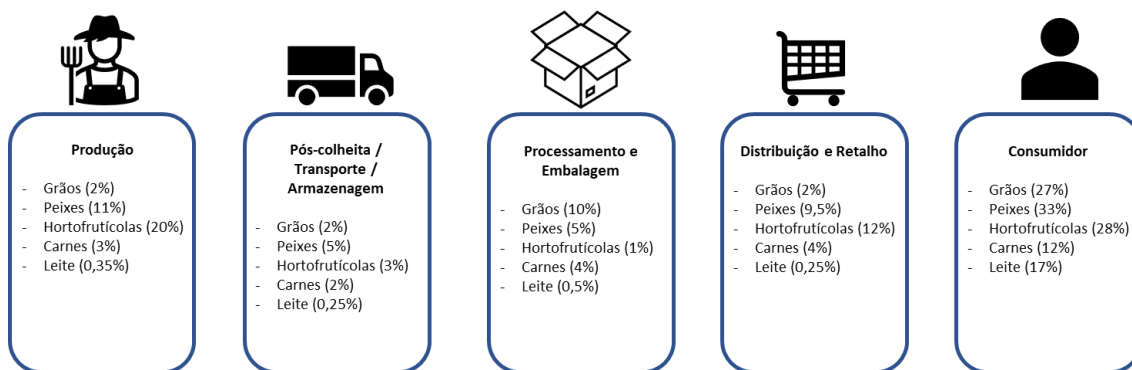


Figura 1 – Perda de alimentos em cada fase da Cadeia de Abastecimento de Alimentos. Adaptado de: (Chen et al., 2020).

As embalagens tradicionais tem como sua principal função, proteger e prolongar a sua vida útil dos alimentos, de forma garantir sua qualidade (frescura, estrago ou amadurecimento)(Lu et al., 2020). Para além disso, possui funções adicionais nas áreas de logística e marketing (Bumbudsanpharoke and Ko, 2019; Vanderroost et al., 2017). Entretanto, estas embalagens geram resíduos que degradam o meio ambiente. Este cenário é agravado pelo modelo dominante de desenvolvimento económico que baseia-se em "tomar, fazer e eliminar" e, infelizmente, leva a um crescimento insustentável (Ghisellini et al., 2016). Neste contexto, a pegada material global funciona como um indicador da pressão sobre o ambiente, para apoiar o crescimento económico, para satisfazer as necessidades materiais das pessoas, como alimentos, vestuário, água, abrigo, infraestruturas e outros aspetos do bem-estar social. Em 2010, a pegada material global foi de 73,2 mil milhões de toneladas e sete anos depois, em 2017, cresceu 17,4% para 85,9 mil milhões de toneladas.

A sustentabilidade é um conceito amplo que aborda a maioria dos aspetos da vida humana, e desempenha um importante papel social, ambiental e económico. Com o objetivo de se tornar mais sustentável, a Comissão Europeia criou o *European Green Deal*, que fornece um plano de ação para reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 40%, pelo menos, quando comparado a 1990, aumentar a participação das energias renováveis em 32% e melhorar a eficiência energética em 32,5%, aumentando o uso eficiente de recursos na mudança para uma economia limpa e circular, para restaurar a biodiversidade e reduzir a poluição (European Commission, 2021). A União Europeia

pretende ser neutra para o clima até 2050 e, nos próximos anos, este compromisso político tornar-se-á lei e, portanto, uma obrigação legal. Assim, essas mudanças devem ser consideradas pelas empresas, principalmente as micro, pequenas e médias empresas (MPMEs) do setor agroindustrial, transformando as empresas tradicionais em empresas eco eficientes (European Commission, 2020).

Neste cenário desafiador, as Embalagens Inteligentes surgem como uma das possíveis soluções para a redução das emissões. Em comparação as embalagens tradicionais, que têm o objetivo de estender a vida útil, facilitar o transporte e marketing, estas permitem o aumento da eficiência, libertando novas funções, como garantir a autenticidade, origem rastreabilidade e prevenir contra fraudes e roubos (Vanderroost et al., 2017). E, conseqüentemente, traz redução da poluição e das perdas associadas a CAA (Poyatos-Racionero et al., 2018).

O setor agroindustrial é composto por diferentes tipos de empresas, as quais têm diferentes tipos de processo e realidade. Deste modo, as tecnologias utilizadas devem respeitar tais características e suas conseqüentes restrições para a sua implementação. A literatura atual, aborda diferentes tecnologias, aplicadas de forma geral (Kalpana et al., 2019; Müller e Schmid, 2019; Soltani Firouz et al., 2021a) ou específica em diferentes subsectores, onde podemos destacar os hortofrutícolas (Onwude et al., 2020), lácteos (Mirza Alizadeh et al., 2020), cárneos (Ahmed et al., 2018) e padaria e pastelaria.

Os produtos cárneos, tais como carne, porco, frango e peixe são de elevada perecibilidade. A sua deterioração ocorre, principalmente, devido pelo crescimento da contaminação microbiana e a criação de aminas biogénicas, como amônia, dimetilamina e trimetilamina, também conhecidas como nitrogênio básico volátil (TVBN) (Chen et al., 2019; Dong et al., 2020).



*Figura 2 – Foto ilustrativa de um produto cárneo. Fonte: (Comunilog, 2021).*

Como consequências da degradação são percebidas alterações organoléticas das carnes, tais como coloração, consistência, rigidez, quantidade de água, odor, sabor, pH, entre outras. Diversos tipos de embalagens podem ser utilizados para armazenar este produto, tais como embalagens permeáveis ao ar, vácuo ou de atmosfera modificada. As embalagens permeáveis possuem um filme perfurado, com pequenos poros que permitem a passagem de oxigênio, que cria a oximioglobina, que dá a coloração vermelha da carne (McMillin, 2017).

Entretanto, estes podem oxidar e dar uma coloração marrom a carne. As embalagens à vácuo funcionam ao extrair o ar do produto, com o objetivo de reduzir a velocidade da ação microbiana. Um princípio similar a este é utilizado nas embalagens de atmosfera modificada, entretanto, após a remoção do ar, é inserido um gás (atmosfera modificada) de acordo com as propriedades que se desejam, como enaltecer o vermelho da carne com a adição de monóxido de carbono (CO) ou ainda inibir o crescimento microbiano com adição de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Outro aspecto que se pode destacar é a temperatura a qual ele é o produto é armazenado. Esta temperatura tem papel fundamental velocidade da degradação de produtos alimentares (Bekhit et al., 2021).

As Embalagens Inteligentes são apontadas por diversos autores como uma solução para a redução de perdas e desperdícios, aumento da eficiência, melhora na extensão da vida útil de produtos alimentares, na rastreabilidade, na interação com o consumidor, entre diversos outros benefícios (Kalpana et al., 2019; Müller and Schmid, 2019; Poyatos-Racionero et al., 2018; Soltani Firouz et al., 2021a).

Portanto, este trabalho visa responder a seguinte pergunta: Quais são as tecnologias de Embalagens Inteligentes mais adequadas para a utilização no setor agroindustrial, no subsector cárneo? Quais são suas oportunidades na perspectiva da extensão da vida útil, otimização do processo, rastreabilidade, segurança e qualidade do produto? Quais seus desafios?

Como resultados desta pesquisa, através de uma revisão sistemática nos principais bancos de dados, espera-se compilar informações relevantes, para a aplicação das tecnologias de Embalagens Inteligentes, com o objetivo de estender ainda mais o tempo de prateleira, proporcionar maior controlo logístico, reduzir custos, melhorar a comunicação entre produtor, distribuidor e consumidor, reduzir perdas, emissões, entre outros benefícios.

# 2 Metodologia

## 2.1 Questão de pesquisa e definição

A revisão sistemática foi conduzida de acordo com o PRISMA (Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, 2009). Este trabalho pretende responder à seguinte pergunta " Quais são as tecnologias de embalagens inteligentes mais adequadas para a utilização no setor agroindustrial, no subsector cárneo? Quais são suas oportunidades na perspetiva da extensão da vida útil, otimização do processo, rastreabilidade, segurança e qualidade do produto? Quais seus desafios?"

## 2.2 Base de dados e palavras-chave

Para obter a resposta à pergunta principal, foi realizado uma revisão literária sistemática em artigos científicos (artigos de jornais, revistas, conferências e resumos publicados) dos últimos 5 anos. Foram utilizadas as bases de dados da Pubmed, ScienceDirect, Scopus, Web Of Science e IEEE, com as seguintes palavras-chave: TITLE-ABS-KEY ((intelligent OR smart) AND (packaging AND food) AND ("data carrier" OR sensor OR indicator)).

Estas palavras-chaves foram procuradas no título, resumo e palavras-chave, de maneira exaustiva, de modo a revelar as tecnologias classificadas como de Embalagens Inteligentes ou *Smart*, que fossem utilizadas para embalagens de alimentos e que podem ser classificadas como um sensor, um indicador ou um "data carrier". A busca ficou restrita aos artigos publicados nos últimos 5 anos, e totalizou 745 artigos. Os critérios de exclusão levaram em consideração: 1) Artigo duplicado em outra base de dados, 2) Escrito em Inglês, 3) Temas não relacionados ao *packaging*, 5) Temas não relacionados às embalagens inteligentes, 6) Tema não relacionados a carnes, hortofrutícolas, lácteos e padaria e pastelaria. Considerados estes critérios de exclusão, restaram 108 artigos.

