

**Avaliação Experimental do Desempenho  
Térmico de Embalagens que Incorporam  
Materiais de Mudança de Fase**

**Fábio André Mateus Rodrigues**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Eletromecânica**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Dinho da Silva  
Coorientador: Prof. Doutor Pedro Dinis Gaspar

**outubro 2023**



## **Declaração de Integridade**

Eu, Fábio André Mateus Rodrigues, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M10986 de Engenharia Eletromecânica da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o Código de Integridades da Universidade da Beira Interior.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 07 /10 /2023

*Fábio André Mateus Rodrigues*



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais, António e Clara, um especial e forte agradecimento pela paciência, dedicação, alegria, sacrifício e pelo incentivo demonstrado, principalmente nas fases mais difíceis deste meu percurso académico.

À minha irmã, Andreia, por toda a ajuda e encorajamento que me foi inculcando e que me permitiram não só alcançar como ultrapassar esta etapa final. Um agradecimento em especial por todas as horas perdidas e pelas sugestões na componente escrita deste trabalho.

A ti Débora Pinho, pelo apoio, paciência, compreensão e incentivo mesmo nos dias mais desafiantes. Um especial agradecimento pelas sugestões fornecidas e por toda a ajuda e suporte dado no decorrer da presente dissertação e não só.

Ao meu Orientador, Professor Doutor Pedro Dinho e ao Coorientador Professor Doutor Pedro Dinis Gaspar pela oportunidade concedida em trabalhar na presente dissertação. As indicações, motivação, sugestões e apoio científico ao longo do presente trabalho foram de extrema importância para a sua realização.

Aos meus amigos, pelo apoio e motivação ao longo deste tempo.

A todos os mencionados e aos restantes que de uma forma ou outra contribuíram para a realização desta dissertação, o meu muito obrigado, sem vocês não seria possível.



## Resumo

Perante o elevado aumento populacional a que estamos a assistir, levantam-se importantes questões na luta pela subsistência de todas as espécies. Este aumento leva a que o consumo de alimentos seja cada vez mais elevado e que, conseqüentemente, mais alimentos tenham de ser plantados, no entanto, quanto mais significativo for este aumento, mais difícil será suportar tal carga no sistema de alimentação, uma vez que os terrenos e a mão de obra são finitos. Uma forma de minimizar este problema passa por reduzir o desperdício alimentar, evitando a deterioração rápida dos alimentos. No caso da fruta, um produto perecível, uma temperatura de acondicionamento perto do ideal é muito importante para que mantenham a totalidade das suas propriedades, uma vez que oscilações da temperatura a que estão sujeitas, reduzem significativamente o seu prazo de validade, que por si só já não é muito dilatado.

O objetivo desta dissertação foi avaliar o desempenho de uma nova caixa de embalagem contendo alvéolos com materiais de mudança de fase (PCM). Durante os testes experimentais e no processo de arrefecimento, os produtos foram colocados dentro de uma câmara de conservação com o *setpoint* definido para 2°C. Os produtos permaneceram no interior da câmara até à sua estabilização térmica. Posteriormente, no processo de aquecimento, foram retirados da câmara e expostos novamente às condições ambientais até atingirem a estabilização térmica. Os estudos foram realizados utilizando embalagens comerciais e um novo protótipo de embalagem. No estudo, foram utilizados alvéolos comerciais e um novo tipo de alvéolo que incorpora PCM (RT8 HC). A partir da evolução da temperatura dos produtos durante os processos de arrefecimento e aquecimento, verificou-se que o novo protótipo de embalagem é particularmente adequado para prolongar a vida útil do produto fora da câmara de armazenamento. Quando utilizado com o alvéolo contendo PCM, os resultados são ainda mais expressivos, permitindo que o produto seja mantido em condições adequadas de conservação por um longo período de tempo.

## Palavras-chave

Caixa de embalagem de frutas, Desempenho térmico, Estudo experimental, PCM, alvéolo.



## **Abstract**

In the face of the high population increase we are attending, important questions arise in the struggle of the species survival. This increase leads to a higher and higher food consumption, consequently, more food need to be planted, however, the most significant this increase became, the most difficult it will be to support such a batch on the food system, since the land and manpower are finite. One way to minimize this problem is reducing food waste by avoiding rapid food spoilage. In the case of fruit, a perishable product, an ideal packaging temperature is very important to maintain all of their properties, since fluctuations in the temperature that they facing, significantly reduce their shelf life, which by itself is no longer very long.

The objective of this dissertation was to evaluate the performance of a new packaging box containing alveoli with phase change materials (PCM). During the experimental tests and in the cooling process, the products were placed inside a conservation chamber with the setpoint set to 2°C. The products remained inside the chamber until its thermal stabilization. Subsequently, in the heating process, they were removed from the chamber and exposed again to environmental conditions until they reached thermal stabilization. The studies were carried out using commercial packaging and a new packaging prototype. In the study, commercial alveoli and a new type of alveolus incorporating PCM (RT8 HC) were used. From the evolution of the temperature of the products during the cooling and heating processes, it was found that the new packaging prototype is particularly suitable for extending the life of the product outside the storage chamber. When used with the alveolus containing PCM, the results are even more expressive, allowing the product to be kept in adequate conditions of conservation for a long period of time.

## **Keywords**

Fruit packing box, Thermal performance, Experimental study, PCM, alveolus.



---

# Índice

<b>Declaração de Integridade</b> .....	iii
<b>Agradecimentos</b> .....	v
<b>Resumo</b> .....	vii
<b>Abstract</b> .....	ix
<b>Índice</b> .....	xi
<b>Lista de Figuras</b> .....	xv
<b>Lista de Tabelas</b> .....	xix
<b>Nomenclatura</b> .....	xxi
<b>1. Introdução</b> .....	1
1.1. Perspetiva geral.....	1
1.2. O problema em estudo e a sua relevância .....	2
1.3. Revisão bibliográfica.....	3
1.4. Objetivos e contribuição da dissertação .....	5
1.5. Visão geral e organização da dissertação .....	6
<b>2. Fundamentos teóricos</b> .....	9
2.1. Introdução .....	9
2.2. Alimentos .....	9
2.2.1. Frutas.....	11
2.2.2. Efeito da fruta na saúde .....	14
2.2.3. Colheita .....	16
2.3. Conservação de alimentos.....	17
2.3.1. Importância da cadeia de frio .....	20

2.3.2.	Arrefecimento .....	30
2.3.3.	Armazenamento .....	33
2.3.4.	Papel das embalagens na conservação de alimentos .....	39
2.4.	Materiais de mudança de fase .....	44
2.4.1.	Sistemas de armazenamento de energia térmica .....	48
2.4.2.	Armazenamento termoquímico .....	50
2.4.3.	Armazenamento de calor sensível .....	51
2.4.4.	Armazenamento de calor latente .....	52
2.4.5.	Propriedades termofísicas .....	55
2.4.6.	Tipos de PCMs .....	56
2.4.7.	PCMs utilizados na conservação de alimentos .....	68
2.5.	Nota conclusiva .....	69
<b>3.</b>	<b>Instalação experimental.....</b>	<b>71</b>
3.1.	Introdução .....	72
3.2.	Câmara de frio.....	72
3.3.	Embalagens.....	74
3.4.	Alvéolos .....	76
3.5.	Simulador de fruto.....	79
3.6.	Equipamento de medição .....	80
3.7.	Nota conclusiva .....	81
<b>4.</b>	<b>Análise e discussão de resultados .....</b>	<b>83</b>
4.1.	Introdução .....	83
4.2.	Estudo comparativo entre embalagens.....	83
4.2.1.	Procedimento experimental .....	84
4.2.2.	Análise de resultado .....	91
4.3.	Estudo comparativo entre PCM .....	98

4.3.1. Procedimento experimental .....	98
4.3.2. Análise de resultados .....	102
4.4. Nota conclusiva.....	105
<b>5. Conclusões.....</b>	<b>107</b>
5.1. Recapitulação.....	107
5.2. Sugestão para trabalho futuro .....	108
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>109</b>



## Lista de Figuras

Figura 1 – Constituição de uma embalagem de cartão, adaptado de fonte: (Raja Blog, 2022). .....	42
Figura 2 - Diferentes métodos de armazenamento de energia, fonte: (Silva, 2020). .....	46
Figura 3 - Relação entre a temperatura e o tempo decorrido do aquecimento de uma substância, fonte: (Silva, 2020). .....	47
Figura 4 – Diferentes tipos de armazenamento de energia térmica, adaptado de fonte: (Silva, 2020). .....	53
Figura 5 - Esquema com diferentes materiais de mudança de fase, adaptado de fonte: (Sousa, 2020). .....	57
Figura 6 - Distribuição dos diferentes tipos de PCM em função da entalpia de fusão, adaptado de fonte: (Tristão, 2014). .....	58
Figura 7 - Comparação da capacidade de armazenamento de calor de diferentes materiais, adaptado de fonte: (Teixeira, 2019). .....	68
Figura 8 - Imagem das entradas de ar no interior da câmara. ....	72
Figura 9 - Algumas características da câmara. ....	73
Figura 10 - Esquema da visão exterior da parte frontal da câmara. ....	73
Figura 11 - Esquema de visão interior do lado direito da câmara. ....	74
Figura 12 - Caixa comercial utilizada. ....	75
Figura 13 – Caixa nova utilizada. ....	76
Figura 14 - Alvéolo comercial utilizado. ....	77
Figura 15 - Alvéolo utilizado que contém PCM. ....	77
Figura 16 - Fotografia real de um simulador de fruta de poliestireno. ....	79
Figura 17 - Simulador de fruto com termopar acoplado. ....	79
Figura 18 - Termopar tipo T, fonte: (Leitão <i>et al.</i> , 2019). .....	80
Figura 19 – Imagem real do equipamento de recolha de dados utilizado ( <i>Logger</i> ). .....	81
Figura 20 - Segunda configuração (um termopar por caixa). .....	84
Figura 21 - Terceira configuração (três termopares por caixa). .....	85
Figura 22 - Esquema da disposição das caixas dentro da câmara. ....	86
Figura 23 - Imagem real do interior da câmara térmica com as duas colunas de caixas. ..	87

Figura 24 - Segunda configuração numa caixa nova e um alvéolo comercial (um termopar por caixa). .....	88
Figura 25 - Terceira configuração numa caixa nova e um alvéolo comercial (três termopares por caixa). .....	88
Figura 26 - Segunda configuração numa caixa nova e um alvéolo com PCM incorporado (um termopar por caixa). .....	89
Figura 27 - Terceira configuração numa caixa nova e um alvéolo com PCM incorporado (três termopares por caixa). .....	89
Figura 28 - Esquema da distribuição das caixas dentro da câmara. ....	90
Figura 29 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento - Ensaio 1. ....	91
Figura 30 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento - Ensaio 1. ...	92
Figura 31 - Variação da temperatura durante o processo de aquecimento - Ensaio 1. ....	93
Figura 32 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento - Ensaio 2. ....	94
Figura 33 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento - termopares 2 e 7 - Ensaio 2. ....	95
Figura 34 - Variação da temperatura durante o processo de aquecimento - termopares 2 e 7 - Ensaio 2. ....	95
Figura 35 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento - Ensaio 3. ....	96
Figura 36 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento - termopares 2 e 7 - Ensaio 3. ....	97
Figura 37 - Variação da temperatura durante o processo de aquecimento - termopares 2 e 7 - Ensaio 3. ....	98
Figura 38 - Configuração 2 de um alvéolo com PCM com 1 termopar (3 <sup>a</sup> linha, 4 <sup>a</sup> coluna). ....	99
Figura 39 - Configuração 3 de um alvéolo com PCM com 3 termopares em que o termopar central está na 3 <sup>a</sup> linha e 4 <sup>a</sup> coluna. ....	100
Figura 40 - Esquema da distribuição das caixas dentro da câmara. ....	101
Figura 41 - Imagem real, no interior da câmara, da coluna utilizada na experiência. ....	102
Figura 42 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento do ensaio com o PCM RT2 HC. ....	103

Figura 43 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento do ensaio com o PCM RT5 HC. .... 103

Figura 44 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento do ensaio com o PCM RT8 HC. .... 104

Figura 45 – Comparação da variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento nos três PCMs - termopar 2..... 105



## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Diferentes tipos de aditivos, fonte: (Dionysio e Meirelles, 2003). .....	19
Tabela 2 - Classificação de microrganismos de acordo com a sua temperatura de crescimento, adaptado de fonte: (Souza <i>et al.</i> , 2013). .....	32
Tabela 3 - Temperatura e humidade relativa para alguns tipos de frutas, adaptado de fonte: (Anese e Fronza, 2015). .....	37
Tabela 4 - Classificação dos tipos de armazenamento de energia, fonte: (Silva, 2021). ....	49
Tabela 5 - Propriedades dos materiais de mudança de fase, adaptado de fonte: (Tristão, 2014). .....	55
Tabela 6 - Diferentes propriedades de parafinas técnicas e puras, adaptado de fonte: (Moreira, 2018). .....	60
Tabela 7 - Diversas propriedades de ácidos gordos, adaptado de fonte: (Moreira, 2018). .....	61
Tabela 8 - Propriedades de dois tipos de ésteres, adaptado de fonte: (Moreira, 2018). ....	62
Tabela 9 – Propriedades de dois álcoois, adaptado de fonte: (Moreira, 2018). .....	63
Tabela 10 - Propriedades de dois Glicóis, adaptado de fonte: (Moreira, 2018). .....	63
Tabela 11 - Vantagens e desvantagens dos diferentes PCMs, adaptado de três fontes: (Gonçalves <i>et al.</i> , 2017; Martins, 2017; Teixeira, 2019). .....	67
Tabela 12 - Características principais dos três PCM utilizados, adaptado de fonte: (RubiTherm, 2022; RubiTherm, 2020; RubiTherm, 2023). .....	78



## **Nomenclatura**

### ***Acrónimos:***

<i>UBI</i>	Universidade da Beira Interior;
<i>PCM</i>	Phase Change Materials;
<i>TES</i>	Thermal Energy Storage;
<i>SHS</i>	Sensible Heat Storage;
<i>LHS</i>	Latent Heat Storage;
<i>PEG</i>	PoliEtilenoGlicol;
<i>FIFO</i>	First in-First out;
<i>RT</i>	Rubi Therm;
<i>MMF</i>	Material de mudança de fase;



## **1. Introdução**

As frutas são uma peça crucial da alimentação humana, pelo facto de contribuírem para o bom funcionamento do organismo. Um organismo que funcione corretamente traz inúmeros benefícios em termos de saúde.