Deve-se salientar, que alguns artigos e websites adicionais à revisão sistemática também foram utilizados para complementar as informações pertinentes a este documento. Destaca-se a pesquisa na base de dados do Google com o objetivo de relevar empresas que têm relevância no setor de Embalagens Inteligentes, tais como centros de investigação e desenvolvimento, centros tecnológicos, fabricantes, entre outras. O processo de inclusão/exclusão está descrito através da Figura 3.

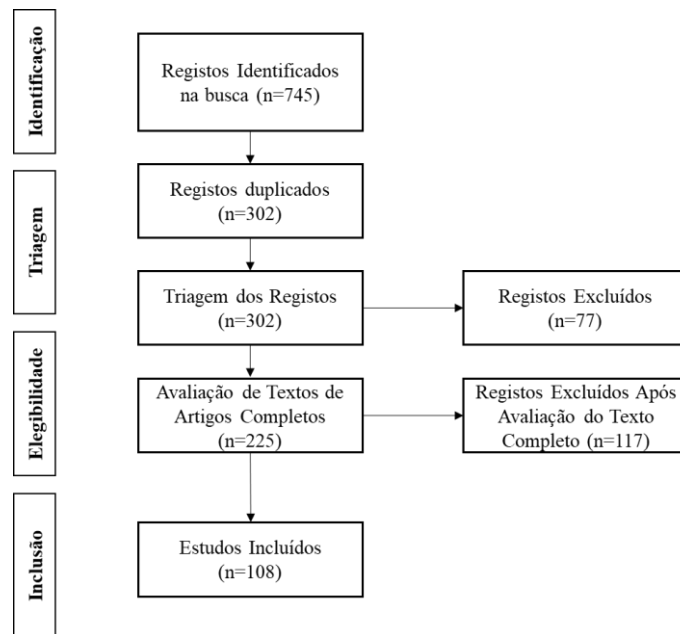
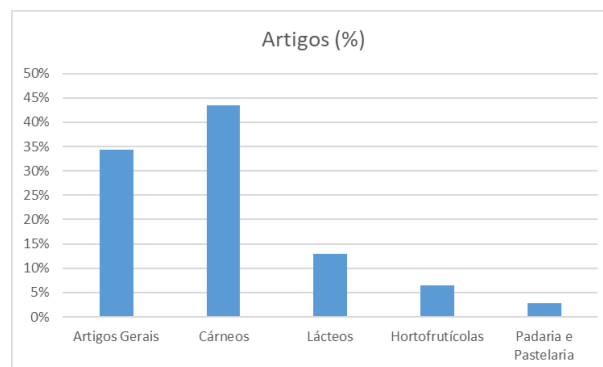


Figura 3 -Processo de seleção de artigos (PRISMA).

## 2.3 Métricas

Como resultado da metodologia, 108 artigos foram selecionados. De acordo com cada fileira, podem ser classificados como cárneos, hortofrutícolas, lácteos, padaria e artigos gerais, ou seja, que englobam vários subsectores, conforme pode ser observado na Figura 4.



*Figura 4 – Métricas da revisão sistemática.*

A Figura 4, ilustra a maior concentração de estudos relacionados aos produtos cárneos, com 44%, seguidos dos artigos gerais, com 34%, que abordam de maneira transversal todos os subsectores. Os produtos lácteos destacam-se com 13% dos artigos, os hortofrutícolas com 6% e por último, os produtos de padaria e pastelaria com apenas 3%.



## 3 Embalagens Inteligentes

*Intelligent Packaging* ou *Smart Packaging* diz respeito à utilização de tecnologia para monitoramento da qualidade do alimento, sendo este monitoramento em tempo real, ou não. Também pode se estender para a cadeia de abastecimento e para a logística de distribuição, deste modo, obter informações adicionais para além da qualidade, como a sua origem, localização, condições de armazenamento, destino final entre outras (Poyatos-Racionero et al., 2018). Portanto, pode-se informar ao consumidor ou aos distribuidores informações pertinentes à segurança e a qualidade do produto. Desta forma, uma Embalagem Inteligente é mais eficiente do que uma embalagem convencional, pois está a reduzir o desperdício em toda a cadeia de abastecimento, nos recursos utilizados e no desperdício do produto final propriamente dito (Kalpana et al., 2019; Soltani Firouz et al., 2021a).

De um modo geral, as embalagens inteligentes podem libertar diferentes funções, como deteção, sensoriamento, registo, rastreio, comunicação, e permite o uso de ferramentas de otimização (Onwude et al., 2020). Em contraste com as embalagens ativas as embalagens inteligentes apenas registam e exibem informações sobre o produto, enquanto que as embalagens ativas, atuam diretamente sobre o produto de forma a prolongar sua vida útil (Soltani Firouz et al., 2021a).

As diferentes classificações estão relacionadas à tecnologia utilizada na embalagem. Os indicadores têm funcionamento relacionado à reagentes químicos, que acabam por indicar, temperatura, pressão, tempo, gás ou substância particular. Os sensores, são baseados em sistemas eletrónicos para a deteção. Entretanto, costumam funcionar associados à transdutores, e sistemas de comunicação para transmissão ou troca de informações. Por último, o *Bar Code* é extensivamente utilizado pela indústria. Entretanto, possui informações estáticas e com baixa quantidade de armazenamento. O *QR Code* foi desenvolvido para complementar e aumentar a quantidade de informações que pode ser armazenada, e ainda é possível sua utilização para direcionar

o consumidor, através do seu dispositivo móvel, para o site do fabricante, e aceder a mais informações pertinentes ao produto. As impressões invisíveis, podem ter um papel significativo no que diz respeito a esta informação de conteúdo, já que podem estar distribuídas em várias posições da embalagem, sem prejuízo visual, mas libertando suas informações, que apenas ao apontar o telemóvel é possível aceder. Esta quantidade maior de informações pode servir como base para a realidade aumentada de um produto (Vanderroost et al., 2017). A Figura 5, mostra a classificação quanto a tecnologia empregada nas Embalagens Inteligentes:

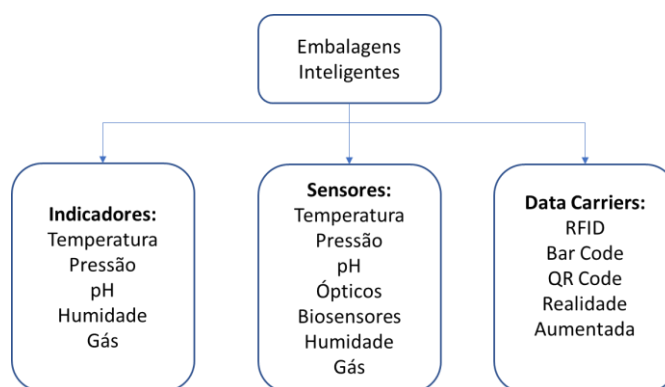


Figura 5 - Classificação das tecnologias das Embalagens Inteligentes.

A Tabela 1 resume os principais benefícios da aplicação das Embalagens Inteligentes.

Tabela 1 – Resumo dos benefícios das embalagens inteligentes.

Aplicação	Descrição
<b>Qualidade</b>	Permite o controlo em tempo real da qualidade de um produto alimentar. Este controlo pode ser simples ou mais sofisticado a depender da tecnologia utilizada. É possível estender a vida útil do produto com base nestas informações.
<b>Segurança</b>	Como consequência do controlo da qualidade, é possível estimar através de indicadores ou sensores indiretos ou determinar, através de sensores ou indicadores diretos se o produto ainda se encontra apto para o consumo.
<b>Logística e Rastreabilidade</b>	Maior controlo e transparência ao longo de toda a CAA. Possibilidade de determinar com precisão sua localização, distribuição, e suas condições as quais foi submetido ao longo de toda a CAA.
<b>Autenticidade e integridade</b>	É possível garantir a autenticidade e integridade de um produto. Através de <i>RFID Tags</i> ou ainda com <i>QR Codes</i> .
<b>Interação com o consumidor</b>	A maior interação com o consumidor pode ser alcançada através de <i>QR Code</i> ou <i>RFID</i> que pode levar o consumidor ao website do fabricante, ou ainda libertar a possibilidade de uma realidade aumentada.

Um resumo do princípio de funcionamento e aplicações de alguns dispositivos inteligentes usados em Embalagens Inteligentes pode ser visto na Tabela 2 (Soltani Firouz et al., 2021a).

*Tabela 2 - Resumo do princípio de funcionamento e aplicações de alguns dispositivos inteligentes usados em Embalagens Inteligentes. Fonte: (Soltani Firouz et al., 2021a).*

<b>Dispositivos Inteligentes</b>	<b>Princípio</b>	<b>Aplicação</b>
<b>TTI</b>	Mecânico, químico, enzimático ou microbiológico.	Monitora continuamente e reflete o histórico de temperatura ao longo de toda a cadeia de frio dos alimentos armazenados. Diagnóstico das condições de armazenamento.
<b>Indicador de Gás</b>	Corantes redox, corantes de pH ou enzimas	Dependente do ambiente interno, indica o estado de qualidade dos alimentos; Detecção de mudanças na atmosfera dentro da embalagem. Monitoramento da qualidade e segurança dos alimentos embalados em relação à composição específica do gás no interior (embalagem com atmosfera modificada) - Vazamento da embalagem para diagnóstico.
<b>Bar Code</b>	Simbologia <i>Bar Code</i> (1-D) <i>QR Code</i> (2-D)	Identificação do produto. A originalidade do produto - Facilita o controle de estoque.
<b>RFID tags</b>	Radio frequência	Identificação do produto - rastreamento e proteção antirroubo.
<b>Sensores</b>	Físico ou químico	Detecção da atividade, concentração e composição de analitos físicos ou químicos especificados.
<b>Biosensor</b>	Materiais biológicos, incluindo antígenos, enzimas e ácidos nucleicos	Detecção de analitos biológicos específicos para fins de diagnóstico da qualidade e segurança alimentar.

Uma descrição mais detalhada de cada uma das tecnologias será apresentada nos próximos tópicos.

### 3.1 Indicadores

Um indicador é um instrumento utilizado para monitorar uma condição. São empregados nas Embalagens Inteligentes para determinar a presença, ausência, ou a concentração de uma determinada substância, de forma a revelar as condições do produto e da embalagem (Ahmed et al., 2018; Müller and Schmid, 2019). Os indicadores permitem revelar a condição de qualidade do produto através da alteração de sua cor, intensidade, ou difusão de cores, resultantes de alterações irreversíveis no produto (Otles and Sahyar, 2016). A depender de sua aplicação, pode ser colocado internamente ou externamente (Ahmed et al., 2018; Kalpana et al., 2019; Müller and Schmid, 2019; Otles and Sahyar, 2016).

### 3.1.1 Time Temperature Indicator (TTI)

Sabe-se que a temperatura acelera o processo de degradação de alimentos perecíveis. Durante a longa CAA, desde a fazenda até o consumidor final, e em especial, em cadeias frias de abastecimento a variação de temperatura deve ser constantemente monitorada. Neste contexto, o controlo da temperatura, pode ser realizado pelo TTI. Os TTIs podem monitorar o efeito acumulado da temperatura na qualidade do alimento, e indicar se o produto é apto para o consumo ou não (Soltani Firouz et al., 2021b). De um modo geral, os *Time Temperature Indicators* ou *Time Temperature Integrators* são dispositivos simples e que podem ser anexados a embalagens primárias, secundárias e em pallets (Müller and Schmid, 2019). Um exemplo de um TTI pode ser visto na Figura 6, logo abaixo:

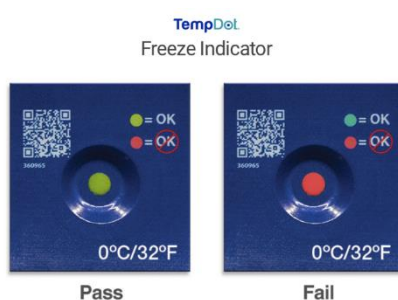


Figura 6 – Exemplo de funcionamento de um TTI. Fonte: (Deltatrak, 2021)

A Figura 6 revela a qualidade de um alimento, com base nas alterações de temperatura sofridas. Um aspeto importante, e que deve ser considerado, é que estes dados de tempo e temperatura estão relacionados ao tipo de produto utilizado. Pode ser utilizado ao longo de toda a cadeia de abastecimento, bem como pelo consumidor final.

Os TTIs são de fácil utilização e baratos. Também, são transversais a todos os subsectores, como carnes, hortofrutícolas, lácteos e padaria e pastelaria. Os TTIs podem ser adquiridos em diferentes ranges de temperatura. Alguns exemplos de produtos estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Exemplos Tecnologias de Indicadores TTI.

Nome Comercial	Fabricante
3M Monitor Mark™ /	3M Company
Keep -it®	Keep -it Techonologies
VITSAB®	VITSAB International AB
Zebra (TempTime )	Zebra (TempTime )
TTI	FreshPoint
TTI	Varcode

### 3.1.2 Frescura

Indicadores de frescura, diferentemente dos TTIs, são indicadores diretos da qualidade dos produtos, e é capaz de revelar as reações químicas que causam a sua deterioração. Um forma muito comum de monitorar o crescimento de microrganismos, e consequente deterioração de um alimento, pode ser através de seus metabólitos, tais como glicose, ácidos orgânicos, dióxido de carbono, produtos da degradação de Adenosina Trifosfato (ATP) e compostos sulfúricos (Kalpana et al., 2019; Müller and Schmid, 2019). Portanto, a depender do tipo de alimento, existe um composto químico específico que funciona como indicativo da sua qualidade.

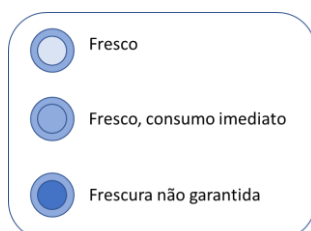


Figura 7 - Princípio de funcionamento de um indicador.

Seu princípio de funcionamento é simples, conforme ilustrado na Figura 7. Nota-se que com a alteração da qualidade do produto, a cor da etiqueta se altera, de forma a identificar a frescura do produto. Nota-se que o círculo interno possui o reagente, enquanto o círculo externo não possui o reagente e serve como controlo. A Figura 8 exhibe um conjunto de indicadores para diversos alimentos diferentes.



Figura 8 - Diferentes indicadores de frescura para diferentes produtos. Fonte: (Evigence, 2021)

Alguns indicadores de frescura utilizam os gases dos alimentos como analitos, desta forma é possível avaliar a sua integridade. Para além disso, é possível monitorar os gases de forma a determinar se um alimento ainda está apto ao consumo. Devido ao seu princípio de funcionamento, geralmente operam em ambientes fechados, e tem seu uso indicado para o interior de embalagens.



Figura 9 – Foto ilustrativa de embalagem de carne com aplicação do Indicador 3BP. Fonte: (3BP, 2021).

Como exemplo, a Figura 9 exibe um indicador de frescura. Antes de as embalagens serem abertas, a etiqueta desenvolvida pela 3BP, é branca. Depois de aberta, a tinta ficará progressivamente mais escura. Quanto mais escura for a tinta, mais perto estará de não ser seguro ingerir o alimento.

Tabela 4 - Freshness Indicator. Produto e nome do fabricante.

Nome Comercial	Fabricante
Damage Indicating Packaging	3BP
EVIGENCE SENSORS™	Evigence
Itene	Itene (Investigação e desenvolvimento)

Entretanto, outros indicadores são muito comuns. Entre eles, pode-se destacar os indicadores de pH, pois sua degradação dos alimentos está diretamente relacionada a alteração do pH (Mustafa and Andreescu, 2018).

### 3.1.3 Gases

A composição química dos gases pode revelar uma as condições relativas a qualidade do produto com base na atmosfera dentro da embalagem. Essas alterações na atmosfera interna da embalagem são devidas à atividades enzimáticas ou químicas do próprio alimento, a ação de microrganismos ou ainda devido a vazamentos (Müller and Schmid, 2019).

Em sua maioria, são indicadores de oxigênio ( $O_2$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Mas também podem ser indicadores de humidade (vapor de água –  $H_2O$ ), etanol ( $C_2H_6O$ ), etileno ( $C_2H_4$ ), sulfato de hidrogênio ( $H_2S$ ), entre outros gases. Para que seja possível o monitoramento dos gases, o indicador deve estar em colocado dentro da embalagem. (Müller and Schmid, 2019).

Alguns indicadores de integridade utilizam os gases dos alimentos como analitos, desta forma é possível avaliar a sua integridade. Para além disso, é possível monitorar os gases de forma a determinar se um alimento ainda está apto ao consumo. Devido ao seu princípio de funcionamento, operam em ambientes fechados, e tem seu uso indicado para o interior de embalagens. A Tabela 5 mostra alguns exemplos de indicadores de gases que alteram de cor na presença de oxigênio, gás carbônico ou outros gases.

*Tabela 5 - Indicadores de integridade, gases  $O_2$ .*

<b>Nome Comercial</b>	<b>Fabricante</b>
<b>Ageless eye</b>	Mitsubishi Gas Chemical
<b>Tell Tab</b>	IMPAK Corporation
<b><math>O_2</math> Sense</b>	FreshPoint Lab
<b>Testing Packaging Headspace</b>	Emco Technologies

## 3.2 Sensores

Um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico ou químico de maneira específica, produzindo um sinal que pode ser transformado em outra grandeza física para fins de medição e/ou monitoramento. Os sensores aplicados as Embalagens Inteligentes, têm o objetivo de revelar a qualidade atual do produto e seu ambiente externo (Wang et al., 2019).

O sensor acaba por ser um dispositivo eletrónico, e por esta razão, possui uma arquitetura complexa. São comumente utilizados quando é necessário uma um histórico do produto ou de seu ambiente externo, com maior precisão do que os indicadores. A Figura 10 exhibe um exemplo de um sensor de temperatura.