É de conhecimento geral que a degradação das frutas ocorre, mais rapidamente, quando as condições de temperatura não estão nos valores recomendados. O desenvolvimento global e as relações comerciais a nível mundial obrigam a que, cada vez mais, os alimentos, e particularmente as frutas, sejam transportadas por grandes distâncias, após terem sido colhidas e antes de chegarem à mesa dos consumidores. Consequentemente estão sujeitas a inúmeros fatores, um deles é a variação de temperatura, fazendo com que raramente estejam dentro dos valores ideais, estes parâmetros variam consoante o tipo de fruta que se esteja a manusear. Este oscilar de temperaturas, pode levar a um aumento do desperdício alimentar, que se traduz numa ineficiência da cadeia alimentar/cadeia de distribuição, sendo por isto importante estudar e aperfeiçoar os métodos usados no seu manuseamento de forma a melhorar as condições a que são sujeitos os alimentos.

### **1.1. Perspetiva geral**

Longe vai o tempo em que os alimentos produzidos eram consumidos numa área muito próxima à do local de produção. A evolução das relações comerciais entre países, aliada à evolução e mobilidade da humanidade, levou ao aumento da sua exigência alimentar, bem como à procura de alguns alimentos considerados não nativos.

A conservação da fruta é um tópico de importância crescente na sociedade moderna, à medida que as questões de segurança alimentar, desperdício de alimentos e a busca por uma alimentação saudável e equilibrada ganham destaque. Seja por métodos tradicionais como secagem e enlatamento ou por meio de tecnologias avançadas, como

refrigeração e atmosfera modificada, desempenha um papel crucial em tornar as frutas disponíveis e acessíveis ao longo do ano.

O desenvolvimento e modernização dos meios de transporte, em junção com a necessidade gerada pelo desenvolvimento da humanidade, levou a que os alimentos passassem a ser consumidos em pontos cada vez mais afastados dos locais de cultivo. No sentido de fazer face a esta procura, com o decorrer dos anos foi essencial estudar e desenvolver formas inovadoras de preservar os alimentos, contornando as condições adversas enfrentadas no decorrer do seu transporte, para que chegassem ao seu destino em condições de conservação ideais para serem consumidos.

Uma grande melhoria, ocorrida ao nível do transporte, foi a retardação do envelhecimento dos alimentos por interposto de uma diminuição da temperatura a que são transportados. Este processo ocorre, quer por intermédio de câmaras frigoríficas durante o transporte, quer por via das câmaras de armazenamento, levando a um aumento significativo do tempo útil de consumo dos produtos, bem como à diminuição do desperdício alimentar, levando também a um aumento da distância que esses alimentos podem percorrer, em perfeitas condições, até aos consumidores.

Estes avanços levaram a que passasse a ser possível fazer trocas de alimentos mais sensíveis e com riscos de danos (alimentos perecíveis) em todas as estações do ano e para qualquer ponto do globo aumentando o leque de opções disponíveis para os consumidores.

### **1.2. O problema em estudo e a sua relevância**

O desperdício de alimentos é um problema crítico em todo o mundo, com implicações económicas, ambientais e sociais. A conservação da fruta desempenha um papel fundamental na mitigação desse desperdício, ajudando a preservar a sua vida útil e a manter a oferta de alimentos saudáveis para a população.

A fruta é uma parte essencial de uma dieta saudável, rica em vitaminas, minerais e antioxidantes que promovem a saúde. No entanto, é um alimento perecível que se pode deteriorar rapidamente após a colheita, resultando num desperdício, significativo, de alimentos. Para além disto, a produção em grande escala e a distribuição global de frutas

enfrentam desafios logísticos, como transporte de longa distância e armazenamento em condições adequadas, com o objetivo de manter a qualidade e segurança dos alimentos.

Neste estudo, explorar-se-á em detalhe as razões pelas quais a conservação da fruta é um tópico importante, abordando questões de segurança alimentar, sustentabilidade, saúde pública e economia global. A compreensão das complexidades da conservação da fruta é essencial para abordar os desafios atuais relacionados com a produção, distribuição e consumo de alimentos frescos em todo o mundo.

Após a colheita das frutas é necessário preservar as suas qualidades e prolongar o seu tempo de vida, para tal deve-se arrefecer os produtos o mais rápido possível e conservar essa temperatura considerada ideal o máximo de tempo possível. Para que isto aconteça é importante que toda a cadeia de armazenamento e conservação funcione com o mínimo de falhas possível, e ainda que ocorra algum contratempo, existam mecanismos de proteção, capazes de minimizar os efeitos negativos nos alimentos.

Tendo isso em consideração, é de extrema importância o estudo e desenvolvimento de métodos capazes de reduzir os danos causados pela falta ou falha de um ambiente controlado.

### **1.3. Revisão bibliográfica**

A melhoria das condições de armazenamento é um tema que tem vindo a ser estudado e aprofundado ao longo do tempo, através da contribuição de vários autores, que desenvolveram vários estudos e teorias. Com a finalidade de aumentar a qualidade e a vida útil dos alimentos que sofrem degradação da sua qualidade nos processos de armazenamento e transporte a que estão sujeitos, neste subcapítulo é apresentada uma pequena revisão bibliográfica, referindo trabalhos relevantes, para o estudo do tema referido.

Segundo Gin e Farid (2010), o uso de materiais de mudança de fase (PCM – *Phase Change Materials*) para melhorar as condições de armazenamento dos alimentos congelados, onde o objetivo principal de estudo era investigar o efeito dos PCM acoplados às paredes internas de um frigorífico, durante perdas de energia a cada 24 h, por um período de 2 semanas (Silva, 2020).

Oró *et al.* (2012) efetuaram a análise térmica de uma unidade de armazenamento, a baixa temperatura, usando materiais de mudança de fase, sem sistema de refrigeração, que teve como objetivo avaliar a resposta térmica, de câmaras de abertura. Os testes foram feitos incorporando PCMs com baixa temperatura de congelamento, submetendo-as a uma falha do sistema de refrigeração. Isto é para simular alimentos transportados em camiões ou carrinhas não-refrigeradas (Silva, 2020).

Pakalka *et al.* (2017) avaliaram uma operação eficiente e económica do armazenamento de energia térmica e diferentes conceitos de projeto para integrar o PCM no comutador/acumulador de calor a serem investigados (Silva, 2020).

Cunha e Eames (2016) realizaram uma revisão abrangente dos PCMs, com temperaturas de transição de fase entre 0°C e 250°C, aplicados ao armazenamento de energia térmica, para aplicações a baixa e média temperatura (Silva, 2020).

Embalagem “ativa” para proteção térmica de produtos alimentares segundo Espeau *et al.* (1997), onde os recipientes de parede dupla que utilizam materiais de mudança de fase de liga molecular são propostos como embalagens para proteção térmica de produtos alimentícios líquidos (Silva, 2020).

Xie *et al.* (2016) realizaram uma investigação analisando o desenvolvimento de PCMs orgânicos e inorgânico-orgânico, caracterizando as vantagens e desvantagens dos PCMs analisados e desenvolvendo uma mudança de fase do armazenamento a frio por meio de um material composto (Silva, 2020).

Melone *et al.* (2012) estudaram materiais compostos celulósicos para o armazenamento a frio de produtos perecíveis. Propuseram o uso de PCMs compostos para o projeto de armazenagem a frio de embalagem, onde foi demonstrada a possibilidade de obter compósitos com diferentes aquecedores latentes na faixa de 4-10 °C através de medições de calorimetria diferencial de varredura. Muitos outros estudos estão a ser desenvolvidos sobre o uso de PCM na agroindústria devido à sua elevada possibilidade de armazenamento de energia (Silva, 2020).

Segundo Curto *et al.* (2019) o efeito da adição de elementos PCM na conservação de alimentos é claramente demonstrado pela manutenção de temperaturas mais baixas quando os simuladores de frutas são expostos a condições abaixo do ideal. Este efeito é

notório desde o início e mantém-se durante um período significativo, portanto, torna-se vantajoso no manuseamento de produtos.

Leitão *et al.* (2019) indicaram que o uso de PCM é uma boa solução para remover de forma mais rápida o calor dos frutos colhidos durante as horas mais quentes.

Os resultados obtidos no estudo de Madhan *et al.* (2021) relataram que os alvéolos de folha de alumínio são mais adequados para melhorar a transferência de calor nas caixas de embalagem, com e sem PCM. Portanto, a inclusão de materiais de mudança de fase dentro das caixas de embalagem, embora aumente um pouco o tempo gasto na câmara fria, é um método eficaz para retardar o aquecimento que ocorre quando as embalagens são retiradas da câmara e expostas às condições ambientais.

Os estudos de Leitão *et al.* (2021) concluem que o PCM ajuda a manter a temperatura ideal de conservação num momento inicial, no entanto, deve ser ajustado para cada aplicação. O aspeto positivo dos PCMs é a sua ampla variedade de aplicações de temperatura, portanto, estudar em que temperatura os alimentos devem ser armazenados é importante para escolher o PCM apropriado.

A modelação computacional é uma abordagem complementar à experimental, mas, em concordância com Leungtongkum *et al.* (2022) é mais complicada de desenvolver. Usando modelação, é possível prever resultados sob condições de operação inexploradas, por exemplo, temperatura ambiente, duração do transporte, período de armazenamento, tipo de carga e a sua temperatura inicial. De acordo com o conhecimento dos autores, ainda não foi comercializada uma caixa isolante equipada com ventilador, o que permitiria o fluxo de ar por convecção forçada no interior da caixa, e assim a temperatura seria mais homogênea.

É no seguimento dos trabalhos anteriores que se pretende incidir o foco do presente trabalho de forma a aprofundar o tema.

#### **1.4. Objetivos e contribuição da dissertação**

A presente dissertação tem como objetivo perceber a importância dos materiais de mudança de fase na conservação dos alimentos, mais concretamente no caso das frutas. O estudo será realizado com base nas informações recolhidas, através da realização de ensaios experimentais.

Este estudo surge da necessidade de preservar os alimentos (perecíveis), evitando assim a sua degradação antes de serem consumidos, garantindo a sua qualidade até chegar ao consumidor final, combatendo, desta forma o desperdício alimentar e a diminuição da qualidade da alimentação das populações.

Concretamente neste estudo, o objetivo passa por avaliar o desempenho de uma embalagem contendo alvéolos com PCMs, pretendendo-se analisar os resultados obtidos nos estudos experimentais realizados e conseqüentemente perceber a sua relevância na conservação dos alimentos. O objetivo principal será minimizar o efeito negativo que as variações de calor acarretam para a qualidade da fruta, aumentando assim o seu tempo de vida útil, levando à diminuição do desperdício alimentar.

### **1.5. Visão geral e organização da dissertação**

A presente dissertação é composta por cinco capítulos distintos. O primeiro capítulo faz uma breve introdução ao tema que vai ser desenvolvido nos capítulos seguintes. É composto pela perspectiva geral, pelo problema em estudo e a relevância do seu estudo. Na revisão bibliográfica são apresentados alguns trabalhos de outros autores sobre os temas abordados. De forma conclusiva foram expostos os objetivos e contribuição da dissertação.

No capítulo 2 são apresentados os fundamentos teóricos relativamente aos alimentos, à sua conservação e aos materiais de mudança de fase. É introduzido o tema da fruta, os seus efeitos na saúde e a sua colheita. Após a colheita, é definida a importância da cadeia de frio, bem como o arrefecimento, armazenamento e o papel das embalagens na conservação dos alimentos. Por fim são definidos os materiais de mudança de fase, explicitando os diferentes sistemas de armazenamento de energia térmica, de armazenamento termoquímico, de calor sensível e de calor latente. Para finalizar são apresentadas as propriedades termofísicas bem como os tipos de PCMs usados na conservação de alimentos.

No capítulo 3 é feita a introdução da experiência onde são apresentadas as instalações experimentais realizadas. Para isto são explicados, de forma mais detalhada, todos os elementos envolvidos na realização dos ensaios. Ou seja, é descrita a câmara de frio, as embalagens, os alvéolos, os simuladores de fruto e por fim os equipamentos de medição.

Em todos estes tópicos são apresentadas esquematizações e ilustrações de forma a tornar a informação mais perceptível e intuitiva.

No capítulo 4, intitulado de análise e discussão de resultados, são usados os dados obtidos pela recolha, bem como os parâmetros definidos na experiência, para fazer um estudo comparativo entre as embalagens e os diferentes PCMs. Para esta finalidade, em cada um dos objetos de estudo, embalagens e PCMs, é descrito o procedimento experimental e é realizada uma análise dos resultados.

A dissertação encerra com o capítulo 5 onde é feita uma recapitulação de todo o trabalho desenvolvido, são apresentadas as conclusões obtidas e as sugestões para a realização de trabalhos futuros.