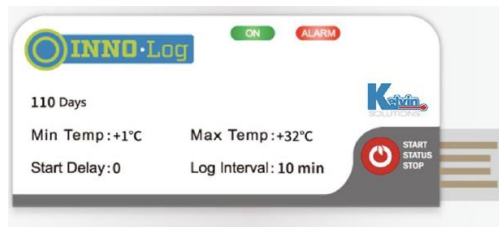


Figura 10 - Exemplo de um sensor de temperatura. Fonte: (InnoLabel, 2021)

A arquitetura de um sensor, tipicamente, é composta quatro secções: recetor, transdutor, processamento de sinal e ecrã (interface), como pode ser observado na Figura 11. No caso das Embalagens Inteligentes, este dispositivo costuma estar associado a uma fonte de energia e uma memória externa ou antenas de RFID, o que pode libertar novas funcionalidades e eventualmente, caso se conecte a internet, transformá-lo em um dispositivo conectado em uma rede da Internet das Coisas (IoT) (Wang et al., 2019).

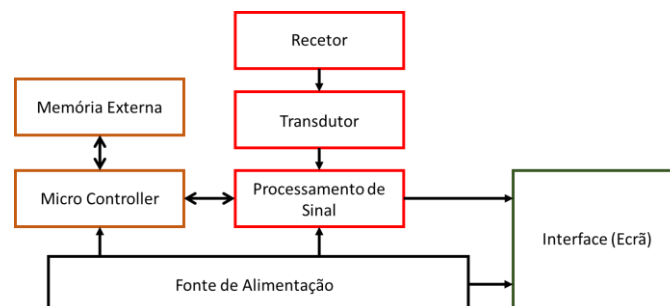




Figura 11 - Arquitetura típica de um sensor. Adaptado de: (Wang et al., 2019).

Comparativamente, os sensores são mais caros que os indicadores. Entretanto, as tecnologias recentes de impressão de sensores podem reduzir os custos de fabrico e o impacte ambiental de sua produção. Também, sua arquitetura pode variar de acordo com a necessidade específica que a Embalagem Inteligente deve desempenhar dentro da CAA (Soltani Firouz et al., 2021b). Outro aspeto importante, especialmente tratando-se de Embalagens Inteligentes, é a miniaturização dos componentes eletrónicos, e seus custos de produção. A redução de custos e miniaturização podem ser alcançadas com a tecnologia de impressão de componentes eletrónicos, *Printed Electronics*. Um exemplo de sua aplicação pode ser visto na Figura 12.

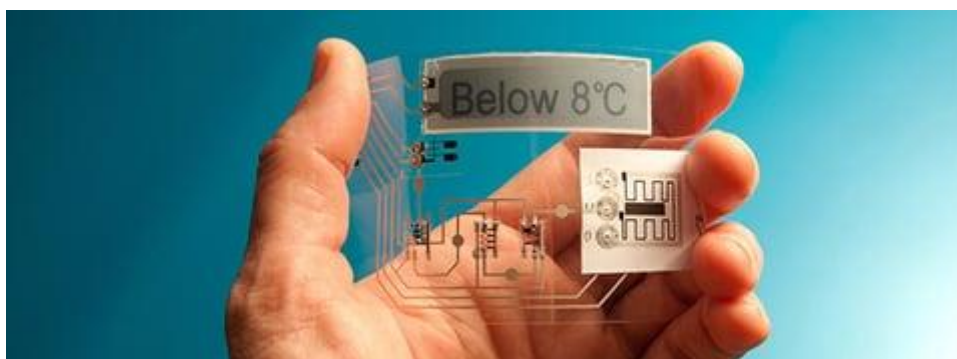


Figura 12 - Printed Sensors - Exemplo de impressão de componentes eletrónicos. Fonte: (Printed Electronics World, 2021)

Os sensores podem ser utilizados para a deteção de: oxigénio ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), humidade (vapor de água –  $H_2O$ ), etanol ( $C_2H_6O$ ), sulfato de hidrogénio ( $H_2S$ ), pH, temperatura, entre outros. As tecnologias de sensores podem ser infravermelhos, eletroquímico, ultrassónico, e laser (Müller and Schmid, 2019).

Um tipo especial de sensores, são os biossensores. Estes tem sua tecnologia de deteção é baseada em recetores de material biológicos, como enzimas, antigénios, hormônios, ou ácidos nucleicos (Müller and Schmid, 2019). Seu esquema de funcionamento pode ser visto na Figura 13.

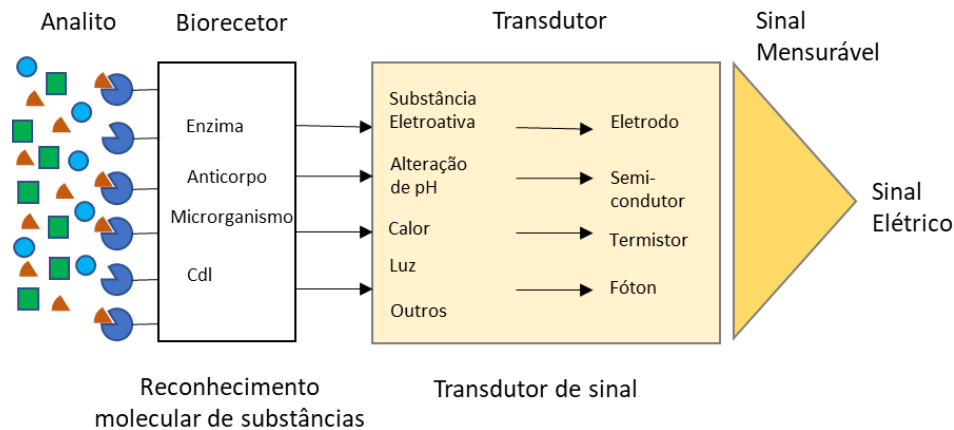


Figura 13 - Desenho esquemático de funcionamento de um Biosensor.

Apesar de ser um ramo muito promissor, os biossensores ainda devem ser aprimorados para a obtenção de resultados satisfatórios. Uma grande dificuldade é medir de forma precisa os marcadores de degradação, diretamente em embalagens fechadas, sem o tratamento prévio da amostra. No estágio atual, a maioria dos biossensores de alimentos ainda precisa de um pré-tratamento da amostra. Os exemplos mais bem sucedidos são para a detecção dos compostos voláteis como a amina e o etileno (Mustafa and Andreescu, 2018).

### 3.3 Data Carriers

Os *Data Carriers* ou portadores de dados, podem ser definidos como dispositivos que facilitam o fluxo de informação na Cadeia de Abastecimento e permite melhorar a qualidade e segurança do produto (Mirza Alizadeh et al., 2020). Portanto, tratam-se de dispositivos que tem sua principal função associada ao controlo, rastreabilidade e automação a nível dos processos, a fim de reduzir custos, furtos e tornar possível um eventual *recall* (Mirza Alizadeh et al., 2020). A tecnologia mais conhecida e amplamente difundida é o *Bar Code*. Esta foi adotada pela indústria, devido a sua facilidade de utilização e baixo custo. O *QR Code* surgiu como uma evolução do *Bar Code*, como um sistema que pode armazenar maior quantidade de informação. O RFID é outra tecnologia que merece destaque, pois liberta a possibilidade de comunicação (leitura e escrita) sem a necessidade de um dispositivo ótico e não precisa estar na linha de visão.

Para além disso, permite a conexão em rede, pode ser associado a sensores e ainda permite maior armazenamento de dados (Wang et al., 2019).

### 3.3.1 Bar Code

O *Bar Code* foi desenvolvido nos anos 70 para ajudar os grandes retalhistas e mercados a controlar os seus produtos e possui apenas uma dimensão (1-D). Neste sistema, a identificação do produto, composta por letras e números, é transformada em um código binário de barras, que são impressas nos produtos. Estas barras, são lidas por *scanners*, que leem e interpretam as barras, considerando o espaçamento entre elas e traduzem o seu código para letras e números novamente. Este sistema funciona de forma integrada a sistemas informáticos e ajuda no controlo logístico dos produtos (Mirza Alizadeh et al., 2020).

Dentre os diferentes padrões adotados pela indústria para o *Bar Code*, destacam-se o *Universal Product Code* (UPC) e o *European Article Number* (EAN). Entretanto, sua capacidade de informação é limitada, o que levou a criação de uma codificação em duas dimensões (2-D) ou *QR Code* (Ahmed et al., 2018; Mirza Alizadeh et al., 2020; Soltani Firouz et al., 2021a).

### 3.3.2 QR Code

O *Bar Code* 2-D, surgiu em 1988. Sua tecnologia continuou a evoluir até o surgimento do padrão *QR Code* ou ainda *Quick Response Code*, como uma solução para a indústria automobilística. Entre suas grandes diferenças em relação ao *Bar Code* 1-D, destaca-se a sua apresentação, que não possui barras e sim por pequenos quadrados e pontos. Também destaca-se a sua elevada capacidade de armazenamento de informações (Soltani Firouz et al., 2021a).



Figura 14 – Diferentes tipos de Bar Codes, comumente utilizadas no mercado. A esquerda, QR Code (2-D), ao centro UPC-A (1-D) e a direita EAN-13 (1-D). Fonte: (FreeBarcode, 2021)

Esta é uma tecnologia transversal a todos os subsectores, cárneos, hortofrutícolas, lácteos e padaria e pastelaria. O QR permite armazenar uma maior quantidade de informações, se comparado a um *Bar Code*. Desta forma, é possível a identificação de um produto de forma individual. Quando um produto possui uma identificação única, é possível garantir sua autenticidade e rastrear sua distribuição. Para além disso, é possível aumentar a interação com o consumidor, de forma a trazer informações específicas sobre aquele produto, de forma individualizada ou ainda trazer links de um website para maiores detalhes sobre o produto. Um outro exemplo de sua utilização, é identificar se um produto está dentro do prazo de validade ou não, de forma rápida e eficiente através do telemóvel ou ainda se o produto está acondicionado dentro da temperatura correta (Djurdjovic et al., 2019).



Figura 15 - QR Code Inteligente. Utiliza tinta Termo cromática e QR Code para identificação da temperatura adequada do produto. Fonte: (Djurdjovic et al., 2019)

A Figura 15 exhibe um *QR Code* associado a um TTI. O TTI foi impresso com uma tinta Termo cromática, de modo a se tornar visível ou invisível quando a etiqueta for exposta a diferentes temperaturas. Com diferentes sensibilidades e com sua disposição estrategicamente definidas, o *QR Code* é então impresso de maneira sobreposta ao TTI. Assim, com a utilização de um telemóvel ou outro dispositivo é possível obter a leitura da temperatura de um produto e saber se ele está devidamente acondicionado (Djurdjovic et al., 2019). Um sistema similar já se encontra disponível no mercado, como é o caso do Smart Dot™, comercializado pela Evigence e pode ser visto na Figura 16.



Figura 16 – Exemplo de Embalagem Inteligente que utiliza QR Code + TTI. Produto Smart Dot™, comercializado pela Evigence.

Por se tratar de uma identificação única do produto, também pode ser implementado em para garantia da autenticidade e evitar furtos e roubos. A Tabela 6 exhibe empresas que oferecem o desenvolvimento e implementação do sistema QR Code.

Tabela 6 – Soluções em QR Code. Rastreabilidade, realidade aumentada e autenticidade.

Fabricante	Descrição
Visual Lead	Rastreabilidade, realidade aumentada, autenticidade.
Beaconstac	Rastreabilidade, realidade aumentada, autenticidade software de controlo na nuvem. Também possui soluções em RFID e NFC.
Blue Bite	É um sistema de embalagem digital de ponta a ponta projetado para aumentar o envolvimento e a lealdade do consumidor. Utiliza RFID e QR Code.

### 3.3.3 Realidade Aumentada

A tendência de digitalização mundial está a mudar os hábitos dos consumidores, e que resulta em mudanças na CAA. Ao mesmo tempo, novas tecnologias podem ser empregadas para aumentar a fidelidade de um consumidor a uma marca (Vanderroost et al., 2017). Na indústria de embalagens, as Embalagens Inteligentes podem ser utilizadas em conjunto com a *Augmented Reality* (AR) ou Realidade Aumentada, como uma visão em tempo real, direta ou indireta do mundo real, que pode ser melhorada ou aumentada pela adição de informações geradas por computador (Djurdjevic et al., 2019).

O uso de AR nas embalagens pode alterar a experiência do consumidor com o produto, e trazer informações objetivas, como o preço, origem, composição, valor nutricional, autenticidade, descontos, entre outros. A experiência do consumidor com o produto também pode relevar informações subjetivas, como comentários, avaliações e sugestões. Para além disso, ainda pode conter informações pertinentes a sugestões de uso, como receitas, por exemplo (Vanderroost et al., 2017). Um exemplo de sua aplicação é ilustrado pela Figura 17, que exibe a maior interação entre o consumidor e um produto através da realidade aumentada, fornecida pela empresa CrownSmart.



Figura 17 - Realidade Aumentada, exemplo de interação com o consumidor. Fonte: (CrownSmart, 2021)

### 3.3.4 Radio Frequency Identification (RFID)

Como suas principais aplicações, destaca-se a maior interação da marca com o cliente, o que agrega valor e aumenta a fidelidade, e que pode utilizar realidade aumentada (Vanderroost et al., 2017). Para além disso, o maior controlo é ideal para aplicações logísticas, desde a produção, transporte, stock, distribuição, retalho e consumo final. Como exemplo de sua aplicação no setor alimentar, destaca-se seu uso no monitoramento individual do gado (Bibi et al., 2017) e sua utilização no monitoramento logístico da cadeia de frio, de forma a garantir o controlo de qualidade do produto ao longo da cadeia de abastecimento, desde o produtor até o consumidor.

Um sistema RFID é composto por vários componentes, tais como antena de comunicação, um chip para identificação única e armazenamento de dados, um leitor para emissão e receção de ondas mediante retroespelhamento da etiqueta de RFID e um computador para armazenar os dados e analisá-los.

As aplicações de RFID podem ser complexas, pois depende não apenas da tecnologia do RFID e seus dispositivos de leitura e gravação. Para além disso, é indispensável a utilização de um sistema informático, que deve estar integrado de forma a gerenciar as informações obtidas através dos sistemas de RFID. Por se tratar de uma identificação única do produto, também pode ser implementado em para garantia da autenticidade e evitar furtos e roubo.



Figura 18 – Sistema funcionamento de um RFID Fonte: (Medium, 2021).

A Figura 19 exibe um desenho esquemático do sistema RFID. Abaixo estão detalhados cada componente do sistema RFID:

- Antena RFID, é usada para a captura e emissão de ondas eletromagnéticas, é feita de um padrão metálico que impõe a frequência de emissão. Uma antena eficiente deve possuir uma impedância que deve casar com a do chip para uma transmissão máxima de energia;
- Chip, contém a o *Electronic Product Code* (EPC) que constitui os bits que codificam as informações sobre o produto. O EPC é único para cada etiqueta RFID e é gravado no momento de sua produção. O chip pode ser *read only*, ou seja, apenas de leitura, ou *read write*, ou seja, permite a leitura e gravação de novos dados.
- *Electronic Product Code* (EPC), é um código que torna cada etiqueta única. Esta característica faz com que um produto associado a uma *Tag* se torne único, o que aumenta sua eficiência em relação ao *Bar Code*, onde é possível identificar o produto, mas não de maneira única. O EPC possui 64 ou 96 bits

e oferece diferentes funcionalidades. Ele possui um cabeçalho, uma classe de objeto e um número serial.

- Leitor, é um dispositivo eletrônico usado para a emissão e recepção das ondas eletromagnéticas. Ele deteta e identifica o ID da *Tag* RFID.
- Computador e sistema informático, é usado para armazenar e gerir as informações adquirida pelos leitores.



Figura 19 – Desenho esquemático da arquitetura de um Sistema RFID.

A Figura 20 exibe uma estrutura típica de uma tag RFID. Nesta, é possível identificar o suporte, normalmente feito de um material autocolante.



Figura 20 - Estrutura típica de uma Tag RFID. Suporte, RFID e Bar Code. Fonte: (eAgile Inc., 2021)

Um sistema de RFID pode ser ainda mais inteligente, com informações pertinentes ao conteúdo da embalagem a respeito de qualidade e integridade, bem como seu ambiente externo, como as condições de transporte e stock. Entretanto, se faz necessário a aquisição de informações como, temperatura, humidade, pH, pressão, exposição a luz, componentes voláteis, gases, etc., (Vanderroost et al., 2014). Estes dispositivos podem ser classificados de acordo com o uso da bateria, como passivos,



semi-passivos e ativos. Ou ainda, podem ser classificados de acordo com sua frequência de trabalho, como *Low Frequency* (LF) (125 a 134 kHz), *High Frequency* (HF) (13,56 MHz), *Ultra High Frequency* (UHF) (860 a 890 Mhz) e *Super High Frequency* (SHF) (2,45 GHz) (Bibi et al., 2017).

#### **3.3.4.1 Passivo**

Neste caso, a *tag* não possui bateria interna e, portanto, é energizado através da onda emissora. Sua taxa de transmissão e sua distância de operação estão de acordo com sua frequência de trabalho, e pode alcançar até 10 metros. Pode-se destacar as vantagens de como baixo custo, longa vida útil, pequenas dimensões e leveza (Bibi et al., 2017).

#### **3.3.4.2 Semi-passivo**

Este tipo de dispositivo, possui uma bateria. Entretanto, esta somente entre em operação quando requisitada, deste modo, a *tag* se comporta como uma *tag* passiva a maior parte do tempo. Em muitos casos, a bateria pode alimentar um chip RFID e eventualmente, um sensor e registrar as informações coletadas em intervalos regulares de tempo. Sua distância máxima pode ser maior que de um RFID passivo. (Bibi et al., 2017).

#### **3.3.4.3 Ativo**

Essas *tags* possuem uma bateria que alimenta o chip de forma independente da onda emissora, e por isso, é um transmissor ativo. As distâncias de leitura são as maiores que os passivos e os semi-passivos, e podem alcançar 30 m ou mais. Permite uma elevada taxa de transmissão e velocidade de leitura / identificação simultânea. Apesar das inúmeras vantagens, estas têm seu o custo mais elevado e grandes dimensões, quando comparadas a uma *tag* passiva.