## **2. Fundamentos teóricos**

### **2.1. Introdução**

No presente capítulo vai ser estudado o papel dos alimentos na nossa saúde, bem como a importância da qualidade destes. No caso deste trabalho, o foco são as frutas, por isso são expostos os seus efeitos e benefícios na saúde e os métodos de colheita a que estão sujeitas, bem como algumas características, que possuem, e que é necessário ter em conta no processo de acondicionamento e armazenamento, quer ao nível do processo de maturação como da degradação. A conservação dos alimentos é importante na manutenção das suas qualidades físico-químicas e fisiológicas, das quais depende a qualidade do produto e o aspeto.

Na conservação dos alimentos é referida a importância da cadeia de frio, do arrefecimento e do papel que as embalagens desempenham nesta. Devido à importância do correto armazenamento e conservação das frutas, é estudado o papel que os materiais de mudança de fase podem desempenhar quando implementados em elementos usados para acondicionamento e transporte alimentar. Dentro dos materiais de mudança de fase são definidos os sistemas de armazenamento de energia térmica, termoquímica, de calor sensível e latente. São explicadas as suas propriedades termofísicas e enumerados alguns tipos de PCMs usados na conservação de alimentos.

### **2.2. Alimentos**

A importância da qualidade dos alimentos ingeridos diariamente não é algo de que a humanidade esteja completamente ciente. Na verdade, o que para alguns é algo prazeroso, para outros não passa de uma obrigação que tem como único objetivo a saciedade. A alimentação é, de facto, um fator essencial para a condição de vida humana, do ponto de vista biológico, os alimentos são uma fonte essencial para fornecer ao corpo humano energia, vitaminas, minerais e outros nutrientes essenciais para que seja

assegurado o bom funcionamento do organismo e dessa forma a subsistência da humanidade.

A alimentação fornece ao corpo humano energia que depois é utilizada para oferecer sustento para se conseguir realizar, não só tarefas relacionadas com as necessidades básicas, como todas as outras a que se está sujeito por serem aprazíveis.

Além da importância já referida, é também importante falar de toda a componente social que está presente na alimentação e em tudo o que a rodeia, uma vez que também tem uma grande força no que toca a criar laços e momentos. De facto, uma mesa cheia de pessoas continua a ser a melhor rede social, em todo o mundo existem eventos gastronómicos que de uma maneira ou de outra, trazem consigo o sabor quer da tradição quer do que é mais atual ou do futuro. O sabor experimentado pode em alguns casos transportar o seu consumidor, para um outro nível, tendo a capacidade de lhe recordar boas memórias de outras épocas.

Os alimentos carregam, de facto, uma grande conotação social, tendo um grande poder interpessoal e civilizacional.

Recuando aos primórdios da história humana, sabe-se que os alimentos foram muito importantes no que toca às características da espécie humana tal e qual como atualmente é conhecida, numa fase inicial, a procura por alimento, obrigava os seres humanos a deslocarem-se largas distâncias para conseguirem ter disponibilidade de alimentos o ano todo, rotulando-os de nómadas.

Estes povos, como não conseguiam ter uma habitação fixa perdiam muito tempo em deslocações, para procurar as frutas ou plantas que precisavam colher, ou para acompanhar as movimentações de animais que eventualmente quisessem caçar. Posteriormente a capacidade adquirida pelos nómadas em cultivar a terra, teve uma grande influência no surgimento de povos com habitação fixa, dado que com essas capacidades já lhes era possível aceder aos alimentos essenciais para assegurar as suas necessidades alimentares, o que ajudou no surgimento de civilizações.

Com o passar do tempo, as diferentes culturas e ingredientes locais deram origem a formas de alimentação únicas, tornando-se fácil perceber que a alimentação não tem apenas o objetivo de ser nutritiva, mas também tem uma expressão cultural, sendo um meio de divulgação de tradições e de aproximação de pessoas. Assim sendo é fácil

perceber que a alimentação, desempenhou e continua a desempenhar um papel central na vida humana atual, assim como desempenhou na vida dos nossos antepassados.

Apesar de tudo, a alimentação não tem só aspetos positivos uma vez que, dependendo do tipo de alimentos ingeridos, o impacto na saúde e bem-estar pode ser negativo. Como consequência, de uma dieta rica em alimentos processados, tais como açúcares e gorduras não saudáveis pode originar uma sucessão de problemas de saúde, das quais são exemplo doenças cardíacas e obesidade. Em contrapartida, uma dieta abundante em frutas, vegetais e proteínas magras pode ajudar a manter tanto a saúde como o peso saudável, diminuindo, conseqüentemente o risco de doenças crónicas e melhorando o bem-estar geral.

Outro possível aspeto negativo é o impacto ambiental que lhe pode estar associado, sendo que muitas vezes para que exista proliferação de alimentos, outras espécies têm de sofrer uma diminuição da sua quantidade, o que pode pôr em causa a continuidade da espécie e a sustentabilidade ambiental. A desflorestação é um bom exemplo dessa situação. O cultivo intensivo leva à degradação dos solos e ao esgotamento dos recursos hídricos, fator que cada vez é menos aceite socialmente, uma vez que existe uma maior consciencialização das pessoas relativamente ao impacto ambiental dessas atividades. Tal como existem diversos fatores que contribuem para o impacto negativo no meio ambiente, também existem ações que têm o efeito contrário, uma delas é a redução ao máximo do desperdício alimentar. Esta tarefa pode ser alcançada mais facilmente com a consciencialização dos consumidores para o peso das suas escolhas, que tendo esse objetivo em mente são levados a adotar hábitos alimentares mais sustentáveis, dos quais pode ser um bom exemplo a preferência pelos produtos sazonais e locais.

### **2.2.1. Frutas**

Como foi previamente referido, a alimentação tem uma grande relevância na vida de cada ser vivo. Não é à toa que muitas vezes se ouve que “*somos o que comemos*”, esta expressão popular reflete bem a importância que está implícita aos alimentos. Sendo assim é de fácil compreensão que dependendo das diferentes fontes de energia utilizadas assim vai ser a nossa resposta para assegurar quer as funções vitais, quer as não vitais.

Na busca de uma boa nutrição, é muito importante ter uma alimentação variada e equilibrada, uma vez que sem a quantidade necessária de variedade alimentar, não é

possível ingerir todas as vitaminas, nas quantidades recomendadas para que o organismo humano tenha um funcionamento regular. Apenas um organismo funcional garante um bom desempenho das atividades diárias, daí a ingestão de alimentos de qualidade ser tão importante para que o organismo possa absorver as vitaminas necessárias.

A fruta é um dos alimentos necessários ao organismo, sendo recomendado que seja ingerida tanto após as refeições principais servindo como complemento, como no caso das refeições mais pequenas, meio da manhã e meio da tarde, como alimento principal, devido às suas propriedades.

Existem muitas variedades de frutas, entre elas as maçãs, peras, pêssegos, cerejas e romã todas elas com características diferenciadoras, que podem ser adaptadas a diferentes tipos de preferências e épocas do ano. As frutas podem ser ingeridas no seu estado natural ou após passarem por processos de transformação como em sumos ou geleias ou desidratadas, esta versatilidade aliada ao aumento populacional leva a que cada vez mais frutas sejam ingeridas.

O fruto origina-se a partir da polinização e fecundação do óvulo da flor, onde surgem estímulos hormonais que induzem ao desenvolvimento do ovário ou outra parte da flor, como o recetáculo floral, que depois de se desenvolverem vão dar origem aos frutos. Para que a fruta chegue ao ponto de ser consumida diversas fases têm de ser ultrapassadas, relativamente ao seu crescimento podem ser consideradas quatro fases, são elas: crescimento, maturação, amadurecimento e senescência. Os estudos nestas áreas dão a entender que não é possível estabelecer uma divisão entre fases, podendo o fruto ainda não ter concluído a etapa de crescimento e já estar no processo de maturação (Anese e Fronza, 2015).

No crescimento do fruto que ocorre quando este ainda se encontra ligado à planta que lhe deu origem, o mesmo recebe os açúcares gerados pela fotossíntese, que se acumulam no fruto. Nesta fase o fruto aumenta o seu peso, uma vez que ocorre a divisão celular e o aumento do tamanho das células. O crescimento é condicionado pela envolvente a que está sujeito, o fruto terá proporções diferentes mediante as condições de água, nutrientes e luz (Anese e Fronza, 2015).

Na maturação ocorrem processos fisiológicos (principalmente respiração e produção de etileno) que fazem com que o fruto altere as suas características com o objetivo de o

tornar comestível. Estas características são a maior concentração de açúcares, tornando o fruto mais doce, e de ácidos, conferindo um melhor sabor e mudanças na coloração. Durante a maturação, o crescimento do fruto continua, porém, a uma velocidade menor (Anese e Fronza, 2015).

O amadurecimento é uma das etapas finais no desenvolvimento do fruto. Nesta fase, ocorre uma aceleração ainda maior no metabolismo do fruto que o torna apto para o consumo humano. De maneira geral, os processos que ocorrem na maturação são acentuados. Esses processos são induzidos pelo etileno e pela alta taxa respiratória do fruto (Anese e Fronza, 2015).

O etileno é um composto orgânico simples proveniente do metabolismo das plantas que desempenha um papel significativo no processo de amadurecimento. Atua como uma molécula sinalizadora nas plantas e ajuda a regular várias alterações fisiológicas associadas ao desenvolvimento e amadurecimento dos frutos. É produzido por todos os tecidos vegetais e por diversos microrganismos. Tem como principais funções: regular o crescimento, desenvolvimento e senescência dos vegetais (Costa, 2017).

Geralmente, a taxa de produção de etileno aumenta em simultâneo com o aumento da taxa de respiração, a maturação, a incidência dos danos físicos, o aumento de temperatura, as doenças e infeções com agentes patogénicos. Por outro lado, a taxa de produção de etileno é reduzida em armazenamentos de baixa temperatura com teores de oxigénio reduzido (2%) (Ribeiro, 2013).

O etileno produzido por uma fruta que está armazenada vai influenciar as frutas vizinhas, pois o etileno libertado por uma fruta pode estimular o amadurecimento de outras e assim acelerar a sua deterioração. Mas o etileno não tem só efeitos indesejáveis, pois a sua utilização também pode ter privilégios quando utilizado propositadamente para agilizar o processo de amadurecimento dos frutos climatéricos, podendo assim ser um bom aliado dos métodos de armazenamento.

Os frutos quanto ao seu amadurecimento podem ser divididos em dois tipos: os climatéricos e os não climatéricos. Esta divisão tem em consideração uma característica ambígua, uma vez que pode ser muito benéfica ou prejudicial para o consumo do fruto, o seu amadurecimento. Se após a colheita o processo de amadurecimento para, estamos perante um fruto não climatérico tendo estes frutos de ser colhidos quando tiverem o ciclo de amadurecimento completo, ou seja, quando estiverem no ponto ideal para

consumo, são exemplo deste tipo de frutos, as uvas, os limões e as laranjas. Por outro lado, se após a colheita os frutos continuarem a amadurecer, é porque estamos perante um fruto climatérico, neste caso podem ser colhidos antes do seu ponto certo para ser consumido dependendo da data da sua utilização, exemplos destas frutas são a banana, a manga, a pera e a maçã.

A respiração da célula é importante para a obtenção de energia para o fruto continuar vivo após a colheita. Quando o fruto respira, há consumo das reservas de açúcares acumulados durante o seu crescimento. Tanto a respiração quanto a produção de etileno são influenciadas pela temperatura. Quando os frutos são mantidos à temperatura ambiente (até 35°C) a respiração e produção de etileno são elevadas, causando o rápido amadurecimento. Já na transpiração ocorre a perda de água dos frutos. Quando as frutas amadurecem e são colhidas, a transpiração não pode ser excessiva para evitar a perda de peso e desidratação dos produtos (Anese e Fronza, 2015).

Com o avanço do amadurecimento a resistência dos frutos a agentes patogénicos diminui, causando a podridão, que é a principal causa de perda de frutos em pós-colheita. A senescência é a última fase de desenvolvimento do fruto. Esta fase pode ser caracterizada como o envelhecimento e morte dos tecidos do fruto. As transformações que ocorrem nesta fase degradam os compostos de reserva que são principalmente açúcares, ácidos e vitaminas. É um processo irreversível, no entanto pode ser atrasado através da utilização de técnicas de armazenamento (Anese e Fronza, 2015).

### **2.2.2. Efeito da fruta na saúde**

Como já foi referido anteriormente, uma alimentação variada é de extrema importância para um organismo saudável, uma vez que só assim conseguimos dar ao corpo humano os nutrientes necessários para o regular funcionamento do metabolismo. A falta de alguns nutrientes pode mesmo causar um desequilíbrio tal no organismo que pode levar à manifestação de doenças, doenças essas que podem, não só prejudicar o correto funcionamento do organismo, como podem, no limiar causar morte.

O termo alimentação variada, sugere a ingestão de diversos alimentos, estes alimentos estão divididos em 7 grupos com dimensões e importância diferentes, dos quais fazem parte (ASAE, s.d.):

- Cereais e derivados, tubérculos - 28%
- Hortícolas - 23%
- Fruta - 20%
- Lacticínios - 18%
- Carnes, pescado e ovos - 5%
- Leguminosas - 4%
- Gorduras e óleos - 2%

É facilmente perceptível pelas percentagens apresentadas que a fruta tem uma importância vital na alimentação humana contribuindo em larga escala para o normal funcionamento do corpo, de facto, as frutas são essenciais numa dieta saudável e desempenham um papel fundamental na nutrição e saúde humana, uma vez que são uma grande fonte de vitaminas, minerais e antioxidantes. Os antioxidantes, por exemplo, podem reduzir a inflamação do corpo e ajudam a neutralizar os radicais livres nocivos que podem causar danos nas células e tecidos.