#### **3.3.4.4 Frequência de operação**

Os sistemas de RFID são caracterizados pela sua frequência de operação. Contudo, o uso da radiofrequência está sujeito a normas e regulamentação.

A comunicação do RFID trabalha com a emissão de ondas eletromagnéticas e sem fios. Existem dois modos principais de interação entre o leitor e a *Tag*:

- Acoplamento indutivo, a transferência de energia é realizada por um campo magnético;
- Acoplamento radiativo, a transferência de energia é realizada por meio de uma onda eletromagnética.

Para além disso, as frequências de operação estão descritas abaixo:

- LF (125 a 134 KHz) tem como sua principal vantagem a baixa interferência em meio líquido e metais;
- HF (13,6 MHz) destaca-se por ter uma distância de operação maior que a LF.
- UHF (860 a 960 MHz) possuem um desempenho em termos de alcance e velocidade de comunicação maior que o LF e o HF. Entretanto, seu desempenho é reduzido devido a água e metais;
- SHF (2,45 a 5,8 GHz) possui a maior taxa de transferência. Entretanto, as *Tags*, possuem um elevado custo e as ondas eletromagnéticas não são capazes de penetrar em água ou metal.

A Tabela 7 exhibe um resumo das informações pertinentes a tecnologia de RFID. Deve-se notar, que a medida que a frequência aumenta, aumentam-se as distâncias de operação e a velocidade de transmissão. Como um efeito negativo, as frequências mais altas sofrem mais interferência de objetos metálicos e líquidos.

*Tabela 7 – Resumo das frequências utilizadas pelo RFID. Fonte: (Bibi et al., 2017)*

<b>Características RFID</b>	<b>LF</b>	<b>HF</b>	<b>UHF</b>	<b>SHF</b>
<b>Frequência</b>	125-134 kHz	13,6 MHz	860-960 860 (Europa)	2,45-5,8 GHz
<b>Tipo de acoplamento</b>	Indutivo	Indutivo	Radiativo	Radiativo
<b>Velocidade de comunicação</b>	Poucos kb/s	~ 100 kb/s	Algumas centenas kb/s	Algumas centenas kb/s
<b>Distância de Leitura</b>	0,2 a 1 m	0,1 a 1,5 m	3 a 15 m	3 a 30 m
<b>Aplicação</b>	Rastreio animal	Cadeia de Frio		Portagens

### 3.3.4.5 Aplicações

Como fatores de elevada importância para determinar a qualidade dos alimentos, destacam-se o controle da humidade, pH e temperatura. Estes três indicadores podem revelar a frescura do alimento. Para alcançar tais funções nas Embalagens Inteligentes, RFID é utilizado associado a sensores (Athauda and Chandra Karmakar, 2019).

Uma abordagem para a miniaturização e, conseqüente, maior difusão do uso de sensores inteligentes nas embalagens é a tecnologia de *Chipless* RFID. Esta tecnologia utiliza a antena ressonante do RFID para armazenar a sua identificação e para a alimentação do sensor, seja ele de pH, humidade, temperatura, gás ou biossensores. Desta forma, não se faz necessário o CHIP de controle e armazenamento de informações, típico de um RFID. A Figura 21 ilustra seu esquema de funcionamento.

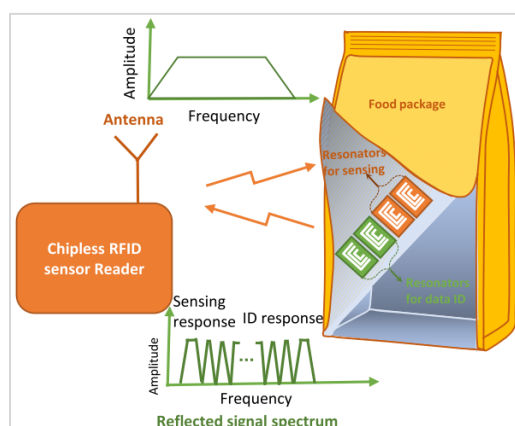


Figura 21 - Diagrama típico de um chipless RFID sensor. Fonte: (Fathi et al., 2020).

Este estudo aponta para uma redução drástica de custos o que permite seu uso em larga escala. Entretanto, apesar de muitos estudos neste sentido, ainda são necessários muitos avanços tecnológicos nas tintas e nas tecnologias de impressão, para que o sistema seja confiável (Fathi et al., 2020).

Popa aponta para o uso do IoT associado ao RFID. Neste caso, o produto se torna uma “coisa”, na Internet das Coisas. Mostra também os dispositivos de monitoramento comercialmente disponíveis, como *dataloggers*, *time-temperature integrators*, *Smart*

*radio frequency identifiers* (Smart-RFID). Dá como exemplo o Zigbee, e demonstra sua implementação com Arduino e sensores, como pressão, temperatura, humidade com sucesso. Entretanto, trata-se de um equipamento maior e, com um custo mais elevado. É indicado para embalagens primárias, secundárias, contentores ou containers. Pode ser utilizado em equipamentos de transporte e, em especial, acondicionados a frio, de maneira a permitir a monitorização em tempo real das condições do produto (Popa et al., 2019).

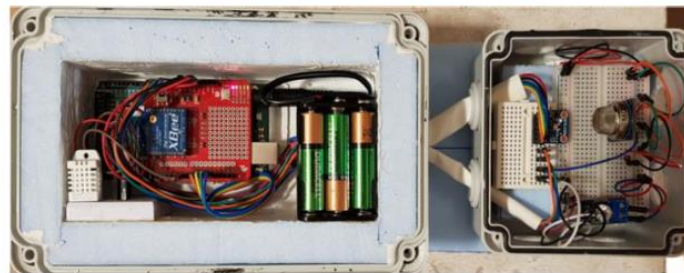


Figura 22 - Sistema de aquisição e controlador dentro da caixa de proteção. Fonte: (Popa et al., 2019)

Também é possível o uso de um sistema Chipless RFID sensor (NFC), para medir a temperatura e pressão, totalmente passivo. Apesar de promissor, ainda precisa de mais estudos. (Nguyen et al., 2019)



Figura 23 – Sistema Chipless RFID sensor (NFC) para monitorização de temperatura e pressão. Fonte: (Nguyen et al., 2019)

Sem dúvida, um setor que encontra maior aplicação para o RFID é a logística. Através do monitoramento de temperatura, vibrações, humidade relativa, entre outros, é possível estimar a vida útil da carga. Estas informações também podem ser utilizadas para determinar se houve alguma situação anormal durante o transporte e assegurar a

entrega do produto em boas condições. Para além disso, através dos dispositivos de rastreio e de identificação automáticas (RFID, *Bar Code*, *QR Code*, NFC) integradas ou montadas em embalagens de alimentos, não só é possível identificar e localizar produtos alimentares a qualquer momento, mas também por quanto tempo eles permaneceram em um determinado local, sob quais condições e independentemente de os pacotes terem sido violados ou não. Esses dados são de grande importância na batalha contra a fraude e podem ser usados para rastrear criminosos em caso de roubo (Vanderroost et al., 2017).

A rastreabilidade pode ser definida, dentro da CAA, como “a capacidade de rastrear e seguir um alimento, ração, animal, produtor de alimentos ou substância destinada a ser, ou que se espera que seja incorporada em um alimento ou ração, em todos os estágios de produção, processamento e distribuição”. Uma rastreabilidade mais sofisticada, através de uma Embalagem Inteligente pode levar a uma maior garantia da qualidade do produto, bem como sua segurança e ainda reduzir as perdas e desperdícios dentro de toda a CAA (Yu et al., 2020). A Figura 24 mostra o desenho esquemático da cadeia logística de um produto alimentar, com base na tecnologia fornecida pela empresa Varcod (Varcod, 2021). De início, é realizada a ativação da *Smart Tag* e, seu registo é realizado em tempo real por sistemas informáticos que armazena todas as informações relevantes tais como, para quem será entregue, qual produto, onde e quando serão entregues, bem como a duração do transporte e o seu status, que pode ser analisado em tempo real. Após a entrega do produto, é possível obter informações através da interação do consumidor final, que com a leitura do *QR Code* pode aceder ao website e preencher um inquérito sobre as condições de entrega, como segurança, por exemplo, e alertar sobre possíveis problemas, e ainda pode fidelizar o cliente com bônus e recompensas. Nota-se que mesmo após a entrega é possível obter informações pertinentes ao rastreio do produto.