As frutas são também fonte de ácido fólico, ferro, vitamina A e C, e potássio. No caso destas últimas em concreto, a vitamina C ajuda a manter um sistema imunológico saudável e tem um papel importante na produção de colagénio que tem influência direta na saúde da pele, cabelo e unhas, já o potássio ajuda a regular a pressão arterial e prevenir doenças cardíacas.

As frutas apresentam um alto valor de água, baixo valor em calorias e são uma excelente fonte de açúcares naturais, que podem ajudar a satisfazer o desejo por doces sem necessidade de adicionar calorias e ingredientes artificiais que são encontrados em alimentos processados. São, por isso, uma excelente opção para quem esteja a tentar perder peso ou apenas para a manutenção de um peso saudável.

As fibras presentes nas frutas são, por outro lado, relevantes para manter uma digestão saudável e reduzir os níveis de colesterol no sangue, o que pode ajudar a prevenir doenças cardiovasculares.

No que toca à prevenção de doenças, as frutas evitam tanto o desenvolvimento como o crescimento de células cancerígenas no corpo. Tendo em conta a sua importância e os seus benefícios para a saúde geral dos seres humanos é normal que ela seja consumida com regularidade em todos o mundo. Todavia, para que se faça chegar a fruta o mais longe possível, nas melhores condições de consumo, existem diversos aspetos a melhorar, com o intuito de maximizar o seu tempo de vida útil de consumo, tentando reduzir ao máximo a sua pegada ecológica, tanto na produção como no transporte, evitando, essencialmente o desperdício alimentar.

### **2.2.3. Colheita**

A colheita é uma etapa muito importante para o ciclo da fruta, por um lado porque é a partir dela que se conseguem extrair os frutos de cada planta, mas também porque é a colheita que vai condicionar toda a cadeia de distribuição, afetando de forma direta o consumo. Quando se fala em colheita é preciso ter em conta que o tipo de fruta e o fim a que se destina são um fator determinante para decidir a altura correta para se avançar com a colheita, uma vez que mediante o objetivo de consumo final, ao natural ou processado, tem que ser colhida em estados de maturação diferentes para que se evite o desperdício, tirando daí a maior rentabilidade possível.

O tipo de fruta tem uma grande influência, tanto no tempo em que se vai conseguir conservar no período de pós-colheita como na altura em que se fará a colheita.

Os frutos climatéricos, pelas suas características, podem ser colhidos mais cedo, tendo assim mais tempo de pós colheita, uma vez que, mesmo sendo colhidos ainda verdes são capazes de amadurecer tal como se estivessem agarrados à planta. Esta capacidade permite reduzir o tempo durante o qual estão expostos a fatores externos, tal como fatores climáticos, através da antecipação da colheita.

Por outro lado, as frutas não climatéricas, não dispendo desta façanha, não lhes é permitida uma colheita precoce, são colhidos apenas quando o fruto já se encontra maduro, uma vez que o seu atraso ou antecipação podem ter um efeito negativo na qualidade do fruto e conseqüentemente na sua desvalorização. Se for colhido ainda verde, já não vai amadurecer, mantendo a acidez e a cor, se a colheita for tardia, o efeito vai ser visível na consistência, e tempo de conservação, que são ambos fatores que vão aumentar a sensibilidade no seu manuseio. Neste tipo de frutas existe um risco maior de

erro na hora da colheita, uma vez que facilmente a fruta pode passar do estado ideal para ser colhida e tornar-se menos apelativa para os consumidores finais, levando à sua desvalorização e possivelmente ao desperdício alimentar.

Para que a colheita seja bem-sucedida é necessário ter algumas precauções (Barrau, 2020):

- Colher os frutos sãos, em estado de maturação adequado (preferencialmente estado de maturação homogéneo), com pedúnculo e sem folhas para se evitarem riscos de infeção causados por parasitas de feridas e evitar apanhar frutos caídos no chão;
- Ao longo da colheita e manuseamento, ser cuidadoso para evitar danos mecânicos e ferir os frutos com as unhas e/ou com os pedúnculos;
- Utilizar embalagens próprias de colheita, desinfetadas, limpas e isentas de matérias estranhas;
- De preferência colher a fruta diretamente da árvore para as caixas ou sacos de colheita;
- Não colher frutos molhados para se diminuir as possibilidades de contaminações e infeções;
- Evitar que a fruta colhida fique exposta ao sol;
- Transportar a fruta para a central de acondicionamento/embalagem logo após a colheita.

### **2.3. Conservação de alimentos**

A necessidade de preservação dos alimentos remonta ao tempo do homem primitivo, uma vez que a sua busca por alimento, através da caça e pesca, servia para satisfazer a fome no imediato o que os obrigava a ter de caçar sempre que sentiam fome, levando-os, também a alterar a sua localização consoante a abundância de alimento.

Por volta de 50.000 a.C., quando os utensílios e armas disponíveis eram primitivos, a caça era difícil e todo o alimento era consumido cru. O consumo de alimentos ocorria de

uma forma rudimentar, sendo os frutos, as raízes, os peixes e os insetos os alimentos mais consumidos (Dionysio e Meirelles, 2003).

Até mesmo nessa altura, por vezes era necessário guardar algum do excedente de alimento, sendo nessas situações utilizadas as zonas mais escuras e frescas da área onde habitavam, fosse dentro da caverna, local onde poderia ser mais facilmente protegida, pelo facto de ser o local de descanso, ou em zonas perto dos sítios onde pernoitavam.

Com o passar do tempo a conservação de alimentos passou a fazer mais sentido para tentar fazer face ao desperdício dos animais capturados que não conseguiam consumir de uma única vez, recorrendo à conservação alimentar era assim possível ter alimento disponível durante mais tempo, anulando assim a necessidade de estar sempre a trocar de local, permitindo que a família se estabelecesse por um maior período de tempo em cada local.

O método de conservação utilizado nessa altura era essencialmente a secagem dos alimentos, para esse efeito, era utilizado o calor proveniente do sol, conferindo outro aspeto e sabor aos alimentos, no entanto, mesmo com essas perdas, algumas vezes a nível nutricional, era possível ingerir o alimento e daí agregar valor.

A secagem consiste na retirada de parte da água presente nos alimentos. Os micro-organismos presentes no alimento precisam de água para as funções vitais. Através da exclusão da água presente no alimento, consegue-se diminuir consideravelmente as ações microbiológicas que nele ocorrem (Dionysio e Meirelles, 2003).

Com o decorrer do tempo e a descoberta do fogo, foram abertas muitas possibilidades aos seres humanos, sendo uma delas a ideia de cozinhar os alimentos e outra, a de manter os animais selvagens afastados. É com a ideia, de manter os animais selvagens longe da sua comida que os homens começaram a pendurar os alimentos perto do fogo e foi possivelmente daí que se aprimorou o método de secagem. Esta técnica é utilizada até aos dias de hoje, em diversas situações, das quais podem ser um exemplo, os enchidos.

A conservação dos produtos fumados deve-se à desidratação superficial, associada ao efeito causado por substâncias resultantes da combustão incompleta de madeira (Segurança Alimentar, s.d.). Desta forma a fumagem, mais propriamente o calor permitia obter um resultado muito semelhante com a secagem, mas devido ao fumo os alimentos também adquiriam um sabor e uma coloração diferenciada.

Existiram também outras técnicas que foram sendo utilizadas, como é o caso da imersão dos alimentos em gordura que gera uma espécie de barreira física que desacelera o processo de deterioração.

Mais recentemente, a salga foi utilizada pelos romanos para conservar uma grande variedade de alimentos. Atualmente a salga ainda se utiliza como meio de conservação para alguns tipos de carne como é o caso do presunto e também para alguns tipos de peixe como acontece com o bacalhau. Esta técnica é executada recorrendo à utilização de sal, uma substância que tem a capacidade de absorver humidade sendo, por isso, eficiente no que toca a aumentar a durabilidade de alimentos. Este processo também fornece aroma e sabor aos alimentos, tendo como principal objetivo a retenção da água do produto. Criando, desta forma, uma condição favorável para evitar a proliferação de bactérias, mantendo a maciez e a qualidade dos alimentos, podendo conservar alguns alimentos por anos (Grupo Escolar, s.d.).

Atualmente várias técnicas são utilizadas para aumentar a durabilidade dos alimentos, sendo preciso muitas vezes recorrer a substâncias adicionadas conhecidos como aditivos, a tabela seguinte refere alguns dos aditivos utilizados.

Tabela 1 - Diferentes tipos de aditivos, fonte: (Dionysio e Meirelles, 2003).

<b>Conservantes</b>	Aumentam o prazo de validade do produto.
<b>Antioxidantes</b>	Evitam a decomposição pela ação do oxigénio.
<b>Agentes quelantes</b>	Protegem os alimentos de muitas reações enzimáticas

Alimentos são todas as substâncias, ou misturas de substâncias, que tem como função fornecer ao organismo humano os elementos necessários à sua formação, manutenção e desenvolvimento. Podem ser de vários tipos, entre elas, líquidas, sólidas e pastosas (Silva, 2020).

Os alimentos podem ser categorizados mediante a sua origem: animal, vegetal ou mineral. Eles sofrem deterioração devido a ações microbianas, químicas ou físicas. E mediante a sua deterioração, são caracterizados como (Amit *et al.*, 2017):

-Alimentos não perecíveis, quando não sofrem deterioração mesmo que sujeitos a longos períodos de tempo, caso estejam bem-acondicionados e se forem bem manipulados, podem ter uma vida útil muito extensa, podendo ser de vários anos, como é o caso, por exemplo, das nozes e do feijão;

-Alimentos pouco perecíveis, que quando são manuseados e armazenados corretamente é possível conservá-los por um longo período de tempo, cerca de seis meses, sendo caso, por exemplo, da batata e de algumas frutas;

-Já os alimentos perecíveis, têm uma vida útil mais curta que pode variar de alguns dias a aproximadamente três semanas, e vão se degradando com o passar do tempo se não forem sujeitos a mecanismos de conservação, que vão influenciar diretamente as alterações ocorridas na sua composição como é o caso da textura, a cor e propriedades nutricionais, são exemplo deste tipo de alimentos a carne e os ovos.

Desta forma é essencial, no sentido de manter a qualidade dos alimentos por mais tempo, preservar as suas propriedades o máximo de tempo possível a partir do exato momento em que são colhidas até ao momento em que são consumidas, para que sejam ingeridas nas melhores condições possíveis.

### **2.3.1. Importância da cadeia de frio**

“O frio constitui o único meio de conservação de alimentos no seu estado natural. Porém, apenas se revela eficaz caso seja aplicado com continuidade, desde a produção até o consumo” (Pigozzi, 2021).

Todas as técnicas referidas anteriormente alteram de forma mais ou menos significativa a composição dos produtos a que a elas estão sujeitos, no entanto, quando é necessário preservar um alimento, mesmo que por um período de tempo mais reduzido, alterando o mínimo possível as suas propriedades, a opção mais utilizada é o arrefecimento.

Com a evolução da humanidade tornou-se necessário o desenvolvimento de técnicas para conservar os alimentos o mais possível da origem até ao local de consumo, minimizando

a perda de características nutritivas e sensoriais. A produção de frio contribuiu em muito para esse objetivo, uma vez que o frio inibe total ou parcialmente os agentes que causam alterações ao nível estrutural: atividade microbiológica, enzimática e metabólica dos tecidos animais e vegetais após a cessação das respectivas vidas, prolongando a sua vida útil (Souza *et al.*, 2013).

De um modo geral uma sequência de frio tem como objetivo arrefecer um alimento a partir da fase inicial da sua colheita ou produção até à sua fase final, na cadeia de consumo, tentando mantê-la sempre o mais próximo possível da sua temperatura ótima. Esta técnica tem uma importância vital, devido aos vastos alimentos que pode incorporar, podendo ser utilizada para a preservação de frutas variadas, carne, peixe e muitos outros produtos em que é necessário manter controlada a sua temperatura e humidade relativas.

Na conservação de alimentos a temperaturas baixas podem existir efeitos indesejados que alteram as características dos alimentos, essas consequências são sentidas numa vasta gama de alimentos, por exemplo frutas e hortaliças. Nestes produtos pode ocorrer lesão pelo frio quando a temperatura ultrapassa os valores negativos recomendados podendo levar ao escurecimento tanto exterior como interior, bem como a alterações no amadurecimento.

A alteração mais significativa é o endurecimento que ocorre devido à solidificação de gorduras e óleos. Em temperaturas menores, podem existir variações tanto a nível do congelamento lento como do congelamento rápido. No caso do congelamento rápido, como consequência da rapidez de diminuição da temperatura, as características do produto sofrem alterações mínimas, uma vez que, os cristais de gelo, embora possam ser muito numerosos, têm proporções muito reduzidas, alterando, por isso de forma pouco relevante a textura dos produtos. Por outro lado, quando se fala em congelamento lento, os cristais de gelo que se vão formando nos espaços intercelulares, são de grandes dimensões, originando o rompimento e deformação da parede celular de algumas células, levando à desidratação (Souza *et al.*, 2013).

**Pós colheita** Esta fase começa quando a colheita termina e só está finalizada quando o produto chega à mão do consumidor final. No entanto, exige que um longo caminho seja percorrido, durante esse percurso, desenrolam-se diversas atividades que desempenham

um papel vital na preservação da qualidade, na minimização das perdas e na garantia da disponibilidade de alimentos nutritivos aos consumidores. É imprescindível que exista uma boa gestão de pós colheita que permita responder aos desafios da segurança alimentar e da sustentabilidade, para que seja possível não só disponibilizar ao consumidor produtos de qualidade, como também para que seja utilizado todo o potencial da produção agrícola.

É essencial que os alimentos sejam manuseados de forma cuidadosa para que não ocorram danos físicos. Alimentos em que se verificarem danos físicos devem ser excluídos de imediato, uma vez que se comprometem a si próprios como também aos outros por contaminação direta ou indireta. Esta operação é fundamental para que os alimentos mantenham as suas melhores propriedades durante o transporte bem como em todo o manuseamento a que é sujeito até chegar ao consumidor final. A embalagem utilizada em todo o processo é de extrema importância, uma vez que deve-se tentar que seja a mais adequada para o efeito.

Aliando a tudo o que foi exposto, tecnologias de armazenamento eficazes, como o armazenamento em atmosfera controlada, mantem a frescura, o valor nutricional e estende a vida útil dos alimentos impactando positivamente a qualidade final e a quantidade de alimentos disponíveis para consumo.

Diante os desafios globais, perante as mudanças climáticas, o crescimento populacional e os recursos naturais limitados, práticas eficientes, depois das colheitas, são fundamentais para reduzir as perdas e maximizar o valor de produção agrícola. É essencial que a qualidade seja mantida e que os agricultores aumentem a rentabilidade, tendo sempre em vista o objetivo da redução dos desperdícios e otimização do uso dos recursos para que desta forma seja desempenhado um papel fundamental para a contribuição da sustentabilidade ambiental, sem comprometer o acesso dos consumidores a alimentos frescos e seguros, a preços acessíveis.

Práticas inadequadas de pós-colheita podem resultar em prejuízos indesejados, essas perdas levam a que alimentos sejam desperdiçados e conseqüentemente a perdas económicas. Uma vez que um alimento “sensível”, após ser colhido, se for manuseado de forma rudimentar é muito provável que ocorram danos físicos e deteriorações fisiológicas e patológicas. Para que tal não aconteça é importante ter em conta as situações seguintes (Cenci *et al.*, 1997):

- As altas temperaturas são prejudiciais à qualidade dos frutos e hortaliças, pois afetam diretamente as taxas de todos os processos vitais (maturação, respiração, perda de peso, podridões etc.). Portanto, quanto mais rapidamente a temperatura do produto for trazida para próximo da temperatura ótima de armazenamento, maior será a sua vida de pós-colheita;
- Nas doenças de pós-colheita, a infecção geralmente ocorre devido aos danos mecânicos ou fisiológicos na superfície dos frutos;
- A transmissão de doenças para frutos sadios ocorre quer através do contacto com frutos deteriorados, quer através de equipamentos de limpeza;
- A água utilizada na lavagem pode ser o meio de contaminação dos frutos e hortaliças, pois ela transporta microrganismos patogénicos;
- Apertar excessivamente o produto na embalagem, a ocorrência de choques durante o transporte, juntamente com os danos fisiológicos causados pelo frio, calor, deficiência de oxigénio e outras condições ambientais, resultam na degradação do produto e no desenvolvimento acelerado de podridões.

De uma forma geral a pós-colheita engloba uma série de atividades e práticas que têm como objetivo a preservação das culturas colhidas até que à chegada aos consumidores essas práticas fazem parte da comercialização, pois para que um produto seja comercializado tem de existir sobre ele uma regulação para certificar que o produto está em condições para ser consumido.

**Perdas pós colheita** O pós colheita é uma etapa tão importante como todas as outras que antecedem o momento em que o fruto é colhido. Não é por um produto se ter desenvolvido corretamente nem por se ter investido em técnicas de colheitas mais sofisticadas e aperfeiçoadas que é garantido que vá ser consumido, uma vez que o consumo vai depender de muitos outros fatores, sendo mais provável o consumo, quanto mais adequadas forem as práticas utilizadas para o seu manuseamento, embalagem, armazenamento e transporte.

Com as necessidades que advêm de uma população global em rápido crescimento perdas pós colheita têm implicações graves no que toca à segurança alimentar, pois a

quantidade de comida perdida ou desperdiçada poderia ter um fim muito mais proveitoso, tal como, ajudar milhões de pessoas a aliviar a fome que em algumas regiões do mundo é imensa. Para além de ajudar a combater a fome mundial, também teria implicações ambientais, uma vez que minimizar as perdas, vai permitir que os recursos utilizados, hídricos e de mão-de-obra por exemplo, para a produção e apanha desses alimentos, já não seriam desperdiçados, dando o seu contributo para redução das emissões desnecessárias de gases de efeito de estufa levando a uma diminuição de pressão sobre os recursos naturais existentes.

As perdas podem ocorrer em várias fases da cadeia de comercialização e devido a vários fatores. São geralmente provocadas por danos físicos, pragas, doenças e condições inadequadas de armazenamento ou transporte. Essas perdas podem ser classificadas de duas formas quantitativas ou qualitativas. Quando se trata de perdas quantitativas, são referentes a uma redução de quantidade, quando se fala em perdas qualitativas é porque referem uma redução de qualidade. Ambas têm implicações significativas para a sustentabilidade da economia, a segurança alimentar e o impacto ambiental.

Em toda a cadeia de comercialização que se desenrola a partir do momento em que os produtos são colhidos é possível que estas perdas venham a acontecer.

Durante o processamento, máquinas ineficientes ou com falta de controlo ou manutenção adequada podem também elas ocasionar perdas, bem como, no armazenamento em condições desajustadas, como é o caso de humidade alta que contribui para o aparecimento de doenças.

Os produtos podem ser danificados durante o transporte, seja por manuseamento incorreto (por exemplo de carregamento), por temperaturas extremas ou pela utilização de embalagens inadequadas originando mais perdas.

Melhorar as infraestruturas e promover vínculos de relações comerciais mais eficientes, promovendo as relações diretas do produtor com o consumidor podem ajudar a reduzir o desperdício devido ao tempo de armazenamento e manuseio a que o produto é sujeito. Reduzindo este tempo, através da eliminação da necessidade de utilizar um intermediário, também pode ser benéfico para os agricultores e para os consumidores, uma vez que os primeiros podem vender os produtos a preços mais elevados ao passo que os segundos os podem comprar a um preço mais baixo, promovendo as trocas comerciais através de preços mais justos. As consequências das perdas são muitas, mas

do ponto de vista económico, são prejudiciais para todos, agricultores, consumidores ou distribuidores.

Minimizar as perdas pós-colheita, permite não só aumentar a disponibilidade de alimentos, melhorar os meios de subsistência e reduzir os desperdícios, mas também contribui para uma maior eficiência e sustentabilidade da agricultura, algo que beneficia tanto as gerações presentes como as gerações futuras.

**Comercialização** No passado era praticada agricultura de subsistência, então as pessoas apenas dispunham dos alimentos que conseguiam cultivar, não possuíam meios para adquirir outros alimentos. Mas com o aperfeiçoamento das técnicas agrícolas o rendimento aumentou, levando a um aumento do rendimento das plantações, excedente esse que eles não iriam conseguir consumir. Com o intuito de obterem bens que lhes faziam falta os produtores começaram a efetuar trocas entre si, dispensando os produtos que tinham em excesso por outros que lhes faziam falta. Desta forma não só reduziam o desperdício como aumentavam a disponibilidade de produtos sem terem de os produzir.

Inicialmente esta troca era direta de um produto por outro, no entanto, mais tarde começaram a desenvolver o mecanismo de troca, passando as trocas a contemplar as condicionantes da produção de cada artigo, aumentando assim o seu valor.

Apesar de muito importante, este método tinha grandes condicionantes, uma vez que pressupunha que entre dois indivíduos, um deles tivesse em excesso um artigo que interessasse ao outro para que a troca pudesse ocorrer. Com vista à resolução destes contratempos foi criada uma moeda de troca, passando a ser muito mais fácil trocar produtos. Uma das moedas de troca que existiu foi o sal, por ser um bem essencial para a conservação dos alimentos como é o caso da carne, ouro e prata são mais dois exemplos de moedas de troca que também foram utilizados.

Mais tarde foram desenvolvidas moedas, já cunhadas, para esse efeito, sendo que eram muito mais práticas para efetuar as trocas. A dificuldade apareceu quando havia necessidade de transportar grandes volumes de moedas, devido ao peso, daí surgiu a necessidade de emitir dinheiro em papel.

É fácil perceber que a comercialização teve um papel muito importante para a sobrevivência e sustentabilidade da espécie humana, papel que vem tendo até aos dias de

hoje, sendo fundamental para garantir que são distribuídos da maneira mais equilibrada possível os recursos gerados em todo o mundo.

No caso das frutas essa comercialização desempenha um papel fulcral, uma vez que uma grande parte delas têm um prazo relativamente curto para serem consumidas mantendo todas as suas propriedades, assim sendo é de extrema importância que existam canais de distribuição bem organizados e bem equipados, para conseguir transportar as frutas dos locais onde são produzidas até aos mercados, supermercados, ou outros locais de distribuição ou venda. Sempre com o objetivo de que elas sejam consumidas nas melhores condições possíveis, e assim conseguir proporcionar uma fonte de renda aos agricultores apoiando as economias locais e internacionais.

A comercialização é a última das etapas do ciclo da fruta e tem como objetivo o transporte da fruta do seu local de produção até ao destino de consumo. No entanto, para que isso aconteça existem várias etapas, prévias à comercialização, que vão variando com as necessidades e o objetivo final dos produtos que têm de ser comercializados. Mas de uma maneira geral, após serem colhidas as frutas têm de ser armazenadas, processo esse que pode ocorrer logo após a colheita ou numa das etapas seguintes, podem também passar por um processo de lavagem, seleção e classificação, depois, dependendo do seu destino podem ser embaladas e rotuladas. Para que cheguem às zonas onde as etapas mencionadas são feitas têm, naturalmente de ser transportadas.

**Seleção e calibração de frutas** A seleção de frutas é um processo muito importante no que concerne à fruticultura. De um modo geral diz respeito a um processo de triagem de frutas mais maduras e de melhor qualidade, para tal é necessário classificar a fruta tendo como referência determinados critérios (tamanho, forma, textura, massa, sabor e cor). Para implementar estes critérios, podem ser utilizados três métodos distintos, recursos humanos, recursos tecnológicos ou ambos. No que diz respeito a recursos humanos o trabalho é feito manualmente, por toque físico ou por inspeção visual, no que toca aos recursos tecnológicos esses critérios são implementados através de sistemas de imagem e diferentes sensores, existe ainda uma possível junção de métodos podendo ser utilizados recursos humanos numa etapa e recursos tecnológicos noutra. Independentemente dos métodos utilizados, o objetivo da utilização desses métodos é o mesmo, garantir que apenas as frutas com qualidade suficiente são comercializadas.

A seleção de frutas é uma etapa muito importante devido à sua grande influência em todo o processo de comercialização, pois nela acontecem vários processos que vão permitir às frutas sãs manterem as suas características até chegarem ao fim do ciclo.

Os cuidados a ter variam com o tipo de fruta que se está a manusear. De um modo geral as frutas são lavadas e desinfetadas com o objetivo de reduzir quer a quantidade de sujidade, quer o número de organismos patogénicos (microrganismos e bactérias) que possam existir na sua superfície. Os organismos patogénicos podem ser prejudiciais no que respeita à conservação das características ótimas das frutas, daí a necessidade de os eliminar, evitando, por um lado a degradação do fruto que o contém, e por outro a degradação de outros frutos, passíveis de ser contaminados através de uma troca superficial.

Apesar dos benefícios, nem todas as frutas podem ou devem ser sujeitas a essas práticas, uma vez que têm uma menor capacidade de resistência à água. Nesses casos, são utilizados outros métodos no sentido de tirar a sujidade, como é o caso do uso de escovas ou jatos de ar.

Os alimentos são comercializados seguindo um conjunto de regras, que estipulam as normas através das quais se tem a certeza de estar a consumir bons alimentos, dando, assim segurança aos consumidores. Desta forma quando vamos comprar uma maçã, por exemplo, sabemos, graças aos processos de seleção, quer sejam manuais ou automatizados, que vamos ter uma fruta com características semelhantes a uma comprada noutra local, sendo também muito pouco provável que ela se apresente amassada ou com algum tipo de deformação física ou química. O mesmo se pode dizer relativamente ao tamanho, pois cada fruta vai ser separada segundo o seu calibre, o tipo de calibre reflete-se, também, no preço. O preço altera-se de acordo com cada calibre, algo que por um lado vai trazer mais “justiça” ao consumidor, uma vez que está a pagar exatamente pelo que leva, permitindo, por outro lado uma maior gestão e escolha, pois quem quiser gastar menos pode optar por levar o calibre, ou variedade mais em conta.

**Transporte** Para que os produtos cheguem do local de produção, até aos vários locais onde vão ser manuseados (seleção, embalagem, armazenamento, distribuição) é necessário que existam mecanismos capazes de os fazer chegar a cada uma destas etapas que compõem a cadeia de distribuição.

O transporte é fulcral para a distribuição no sector alimentar, e as frutas não são exceção. O seu transporte é fator determinante para garantir que as frutas, após percorrerem todo o seu caminho, cheguem nas melhores condições possíveis, às prateleiras, independentemente do tempo decorrido desde a sua colheita.

Para tal é de extrema importância que exista um bom planeamento, que atente em vários fatores, os mais importantes serão o tipo de fruta, a distância que será necessário percorrer bem como do meio de transporte a ser utilizado. O principal objetivo será minimizar o tempo que a fruta se encontra em trânsito, reduzindo o risco de deterioração.

Qualquer um dos meios de transporte (aéreo, ferroviário, terrestre, marítimo) pode ser utilizado para efetuar o transporte das frutas, no entanto, qualquer um deles possui contrapartidas e limitações. Para a escolha do transporte mais adequado, é essencial ter em conta diversos fatores:

- A perecibilidade da fruta - uma fruta que tenha uma janela temporal menor, necessita de ser transportada mais rapidamente;
- Distância e destino – de acordo com o percurso, averiguar se o meio de transporte mais rápido consegue alcançar o destino pretendido;
- Prazo de entrega – optando pelo que apresenta mais hipóteses de chegar ao destino no prazo acordado, tendo em conta, não só a rapidez, mas também a fiabilidade;
- Custo- É um fator muito importante e vai influenciar muito o meio utilizado.