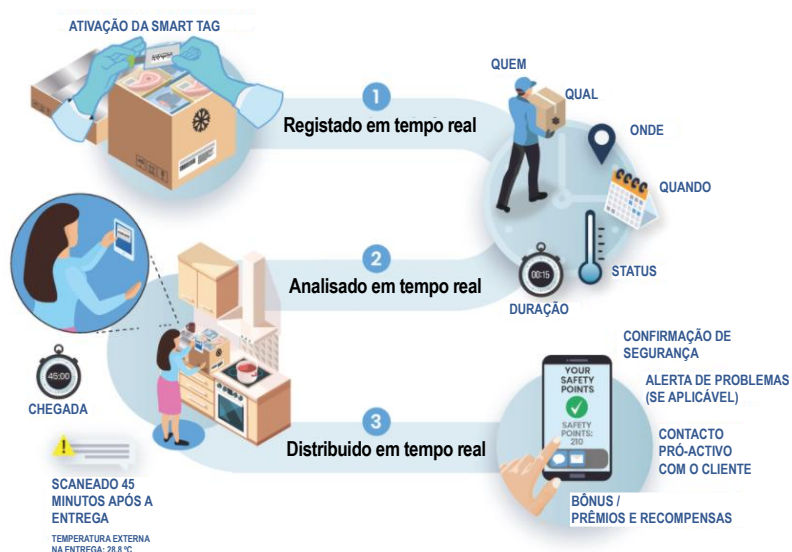


Figura 24 - Desenho esquemático do sistema de rastreabilidade com a utilização da Smart Tag. Adaptado de: (Varcode, 2021).

O uso dos sensores nas Embalagens Inteligentes geralmente está associado ao RFID, e que eventualmente pode estar conectada a Internet, o que transforma um objeto físico em um objeto cyber-físico.

A logística oferece a possibilidade de otimização com base não somente nos dados comuns dos produtos, mas também em dados qualitativos dos produtos. Os alimentos frescos deterioram-se em qualidade com o tempo de acordo com processos bioquímicos complexos que dependem do tipo de alimento, qualidade inicial, temperatura, humidade, vibrações, nível bacteriano e hematomas durante o armazenamento / transporte (Pal and Kant, 2020). Estas informações podem ser registadas em tempo real. Um exemplo deste tipo de controlo é o *Verigo Pod Quality*, por exemplo. Seu sistema pode ser visto na Figura 25 (InnoLabel, 2021).

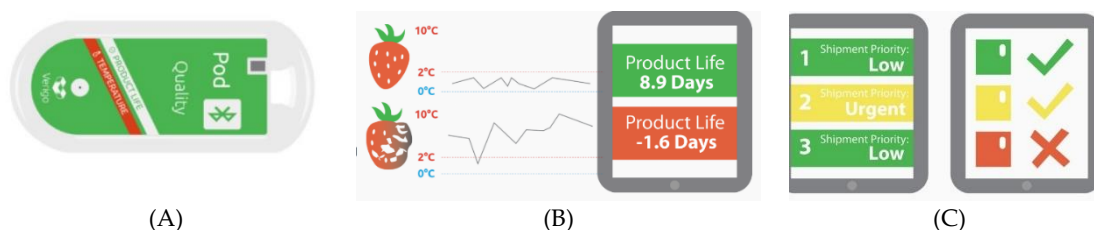


Figura 25 – A) Dispositivo Verigo Pod Quality. B) Sistema de estimativa de vida útil restante do produto. C) Sistema de controlo logístico baseado na qualidade do produto. (InnoLabel, 2021).

O produto pode ser monitorado todo o tempo, e desta forma é possível estimar a vida útil restante do produto, de acordo com suas características e condições as quais este foi submetido na cadeia logística (Pal and Kant, 2020). Assim, todo o processo tem maior visibilidade e transparência. O dispositivo responsável por esta monitorização pode ser visto na Figura 25A.

A Figura 25B mostra a relação entre o decaimento do morango a sua temperatura de armazenamento. Com base nestas informações, é possível estimar a sua vida útil restante. Nota-se que o morango que foi acondicionado entre 0 °C e 2 °C, possui uma estimativa de vida de 8,9 dias. Já o morango acondicionado entre 2 °C e 10 °C já não serve mais para consumo, e apresenta uma estimativa de -2,6 dias. Com base na informação qualitativa, também pode-se tomar decisões logísticas, de forma a priorizar o envio de um produto. A Figura 25C ilustra um sistema de controlo logístico que exhibe as prioridades com base no tempo de vida útil restante de um produto.

Para além disso, é possível auditar toda a cadeia logística, de forma a garantir a qualidade, reduzir as perdas, trazer melhoria contínua no processo e aumentar a confiança do cliente. Este dispositivo também pode ser configurado para quaisquer outros produtos perecíveis de acordo com suas características específicas (InnoLabel, 2021). A Tabela 8 exhibe empresas que oferecem o desenvolvimento e implementação do sistema RFID.

*Tabela 8 – Empresas de soluções em RFID.*

<b>Nome do produto (Fabricante)</b>	<b>Descrição da solução</b>
<b>MaxQ ( Amcor)</b>	É um sistema de embalagem digital de ponta a ponta projetado para aumentar o envolvimento e a lealdade do consumidor.
<b>Analog &amp; Tech</b>	Construção de estratégias de IoT de longo prazo para obter o conhecimento da marca, percepções, relevância contextual, satisfação, eficiência, lealdade, inovação, conversão e garantir a procedência.
<b>LogTag (APP)</b>	Oferece o controlo para assegurar que os produtos alimentares cumprem os parâmetros legais da segurança alimentares, com o registo da temperatura e rastreio.
<b>(BlueBite IoT)</b>	Blue Bite nasceu para mudar a forma como as pessoas interagem com o mundo ligando a informação digital às “coisas” físicas. Utiliza RFID e QR Code.
<b>FershMarx (Avery Dennison Corporation)</b>	As soluções Freshmarx para a indústria de alimentos permitem o controlo de todo o processo, desde a fábrica até a entrega dos produtos.

## 4 Conclusão

Esta revisão bibliográfica compilou informações de diversos artigos pertinentes as Embalagens Inteligentes. Com base nesta literatura, e informações complementares de outros artigos, websites e de fabricantes, foi possível estabelecer critérios de aplicação das tecnologias atuais. Este estudo revelou três subclassificações muito importantes relativas aos tipos de tecnologias aplicadas às embalagens, que são indicadores, sensores e *data carriers*.

Os indicadores mostram-se sistemas de fácil utilização e leitura. Não é preciso nenhum equipamento ou sistema adicional para a sua implementação. Pode ser utilizado em toda a CAA para assegurar a qualidade do produto e também verificar as condições às quais o produto foi submetido ao longo da CAA. Os principais indicadores são *Time-Temperature Integrator e Indicator* (TTI), frescura, gases como oxigénio (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), humidade (vapor de água – H<sub>2</sub>O), etanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O), etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), sulfato de hidrogénio (H<sub>2</sub>S), entre outros gases, e também o pH. Seu baixo custo permite e facilidade de operação permite a aplicação imediata. Sua aplicação deve estar de acordo com cada produto alimentar ao qual se pretende monitorar.

Os sensores e *data carriers* têm suas funções maximizadas quando aplicados conjuntamente, como no caso do *QR Code* que utiliza tinta termo cromática para informar a temperatura que um produto foi submetido e digitalizar esta informação. Ou ainda é possível trazer maior interação com o consumidor através da realidade aumentada com base no *QR Code*. Também foi visto que um simples sensor de temperatura em conjunto com um dispositivo RFID / IoT tem um papel relevante dentro da logística de distribuição, que pode priorizar entregas não apenas com base no roteiro de entregas, mas também em base à qualidade do produto que será entregue ao cliente.

A tecnologia de RFID destaca-se pelo fator de a identificação por rádio frequência não precisar de alcance visual, como é o caso de um indicador, de um *Bar Code* ou um *QR Code*, o que torna muito mais eficiente um controlo logístico de stocks e distribuição.



Uma tecnologia que promete revolucionar e reduzir estes custos é *Printed Electronics*. Entretanto, no momento o seu custo é mais elevado que as outras tecnologias. Para além disso, sua implementação é mais complexa, pois depende de um sistema de RFID, geralmente composto pelas *Tags*, dispositivos de leitura e gravação e sistemas informáticos de gerenciamento das informações. O RFID tem sua maior aplicação em processos logísticos e de rastreabilidade, no geral voltadas a embalagens secundárias ou pallets, ou ainda em embalagens primárias a depender dos custos do produto. A garantia da autenticidade também pode ser conseguida com a utilização de RFID ou *QR Code* individual. Além de todos estes benefícios, ainda pode trazer um maior engajamento do cliente com a marca e fidelização, em especial no caso de realidade aumentada.

As embalagens do futuro não terão apenas as funções de proteger o produto, facilitar sua distribuição e identificar o fabricante, mas sim terão um papel muito relevante em relação à redução das perdas ao longo da CAA e da redução dos desperdícios, em especial ao nível do consumidor, de forma a conscientizá-lo, trazer informações pertinentes sobre como prolongar a vida útil do produto e reduzir seu desperdício.