De forma geral, para que o transporte seja o mais adequado possível é fundamental que exista coerência e uma análise cuidadosa dos tópicos acima. Geralmente, o transporte rodoviário é o mais comum em curtas distâncias, ao passo que, para rotas mais longas e internacionais os meios mais utilizados são os marítimos e os aéreos.

Nem sempre a utilização de um único meio de transporte se traduz na forma mais adequada de fazer a deslocação dos produtos do local de produção para os locais de consumo, podendo muitas vezes, a combinação de métodos de transporte ser a hipótese mais vantajosa.

A forma como a carga é feita é tão ou mais importante do que a forma de transporte, uma vez que uma carga mal-acondicionada está suscetível a acidentes, mesmo que o transporte seja exemplar. O mesmo se aplica no que toca às descargas, são dois fatores decisivos para evitar danos, evitando impactos.

Outro aspeto importante a ter em conta é o tempo despendido na realização dessas manobras, uma vez que um tempo excessivo pode expor as frutas a uma temperatura ambiente desadequada que quanto mais se prolongar mais reações negativas podem ser desencadeadas, podendo acarretar a perda parcial ou total da carga.

Deve-se evitar quebrar a cadeia de frio, para que não existam oscilações de temperatura indesejadas. Para tal é fulcral que os meios de transporte sejam equipados com unidades de refrigeração para que o controlo de temperatura seja mais constante em todo o transporte, pois muitas frutas são extremamente sensíveis a flutuações de temperatura. Mesmo que existam percalços pela viagem, o tempo a que essa temperatura vai estar diferente da recomendada vai ser mais reduzida.

**Cadeia de distribuição** A cadeia de distribuição termina quando os produtos frutícolas armazenados chegam a casa dos consumidores. Para que isto aconteça tem de se recorrer a um processo de transporte que leve os produtos dos fabricantes ou fornecedores onde estão armazenados, para os espaços onde os consumidores locais os possam adquirir, assim se chega ao vendedor retalhista.

O mercado retalhista é o destino final da maioria dos produtos frutícolas. Por norma este tipo de mercado compra grandes quantidades de um produto para depois os vender a retalhe aos seus clientes. É esta a única etapa de todo o sistema de comercialização que inclui o consumidor, sendo assim o melhor local para se obter algum feedback do consumidor, uma vez que é aqui que todos os aspetos da fruta serão analisados e, mediante o bom ou mau desempenho dos métodos utilizados para a sua preservação de pós colheita, os produtos vão ser aceites ou rejeitados pelos consumidores.

No entanto, até mesmo nos pontos de venda é preciso ter prudência na forma como os alimentos são mantidos e manuseados, muitas vezes os produtos são expostos em loja mais em função de estratégias de indução da compra do que em prol da manutenção da qualidade, este comportamento pode deitar por terra os esforços investidos em toda a

cadeia até então (Almeida, 2005). De entre as possibilidades que contribuem para o aumento dessa degradação, podem ser ressaltadas as seguintes:

- As condições ambientais não serem ótimas, nomeadamente no que toca à temperatura elevada e reduzida humidade relativa;
- Produtos incompatíveis não terem o distanciamento certo, podendo ser colocados em expositores muito próximos;
- A duração da exposição a condições ambientais adversas e a proximidade de produtos incompatíveis pode prolongar-se para além do tolerável pela fisiologia dos produtos;
- Frequência e severidade da manipulação dos produtos pelo pessoal e pelos clientes.

Para que as perdas de qualidade ocorridas nos pontos de venda sejam reduzidas é recomendada uma rápida rotação dos produtos nos expositores ou para os que assim permitirem a aplicação de pulverizações periódicas com água e também a colocação dos produtos sobre superfícies frescas (Almeida, 2005).

### **2.3.2. Arrefecimento**

As frutas são organismos vivos que se deterioram continuamente após a colheita, a venda só vai ser bem-sucedida quanto menor for a taxa de deterioração. Através do arrefecimento os processos que causam degradação da fruta são retardados aumentando o seu tempo de preservação. Um fator importante que afeta a qualidade das frutas após a fase de colheita é a temperatura, uma vez que a maioria dos produtos perecíveis têm um tempo de vida mais prolongado quando a temperatura é mantida perto dos 0°C (Ferreira, 2016).

Essa necessidade é muitas vezes colmatada com o pré-arrefecimento sendo que, depois de serem colhidas existem frutas em que o tempo que decorre da colheita até ao arrefecimento é um fator importante para o seu aproveitamento ou deterioração, sendo essencial arrefecer o mais rapidamente possível (Ferreira, 2016).

Quando a temperatura a que estão sujeitos é superior à temperatura ótima, a taxa de deterioração aumenta duas a três vezes por cada aumento de 10°C na temperatura, desta forma, o atraso do pré-arrefecimento vai acarretar aspetos negativos. Alguns exemplos são a perda de água, a baixa firmeza dos tecidos e o aumento das atividades metabólicas. No caso das maçãs, o amadurecimento durante um dia a 21°C é equivalente ao amadurecimento durante 10 dias a -1°C. Isto demonstra a importância quer do arrefecimento como do pré-arrefecimento e da sua utilização antecipada logo após a colheita, na maximização do tempo de vida das frutas e vegetais (Ferreira, 2016).

Posto isto torna-se claro que é importante, não só arrefecer os alimentos como fazê-lo no menor tempo possível a contar do momento da colheita (Ferreira, 2016).

O processo de arrefecimento tem como objetivo a diminuição de uma temperatura de modo que sejam sentidas temperaturas mais baixas do que as esperadas. Essas temperaturas podem baixar pouco ou muito podendo ultrapassar o ponto de congelamento onde parte da água presente no alimento altera o seu estado, formando cristais de gelo (Souza *et al.*, 2013).

No caso das frutas isso é uma grande vantagem, visto que essa diminuição de temperatura vai também retardar a velocidade a que as alterações microbiológicas e bioquímicas se dão, reduzindo assim a velocidade dos processos fisiológicos (como a respiração, a transpiração e o amadurecimento) aumentando a sua vida útil. Este processo não melhora a qualidade dos produtos, apenas retarda a sua degradação, daí que apenas os alimentos que se encontrem em condições devem ser sujeitos ao frio. Alimentos que não se encontrem em boas condições de consumo não vão reaver as suas propriedades, daí que não faça sentido preservá-los pelo frio (Souza *et al.*, 2013).

No caso dos tecidos animais, além de reduzir o risco de contaminação microbiológica, o arrefecimento imediato retarda alterações físicas, como o *rigor mortis*, que alteram características sensoriais da carne (cor e textura). As funções vitais dos microrganismos são mantidas mesmo a temperaturas consideradas mínimas para o crescimento. Muitos apenas cessam a multiplicação e sobrevivem com o metabolismo reduzido, estabelecendo-se um estado de equilíbrio. Se após determinado tempo, a temperatura aumentar, tais microrganismos reiniciam a multiplicação, e o metabolismo normal é estabelecido (Souza *et al.*, 2013).

A utilização de baixas temperaturas retarda o crescimento de microrganismos termófilos (temperatura ótima de crescimento de 45 a 65°C) e de muitos mesófilos (temperatura ótima de crescimento de 25 a 40°C), dependendo da temperatura final atingida pelos produtos (Souza *et al.*, 2013).

A razão para a inibição do crescimento microbiano é que as reações metabólicas dos microrganismos são catalisadas por enzimas e a taxa de reação catalisada enzimaticamente é dependente da temperatura. Ou seja, com a redução da temperatura, ocorre uma redução na taxa de reação. Na tabela seguinte é possível visualizar a classificação de microrganismos de acordo com as suas temperaturas de crescimento (Souza *et al.*, 2013).

Tabela 2 - Classificação de microrganismos de acordo com a sua temperatura de crescimento, adaptado de fonte: (Souza *et al.*, 2013).

<b>Categoria de microrganismos de acordo com os valores de temperatura de crescimento</b>	<b>Temperatura mínima</b>	<b>Temperatura ótima</b>
<b>Termofílico</b>	30 a 40°C	55 a 65°C
<b>Mesofílico</b>	5 a 10°C	30 a 40°C
<b>Psicrotrópicos</b>	<0 a 5°C	20 a 30°C
<b>Psicrófilo</b>	<0 a 5°C	12 a 18°C

No processo de arrefecimento podem ser utilizadas várias temperaturas, mediante as características do produto que se pretende arrefecer e da sua origem. Quando o arrefecimento se dá rapidamente e alcança temperaturas muito baixas, estamos perante o que é denominado de congelamento ultrarrápido. Geralmente, este processo utiliza nitrogénio líquido ou o vapor deste e é realizado em poucos minutos, mudando em função de algumas variantes, mas ocorrendo entre 1 e 15 minutos (Souza *et al.*, 2013).

Normalmente, alimentos submetidos a métodos criogênicos de congelamento, apresentam qualidade superior, devido, principalmente, à formação de um grande número de pequenos cristais de gelo intracelulares, que não alteram de maneira significativa a textura do produto (Souza *et al.*, 2013).

Com diferentes tempos de congelamento e dependendo da forma como é realizado, podem ser obtidos resultados diferentes, no que toca à forma, ao tamanho e à distribuição dos cristais formados, pois, os alimentos vão apresentar características diferentes de acordo com a velocidade de congelamento. Um produto que seja congelado e que leve mais tempo para que tal aconteça, vai originar cristais de gelo e poros grandes, no sentido oposto quanto maior a velocidade de congelamento, menores serão os cristais de gelo e os poros produzidos (Souza *et al.*, 2013).

O arrefecimento aliado ao armazenamento é amplamente utilizado como um método para prolongar a vida útil dos alimentos. O arrefecimento permite reduzir a taxa de respiração, a perda de peso causada pela transpiração e a produção de etileno que é responsável pelo amadurecimento das frutas (Ferreira, 2016). Como já foi referido anteriormente, retarda o crescimento e desenvolvimento de microrganismos responsáveis pelo apodrecimento e previne atividades metabólicas pós-colheita, de tecidos vegetais intactos e atividades metabólicas pós-abate de tecidos animais. Também impede reações químicas de deterioração, que incluem escurecimento oxidativo catalisado por enzimas, oxidação de lipídios e alterações químicas associadas à degradação da cor. No caso dos peixes, retarda a autólise causa a perda do valor nutritivo dos alimentos e, finalmente, revela a perda de humidade (Amit *et al.*, 2017).

Mas, em lado oposto, tem como limitações poder reduzir a crocância ou desidratar as superfícies dos alimentos, principalmente os que não se encontrarem embalados corretamente e requer investimento que por vezes pode ser avultado, pois necessita equipamentos especializados e modificações estruturais (Amit *et al.*, 2017).

### **2.3.3. Armazenamento**

É consensual que comer frutas é benéfico para a nossa saúde e quanto mais variada for essa ingestão melhor. Desta forma é muito importante ter uma certa disponibilidade de frutas para o consumo, mas esta necessidade tem uma pequena contrapartida, pois as árvores não têm sempre a mesma disponibilidade de frutos ao longo do tempo, sendo

assim impossível colher maçãs o ano todo, por exemplo. Existem várias formas para tentar combater esse obstáculo uma delas é plantar tipos de árvores diferentes, que possam ter um momento de colheita distinto para que seja estendida a duração da apanha, de forma que essa dificuldade seja atenuada.

Outra forma de mitigar estas contrariedades é importar essa fruta de um ponto do globo, onde as estações do ano não coincidam com as nacionais e por isso também têm épocas de colheita diferentes. Mas nem sempre essas soluções são possíveis ou não conseguem colmatar toda a necessidade. Então, para que as frutas possam ser consumidas em várias épocas do ano, é de suma importância contar com o armazenamento, pois assim conseguimos preservar o valor nutricional e a qualidade das frutas por um período de tempo mais alongado. Em alguns casos, a maçã, a título de exemplo, é possível ser preservada por 10 meses ou mais, sendo praticamente possível consumir a maçã de um determinado local o ano todo, mas para isso, é importantíssimo que sejam utilizadas as técnicas adequadas no armazenamento, com o objetivo de evitar a deterioração e conservar o sabor e textura o máximo possível, prolongando assim a sua vida útil.

O armazenamento permite manter as características das frutas, o mais próximo possível do estado que apresentam no momento da colheita e por um período mais alargado. Com isto, aumenta, ao longo do tempo, a disponibilidade dos alimentos conservados e mitiga a obrigatoriedade de venda e consumo instantâneo destes. Com isto a venda pode ser mais distribuída ao longo do tempo, trazendo benefícios quer para o consumidor, ao nível da variedade e disponibilidade, como para o produtor, permitindo que obtenha um rendimento superior, pois quanto maior a disponibilidade maior a oferta e consequentemente menor o preço.

Sendo que nem todos os armazenamentos são iguais, por diferentes motivos, os fatores como a procura, as propriedades do fruto que está a ser conservado, ou as condições do armazenamento em si, são determinantes para o tempo que os alimentos vão estar em armazenamento. De uma forma geral, o período de armazenamento, pode variar de algumas horas a alguns meses.

Segundo (Almeida, 2005) o armazenamento tendo em consideração o seu tempo, pode ser classificado de três formas:

- Armazenamento de muito curto prazo: horas a dias. É efetuado em câmaras de elevada rotação de produtos, com abertura frequente de portas e consequente

dificuldade de manter a temperatura ótima. Ocorre em situações de armazenamento doméstico, restauração, retalho, sistemas de *just-in-time*, e centrais de compras e distribuição;

- Armazenamento de curta duração: dias a semanas;
- Armazenamento prolongado: vários meses. Neste caso é possível estabilizar a temperatura da câmara e, num sistema bem dimensionado e operado, manter a temperatura a níveis ótimos.