# Referências

- 3BP, 2021. Food Packaging | Damage Indicating Packaging - 3BP Inc [WWW Document]. URL <https://www.3bpinc.com/applications/food-packaging/> (accessed 8.1.21).
- Acosta-Alba, I., Chia, E., Andrieu, N., 2019. The LCA4CSA framework: Using life cycle assessment to strengthen environmental sustainability analysis of climate smart agriculture options at farm and crop system levels. *Agric. Syst.* 171, 155–170.
- Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Li, Z., Brody, A.L., Qazi, I.M., Lv, L., Pavase, T.R., Khan, M.U., Khan, S., Sun, L., 2018. An overview of smart packaging technologies for monitoring safety and quality of meat and meat products. *Packag. Technol. Sci.* 31, 449–471.
- Athauda, T., Chandra Karmakar, N., 2019. Review of RFID-based sensing in monitoring physical stimuli in smart packaging for food-freshness applications. *Wirel. Power Transf.* 161–174.
- Bekhit, A.E.D.A., Holman, B.W.B., Giteru, S.G., Hopkins, D.L., 2021. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 109, 280–302.
- Bibi, F., Guillaume, C., Gontard, N., Sorli, B., 2017. A review: RFID technology having sensing aptitudes for food industry and their contribution to tracking and monitoring of food products. *Trends Food Sci. Technol.* 62, 91–103.
- Bumbudsanpharoke, N., Ko, S., 2019. Nanomaterial-based optical indicators: Promise, opportunities, and challenges in the development of colorimetric systems for intelligent packaging. *Nano Res.* 12, 489–500.
- Chen, H. zhi, Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. hui, 2019. Development of a novel colorimetric food package label for monitoring lean pork freshness. *Lwt* 99, 43–49.
- Chen, S., Brahma, S., Mackay, J., Cao, C., Aliakbarian, B., 2020. The role of smart packaging system in food supply chain. *J. Food Sci.* 85, 517–525.
- Comunilog, 2021. HIGIENE E SEGURANÇA ALIMENTAR NO SECTOR DAS CARNES - ATUALIZAÇÃO/RECICLAGEM - À DISTÂNCIA | Comunilog [WWW Document]. URL <https://www.comunilog.com/cursos/higiene-e-seguran-alimentar-no-sector-das-carnes-atualiza-oreciclagem-dist-ncia> (accessed 8.1.21).
- CrownSmart, 2021. CrownSmart™ Augmented Reality Packaging | Crown [WWW Document]. URL <https://www.crowncork.com/beverage-packaging/innovations-beverage-cans/crownsmart> (accessed 7.21.21).

- Deltatrak, 2021. Cold Chain Integrity - DeltaTrak [WWW Document]. URL <https://www.deltatrak.com/> (accessed 8.2.21).
- Djurdjevic, S., Novakovic, D., Dedijer, S., Kasikovic, N., Zeljkovic, Z., 2019. Development of Augmented Reality Application for Interactive Smart Materials. MATEC Web Conf. 290, 01002.
- Dong, H., Ling, Z., Zhang, Xun, Zhang, Xueming, Ramaswamy, S., Xu, F., 2020. Smart colorimetric sensing films with high mechanical strength and hydrophobic properties for visual monitoring of shrimp and pork freshness. Sensors Actuators, B Chem. 309, 127752.
- eAgile Inc., 2021. RFID Tags - eAgile Inc. [WWW Document]. URL <https://eagile.com/rfid-tags/> (accessed 8.2.21).
- European Commission, 2020. REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL [WWW Document]. Eur. Clim. Law. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX:52020PC0080> (accessed 3.6.21).
- European Commission, 2021. A European Green Deal | European Commission [WWW Document]. A Eur. Green Deal. URL [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en) (accessed 3.5.21).
- Evigence, 2021. Unit-level Cold Chain Management - Evigence [WWW Document]. URL <https://evigence.com/unit-level-cold-chain-management/> (accessed 8.2.21).
- FAO, 2020. The State of Food and Agriculture 2020, Overcoming water challenges in agriculture. Rome.
- Fathi, P., Karmakar, N.C., Bhattacharya, M., Bhattacharya, S., 2020. Potential Chipless RFID Sensors for Food Packaging Applications: A Review. IEEE Sens. J. 20, 9618–9636.
- FreeBarcode, 2021. Free Online Barcode Generator: QR Code [WWW Document]. URL [https://barcode.tec-it.com/en/QRCode?data=This is a QR Code by TEC-IT](https://barcode.tec-it.com/en/QRCode?data=This+is+a+QR+Code+by+TEC-IT) (accessed 7.21.21).
- Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S., 2016. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. J. Clean. Prod. 114, 11–32.
- Huang, I.Y., Manning, L., James, K.L., Grigoriadis, V., Millington, A., Wood, V., Ward, S., 2021. Food waste management: A review of retailers' business practices and their implications for sustainable value. J. Clean. Prod. 285, 125484.

- InnoLabel, 2021. Innolabel [WWW Document]. URL <https://www.innolabel.eu/en/> (accessed 7.28.21).
- Kalpna, S., Priyadarshini, S.R., Maria Leena, M., Moses, J.A., Anandharamakrishnan, C., 2019. Intelligent packaging: Trends and applications in food systems. *Trends Food Sci. Technol.* 93, 145–157.
- Lu, P., Yang, Y., Liu, R., Liu, X., Ma, J., Wu, M., Wang, S., 2020. Preparation of sugarcane bagasse nanocellulose hydrogel as a colourimetric freshness indicator for intelligent food packaging. *Carbohydr. Polym.* 249, 116831.
- McMillin, K.W., 2017. Advancements in meat packaging. *Meat Sci.* 132, 153–162.
- Medium, 2021. Etiqueta RFID: O que é, como funciona e como implementar | by Helson Santos | Logstore | Medium [WWW Document]. URL <https://medium.com/logstore/etiqueta-rfid-o-que-é-como-funciona-e-como-implmentar-d8f42b9a40aa> (accessed 7.28.21).
- Mirza Alizadeh, A., Masoomian, M., Shakooie, M., Zabihzadeh Khajavi, M., Farhoodi, M., 2020. Trends and applications of intelligent packaging in dairy products: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 0, 1–15.
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, A.D., 2009. PRISMA 2009 Flow Diagram. *Prism. statement.*
- Müller, P., Schmid, M., 2019. Intelligent packaging in the food sector: A brief overview. *Foods* 8.
- Mustafa, F., Andreescu, S., 2018. Chemical and biological sensors for food-quality monitoring and smart packaging. *Foods* 7.
- Nguyen, T.B., Tran, V.T., Chung, W.Y., 2019. Pressure Measurement-Based Method for Battery-Free Food Monitoring Powered by NFC Energy Harvesting. *Sci. Rep.* 9, 2–11.
- Onwude, D.I., Chen, G., Eke-Emezue, N., Kabutey, A., Khaled, A.Y., Sturm, B., 2020. Recent advances in reducing food losses in the supply chain of fresh agricultural produce. *Processes* 8, 1–31.
- Otles, S., Sahyar, B.Y., 2016. Intelligent Food Packaging. *Compr. Anal. Chem.* 74, 377–387.
- Pal, A., Kant, K., 2020. Smart sensing, communication, and control in perishable food supply chain. *ACM Trans. Sens. Networks* 16, 1–41.
- Popa, A., Hnatiuc, M., Paun, M., Geman, O., Hemanth, D.J., Dorcea, D., Son, L.H., Ghita, S., 2019. An intelligent IoT-based food quality monitoring approach using low-cost

sensors. *Symmetry* (Basel). 11.

Poyatos-Racionero, E., Ros-Lis, J.V., Vivancos, J.L., Martínez-Máñez, R., 2018. Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. *J. Clean. Prod.* 172, 3398–3409.

Printed Electronics World, 2021. Simplifying printed electronics | Printed Electronics World [WWW Document]. URL <https://www.printedelectronicsworld.com/articles/11408/simplifying-printed-electronics> (accessed 8.2.21).

Soltani Firouz, M., Mohi-Alden, K., Omid, M., 2021a. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Res. Int.* 141, 110113.

Soltani Firouz, M., Mohi-Alden, K., Omid, M., 2021b. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Res. Int.* 141, 110113.

Spang, E.S., Moreno, L.C., Pace, S.A., Achmon, Y., Donis-Gonzalez, I., Gosliner, W.A., Jablonski-Sheffield, M.P., Abdul Momin, M., Qusted, T.E., Winans, K.S., Tomich, T.P., 2019. Food Loss and Waste: Measurement, Drivers, and Solutions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 44, 117–156.

Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., De Meulenaer, B., 2014. Intelligent food packaging: The next generation. *Trends Food Sci. Technol.* 39, 47–62.

Vanderroost, M., Ragaert, P., Verwaeren, J., De Meulenaer, B., De Baets, B., Devlieghere, F., 2017. The digitization of a food package's life cycle: Existing and emerging computer systems in the logistics and post-logistics phase. *Comput. Ind.* 87, 15–30.

Varcodes, 2021. Temperature Monitoring Solutions Company | Varcodes [WWW Document]. URL <https://www.varcodes.com/about/> (accessed 7.28.21).

Villalobos, J.R., Soto-Silva, W.E., González-Araya, M.C., González-Ramírez, R.G., 2019. Research directions in technology development to support real-time decisions of fresh produce logistics: A review and research agenda. *Comput. Electron. Agric.* 167, 105092.

Wang, L., Wu, Z., Cao, C., 2019. Technologies and fabrication of intelligent packaging for perishable products. *Appl. Sci.* 9.

Yu, Z., Jung, D., Park, S., Hu, Y., Huang, K., Rasco, B.A., Wang, S., Ronholm, J., Lu, X., Chen, J., 2020. Smart traceability for food safety. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 0, 1–12.