Um sistema de armazenamento eficaz permite reduzir a atividade metabólica e a proliferação de microrganismos nos alimentos. Para isto é necessário ter em conta vários fatores, como a temperatura e a quantidade de água que vai ser perdida pelos alimentos a preservar. Antes de se proceder às técnicas de armazenamento propriamente ditas, existem cuidados a ter, principalmente para os armazenamentos mais prolongados é necessário proceder a uma inspeção das frutas, para que, antes de serem armazenadas, sejam classificadas de forma a descartar as que não apresentem os requisitos de qualidade necessários.

Por exemplo, frutas danificadas, que tenham algum tipo de lesão que possa acelerar o processo de deterioração e levar a que não só essa fruta se venha a estragar, como também as envolventes, por contaminação, podendo contribuir para que o desperdício se alastre.

Outro fator a ter em consideração é a sensibilidade ao etileno, sendo que é um gás produzido por determinadas frutas e que propicia o seu amadurecimento, não só delas próprias como de outras sensíveis ao etileno, caso estejam juntas com as que o produzem, acelerando assim a sua deterioração. Deste modo, é importante manter as frutas produtoras de etileno, como são exemplo as bananas e os tomates, afastadas das que são sensíveis ao mesmo, uvas e frutas cítricas, evitando assim o amadurecimento precoce ou a sua deterioração.

É ainda fundamental praticar uma boa administração dos alimentos, devendo sempre praticar-se uma gestão FIFO (*First in – first out*), em que os primeiros produtos a dar entrada no centro de distribuição são os primeiros a sair, garantindo assim uma gestão mais eficiente de *stocks* (Costa, 2017).

Para que exista um bom controle, é importante que seja possível regular os parâmetros consoante a necessidade dos alimentos, para que os valores com maior relevância tenham maior supervisão. De entre esses parâmetros é possível destacar, a humidade relativa do ar e a temperatura.

A humidade relativa do ar afeta tanto a qualidade como a vida útil das frutas sendo que os valores específicos, de humidade relativa, vão variando conforme o alimento que está a ser conservado. Se por um lado guardar as frutas num ambiente com um teor de humidade baixo pode fazer com que esse alimento tenha uma perda de água, o que tem consequências na sua aparência, como o enrugamento da casca, o seu encolhimento, a perda de peso e alteração de sabor. Por outro, humidade em excesso pode criar um ambiente favorável para que se desenvolvam microrganismos, o que promove a proliferação de fungos que dão origem à deterioração dos frutos.

Em termos práticos a humidade relativa é a concentração de vapor de água, que está presente no ar, podemos dizer que quando não há humidade no ar o teor de humidade relativa deste é 0%. Já nas situações opostas, em que existe o máximo de vapor de água no ar, o valor é de 100%. Em condições ambiente, a humidade relativa do ar varia entre 40% e 60%. A maioria dos produtos frutícolas é armazenada em condições ótimas, com uma humidade relativa entre os 90% e 95% (Barrau, 2020).

Relativamente à temperatura, esta desempenha um papel fulcral no retardo dos processos metabólicos que ocorrem nas frutas, pois, frutas que são armazenadas a níveis de temperatura ideais, atrasam o seu processo de amadurecimento, devido à dificuldade que as baixas temperaturas impõem a este processo. Temperaturas constantes beneficiam a preservação dos alimentos, por outro lado as flutuações de temperatura, muitas vezes rápidas e atingindo valores extremos afetam as características das frutas.

A maioria das frutas é armazenada em temperaturas baixas, tendo valores mínimos que variam, conforme o tipo de fruta, entre os 0°C e os 13°C, como mostra a tabela seguinte, que relaciona diferentes frutas com a temperatura e humidade relativa da mesma. Mas da mesma forma que ter uma temperatura baixa para armazenar os alimentos é importante, é também de extrema importância que esses valores não baixem mais que o recomendado para cada fruta.

Tabela 3 - Temperatura e humidade relativa para alguns tipos de frutas, adaptado de fonte: (Anese e Fronza, 2015).

<b>Fruto</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humidade relativa (%)</b>	<b>Período de conservação</b>
<b>Banana</b>	13 – 15	90 - 95	1 - 4 s*
<b>Figo</b>	-0,5 – 0,0	85 - 90	7 – 10 d
<b>Laranja</b>	3,0 – 9,0	85 - 90	3 – 8 s
<b>Limão</b>	10 – 13	85 - 90	1 – 6 m
<b>Maçã</b>	0,0 – 2,0	90 - 95	4 – 10 m
<b>Morango</b>	0,0	90 - 95	7 – 10 d
<b>Pera</b>	-1,5 – 0,5	90 - 95	2 – 7 m
<b>Pêssego</b>	-0,5 – 0,0	90 - 95	2 – 4 s
<b>Uva</b>	-0,5 – 0,0	90 - 95	1 – 6 m
<b>*d: dia; s: semana; m: mês.</b>			

Relativamente à temperatura de armazenamento, os produtos podem ser classificados em produtos sensíveis aos danos causados pelo frio ou produtos não sensíveis a danos causados pelo frio (Ribeiro, 2013).

Pois as frutas que são suscetíveis a danos causados pelo frio, caso sejam armazenadas com temperaturas abaixo da sua faixa ideal, vão ter reduzida a sua qualidade ou o tempo limite para ser consumida. Por norma as frutas mais sensíveis ao frio são as de origem tropical e subtropical.

Em outros casos, frutas climatéricas podem ver a temperatura de armazenamento alterada com o sentido de acelerar ou atrasar o seu amadurecimento, tendo por isso um amadurecimento controlado, desta forma o fruto vai atingir o ponto ideal para ser consumido, no momento desejado.

Fisiologicamente existe ainda outro tipo de dano, causado pelo gelo, que ocorre como o nome indica quando as frutas são expostas a temperaturas abaixo do ponto de congelação, provocando a desidratação dos tecidos e conseqüente inaptidão do produto para o comércio em fresco (Barrau, 2020).

Ter em conta a composição da atmosfera existente é também uma ótima forma de complementar as duas técnicas já citadas, melhorando a eficiência de ambas.

A atmosfera padrão, varia de local para local, mas de um modo geral, tem como os seus três principais constituintes, o azoto em 78,1%, seguido de oxigénio a 20,9% e com 0,03% de dióxido de carbono, sendo a restante percentagem distribuída por árgon e outros gases (Almeida, 2005).

Ao controlar os níveis de gases como é o caso do dióxido de carbono, oxigénio ou o etileno é exequível pensar em prolongar a vida útil das frutas.

O objetivo da modificação da atmosfera no armazenamento pós-colheita é inibir os mecanismos que deterioram os alimentos frescos, reduzindo também a suscetibilidade a agentes patogénicos e aumentar assim a sua vida útil (Costa, 2017).

O etileno é produzido pelas frutas ao mesmo tempo que amadurecem, sendo capaz de desencadear o processo de amadurecimento em frutos mais próximos. Conseqüentemente é de notar que controlar os níveis de etileno no armazenamento de frutas pode ser muito benéfico. Minimizar a exposição ao etileno tanto utilizando tecnologias de absorção de etileno como a diferenciação no armazenamento de frutas que o conseguem produzir (climatéricas) das que não conseguem (não climatéricas), ajuda a retardar o processo de amadurecimento e conseqüentemente a aumentar a vida útil das frutas armazenadas.

Concentrações elevadas de oxigénio aumentam a taxa de respiração, acelerando o processo de amadurecimento e conseqüentemente a uma deterioração mais rápida da fruta, já o oposto, reduzir os níveis de oxigénio para valores recomendados, (mas não demasiado baixos) vai retardar a taxa metabólica da fruta o que vai alargar o seu período de vida.

O dióxido de carbono é outro gás a considerar pois é produzido pelas frutas, como um subproduto da respiração. Se a concentração de dióxido de carbono ao redor da fruta for

muito alta pode levar a respiração anaeróbica, mas manter um valor controlado ajuda a inibir o crescimento de microrganismos.

Assegurar valores ideais tanto para o oxigênio como para o dióxido de carbono é manter a respiração aeróbia dos frutos. Uma concentração abaixo dos níveis ótimos, pode levar a respiração anaeróbica o que acarreta produção de produtos secundários, que se não forem removidos vão destruir células, o que causa alteração de sabor e de qualidade. Para a maior parte dos produtos, os níveis reduzidos de O<sub>2</sub> (2 a 3%) e elevados de CO<sub>2</sub> (10 a 20%) produzem uma redução benéfica na taxa de respiração e outras reações metabólicas, como a senescência e o crescimento fúngico (Costa, 2017).

#### **2.3.4. Papel das embalagens na conservação de alimentos**

Em todos os produtos, é deveras essencial, preservar as qualidades e características presentes nos mesmos. Quando se fala em alimentos, essa importância é aumentada pela simples razão de que estes serão ingeridos, desta forma, um mau acondicionamento dos mesmos, vai colocar em causa o bem-estar e a saúde dos consumidores. Tendo isso em mente a escolha da embalagem mais apropriada possível, vai permitir transportar os produtos de e para zonas mais afastadas, com perda minimizada das suas características, devido à ação de fatores externos, como é o caso da temperatura, humidade relativa, tempo de transporte e consumos. Contribuindo assim para uma melhor segurança alimentar dos produtos consumidos e também para a redução de desperdício alimentar.

Dito isto, podem ser definidas como embalagem, todos os produtos feitos a partir de um qualquer material, independentemente da sua natureza, utilizados para conter, proteger, movimentar, entregar e apresentar mercadorias, que vão das matérias-primas até aos produtos transformados, e desde o produtor até ao consumidor, bem como todos os artigos «descartáveis» utilizados para os mesmos fins (EURLex, 1994).

As embalagens podem ser classificadas mediante as suas funções e proximidade ao produto, sendo definidas como:

- Embalagem de venda ou primária - contém, armazena e protege o produto. Está em contato direto com o produto e serve para mantê-lo em boas condições. Essa embalagem define a menor unidade de consumo, facilitando a venda unitária do

produto. Pode ter formas variadas: latas, frascos, sacos, garrafas, entre outras (Mecalux, 2021).

- A embalagem agrupada ou secundária - é um agrupamento de embalagens primárias. Acrescentam maior proteção e facilitam a comercialização do produto em maior escala. São, acima de tudo, as caixas de cartão podendo também ser de plástico. Este tipo pode ser separado da embalagem primária, sem alteração das suas propriedades (Mecalux, 2021).
- Embalagem de transporte ou embalagem terciária, ou seja, qualquer embalagem concebida com o objetivo de facilitar a movimentação e o transporte de uma série de unidades de venda ou embalagens agrupadas, a fim de evitar danos físicos durante a movimentação e o transporte. A embalagem de transporte não inclui os contentores para transporte rodoviário, ferroviário, marítimo e aéreo (EURLex, 1994).

Escolher adequadamente a embalagem segundo os critérios dos produtos é muito importante, pois, conforme o objetivo da embalagem, tanto na questão de segurança como no nível de preservação e apresentação pretendidos. É ainda importante ao nível dos gastos pretendidos para a sua confeção, assim têm de ser pensados todos os componentes das embalagens, para tentar obter a melhor solução possível.

Neste sentido, temos de ter em mente que a embalagem utilizada, influencia e muito no que será a apresentação final do produto a armazenar. Por exemplo, para as caixas de papelão, não deve existir uma constante exposição a climas húmidos, pois podem ocorrer alterações nas propriedades das caixas o que pode levar a consequências nas propriedades do conteúdo. E ainda, nestas situações, as embalagens vão ter de ser substituídas, não podendo ser utilizadas em ocasiões posteriores, o que vai aumentar os custos com embalagens, tanto a nível económico como a nível ambiental.

Assim sendo escolher da forma mais responsável possível a embalagem a utilizar, vai trazer consideráveis benefícios em várias vertentes, tanto a nível direto, como é o caso da aquisição de materiais novos, ou indiretos como na diminuição de desperdício devido a danos causados no seu manuseio. A fim de tentar obter não só os benefícios referidos, mas também outros, vão ser apontadas algumas características que nos permitem alcançar a embalagem mais apropriada.

Primeiramente é conveniente ter em conta o produto a transportar, pois embalar alfaces ou água não é a mesma coisa, visto que estão em estados físicos diferentes e têm particularidades distintas, como a rigidez e tempo máximo para ser consumido. É também essencial ter em conta o perigo que representa, por exemplo se é um produto tóxico ou corrosivo.

Segundamente, ter em conta os parâmetros necessários para a sua conservação, se necessita de frio ou algum tratamento em específico e que proporção tem de ter a embalagem primária e secundária ideal, para satisfazer as exigências do produto.

Tendo em conta a evolução do mundo, também temos de avaliar o impacto ambiental, para que essa escolha seja o mais sustentável possível para o ambiente, e sempre que for possível reutilizar as embalagens para que se faça um novo ciclo com elas.

Adicionalmente, temos o transporte de e para armazéns, assim como o tempo de permanência nos mesmos. É necessário considerar a forma como as embalagens vão ser carregadas e descarregadas, se é manualmente ou com recurso a máquinas e se vão ou não ser empilhadas e em caso afirmativo, até que altura. Isto porque os pacotes que se encontrarem numa posição inferior, vão ter obrigatoriamente de suportar os que se encontram em posições mais elevadas. Nesta fase é também muito importante pensar nas necessidades de acondicionar os produtos mediante a vibração que vão sofrer, pois sem uma boa proteção eles podem danificar-se, quer no transporte quer nas operações de carga e descarga.

Uma característica também a ter em conta é o local de comercialização, pois pode ser de extrema importância não só o tamanho, devido ao espaço que vai ocupar, mas também à apresentação que tem, uma vez que em muitos casos a embalagem é a primeira impressão que um provável comprador, vai ter e vai influenciar de forma positiva ou negativa a sua escolha. Isso aplica-se não só no processo de compra, mas também posteriormente, pois muitos consumidores prezam uma boa experiência na hora de desembalar.

Por fim é obrigatório seguir as regras propostas nos regulamentos e legislação de modo a ter os produtos embalados e protegidos de forma legal, bem como assegurar a segurança alimentar de forma a não colocar em risco a vida de ninguém e ter ainda em foco a ideia de facilitar a vida dos consumidores.

Como já foi referido as embalagens têm muitas formas e funções, para que a sua escolha seja a mais acertada é necessário ter em conta os produtos a que se destinam e todos os critérios que elas preenchem a nível de proteção, condições que suportam, custo, aparência e a acessibilidade. Além da sustentabilidade económica, a embalagem precisa garantir a sustentabilidade ecológica e social (Pigozzi, 2021).

A embalagem de cartão é uma tecnologia muito vantajosa, no que toca ao transporte e armazenamento de produtos, pois possui um custo relativamente reduzido para a sua produção e nesse processo podem ser alteradas as dimensões do produto final, sem que se tenha necessariamente de aumentar proporcionalmente a matéria-prima utilizada. Isto acontece porque existe cartão canelado e esta variante do cartão permite alterar os valores de espessura, mediante as necessidades do produto a transportar, sendo uma parte desse ganho, ar. Uma das formas existentes consiste em três folhas de cartão, em que a interior e a exterior são iguais, mas a que se encontra entre elas, é sujeita a um processo que lhe confere ondulação.

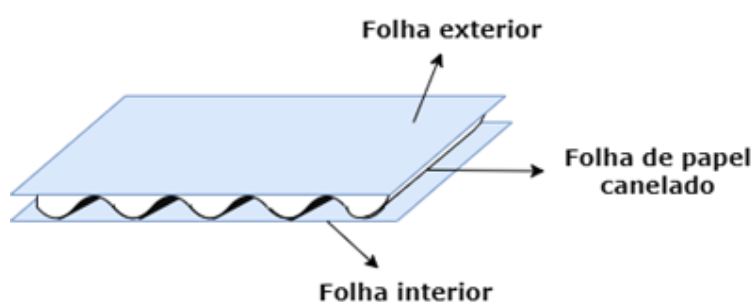


Figura 1 – Constituição de uma embalagem de cartão, adaptado de fonte: (Raja Blog, 2022).

Outras mais-valias do cartão é o seu comportamento com a humidade, que pode ser uma vantagem em algumas aplicações, no sentido de retirar a humidade dos produtos e a sua capacidade de encaixe que lhe confere uma vasta gama de aplicações conforme o seu fabrico. Mas as embalagens em cartão não apresentam apenas aspetos positivos, pois a sua resistência e rigidez são fortemente afetadas pelo teor de humidade presente no ar.

O uso de embalagens para acondicionamento de alimentos congelados tem como principal objetivo a proteção contra a desidratação e, por isso, devem-se utilizar materiais com baixa permeabilidade ao vapor de água. Problemas de queima pelo frio

podem ocorrer, mesmo quando embalagens com excelente barreira ao vapor d'água são utilizadas, se o espaço livre, dentro delas, não for bastante reduzido (Souza *et al.*, 2013).

Quando os produtos são congelados e descongelados é muito importante, preservar ao máximo as suas propriedades e evitar danos físicos, por isso, ter uma embalagem adequada para o congelamento que vai ser aplicado é essencial. Um fator relevante é a impermeabilidade ao oxigénio, visto que, a exposição ao oxigénio, resulta na oxidação de lípidios e pigmentos, o que pode levar à rancificação e alterações na coloração do alimento.

É também vital ter uma boa maleabilidade, a par de conseguir ter um bom desempenho contra danos físicos, pois, após o congelamento, existe um maior risco para a danificação da embalagem, provocado pelas características associadas à congelação e pela manipulação a que vai ser sujeita. Por estes motivos, a possível danificação da embalagem, acresce o risco de diferenciação das propriedades, quer ao nível da qualidade como da validade, podendo comprometer o efeito protetor do embalamento. Quando isto se sucede, o ar que está em contacto com o exterior da embalagem, vai ser o mesmo que está em contacto com os produtos, provocando a invalidação das barreiras impostas pela embalagem e contribuindo também para que ocorra decomposição de uma forma mais acelerada, podendo ainda originar queima causada pelo frio (caracterizada pela perda de humidade do produto para o ambiente) (Souza *et al.*, 2013).

**Alvéolos** Os alimentos estão incorporados em embalagens que permitem quer o seu melhor manuseamento e conseqüentemente melhor transporte, quer a sua melhor segurança, sendo que, conforme os alimentos a transportar, pode ser necessário mais ou menos proteção. No caso de alguns frutos, que são altamente sensíveis ao toque e com isso podem perder as suas qualidades, é essencial ter uma proteção extra. Para esse efeito são utilizados alvéolos, os quais têm a função de proteger o fruto e evitar que ele esteja desgovernado por toda a caixa, onde é transportado, impedindo embates na caixa ou em outras frutas envolventes. Esta proteção extra tem outros efeitos nos alimentos que ajuda a transportar, não só na proteção, mas também no comportamento térmico.

Os alvéolos são determinantes para que muitas frutas cheguem ao seu local de venda ou de consumo nas melhores condições possíveis e para que isso se verifique os mesmos têm de ser adaptados, às diferentes necessidades de cada alimento e ao ambiente a que

estão expostos. Por exemplo, a transpiração pode afetar as frutas devido à acumulação de humidade, assim sendo, é muito importante ter percepção da importância da transferência de calor entre os frutos e que os alvéolos são capazes de criar uma barreira física para os proteger (Madhan *et al.*, 2021).

Para que o espaço presente nos alvéolos seja utilizado da maneira mais eficiente possível, é importante que se utilizem formas diferenciadas de acomodação de frutas nos alvéolos, sendo a disposição das formas geométricas e as respetivas formas escolhidas muito importantes, pois a mesma forma não garante a melhor opção para toda a variedade de frutas existentes. Os alvéolos também se podem diferenciar em termos da sua composição sendo constituídos, por exemplo, por celulose, papel ou plástico.

## **2.4. Materiais de mudança de fase**

A energia é utilizada todos os dias e em vários dispositivos, quer para ligar a televisão como para realizar muitas outras ações. Com a importância que tem na vida cotidiana é normal que existam várias fontes de energia utilizadas de forma a dar resposta à demanda de energia pelo mundo. A energia pode ser classificada em dois grupos de acordo com a forma como é obtida, pois pode ser adquirida a partir de fontes renováveis ou fontes não renováveis. Ambas servem o mesmo objetivo, mas uma delas é preferida pela humanidade, pois se por um lado as fontes de energia não renováveis têm recursos finitos, as de fontes renováveis não. Com isto ganham vantagem em relação às outras, mas não é só por isso que cada vez mais se fala delas, pois este tipo de fonte de energia tem a capacidade de ser menos poluente que a outra.

Alguns exemplos de fontes de energia não renovável são: o carvão, o petróleo e o gás natural e têm sido as principais contribuintes para a produção global de energia por muitas décadas, devido à sua abundância, densidade de energia e infraestrutura estabelecida. No entanto, o facto de estarem associados a desafios ambientais, incluindo poluição do ar, emissões de gases de efeito de estufa e a natureza finita desses recursos, está a levar a que cada vez mais se deixem de utilizar, dando assim lugar a outras fontes de energia.

As fontes renováveis são derivadas de processos naturais e devido a esse fator são reabastecidas em escalas de tempo relativamente curtas. Por esta razão é muito mais viável a sua utilização, pois de um modo geral podemos dizer que elas não têm fim.

Alguns exemplos de fontes de energia renováveis são a energia solar, eólica e hídrica, no entanto, estas fontes de energia limpa padecem de uma certa demora a ser implementadas, no sentido de que toda a energia consumida não provém ainda de fontes renováveis. Isto acontece, pois, para além das suas vantagens, têm também limitações que condicionam a sua utilização integral, por um lado a falta de estruturas pouco eficientes que são incapazes de produzir tanta energia como as não renováveis, e por outro a sua disponibilidade, pois a maior parte das fontes, em específico as três citadas acima, são dependentes das condições climáticas. Isto leva a que quanto menos radiação do sol existir, menos energia solar é produzida, o mesmo acontece com o vento na energia eólica e a água na energia hídrica. Deste modo não existe uma disponibilidade constante de energia sendo que, em condições normais, a disponibilidade de recursos naturais não é linear.

Para tentar minimizar estas limitações, vários métodos estão a ser utilizados, de entre eles métodos de armazenamento de energia em fase de excedente, para uso posterior quando existir falta, podendo o armazenamento ocorrer através de baterias ou de outras formas usando meios que sejam considerados mais vantajosos. Em algumas barragens, por exemplo, pode ser utilizado o armazenamento hidroelétrico bombeado, sendo que este instrumento permite obter energia em horas que ela seja necessária, tendo como modo de funcionamento geral, dois depósitos de água a quotas diferentes e quando existe muita energia é utilizada para que a água seja levada para o depósito com a quota mais alta, já quando existe escassez de energia a água armazenada na quota mais alta vai ser utilizada para gerar energia, quando se desloca para o reservatório que possui a quota mais baixa.

Apesar de todos os entraves na utilização de energias renováveis, a vantagem que elas fornecem para o ambiente é motivo mais que suficiente para se tentar enfrentar os desafios oferecidos à sua implementação. Tendo como principais entraves o armazenamento de energia, na figura seguinte é possível observar os diferentes métodos de armazenamento.

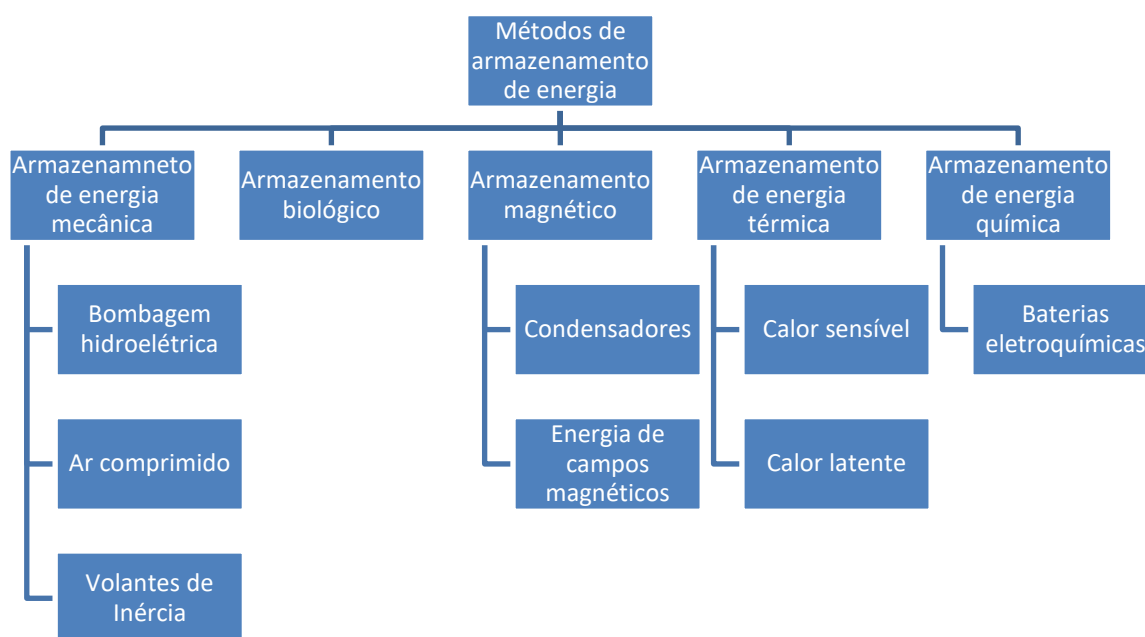


Figura 2 - Diferentes métodos de armazenamento de energia, fonte: (Silva, 2020).

Tendo em conta os diferentes métodos de armazenamento de energia e considerando o foco no armazenamento de energia térmica, que será referido posteriormente, para tal é relevante introduzir os conceitos de calor sensível, calor latente e materiais de mudança de fase.

**Materiais de mudança de fase** O armazenamento de energia térmica pelo calor latente permite a utilização de PCMs, substâncias que ao serem submetidas a variações de temperatura ou pressão alteram o seu estado, existindo assim uma mudança física, o que permite armazenar ou libertar, com eficiência, grandes quantidades de energia térmica durante o processo de transição de fase.

Este trabalho dá prioridade aos PCM com mudança de estado sólido-líquido, que é comumente mais utilizada por ocupar volumes menores durante a transição, aumentando assim a densidade no armazenamento da energia térmica, mas, independente da transição de fase utilizada é muito importante que no processo de mudança de fase não ocorram alterações significativas na composição química dos PCMs (Silva, 2021).

A Figura 3 mostra o comportamento de um material de mudança de fase, que quer esteja a reter ou a libertar calor vai aumentar ou diminuir, respetivamente, a sua temperatura. No entanto a principal atratividade está situada na sua capacidade de armazenar calor latente, calor este que vai ser libertado ou absorvido a uma temperatura constante, ao contrário do que acontece no armazenamento de calor sensível.

Outro ponto diferenciador é a possibilidade de acumular maiores quantidades de energia por unidade de massa, quando comparado ao armazenamento de energia por calor sensível, podendo absorver de 5 a 14 vezes mais calor por unidade de volume que um material convencional (Silva, 2020).

Ou seja, é possível visualizar o aumento de temperatura de um material hipotético em função do seu aquecimento progressivo ao longo do tempo. Os intervalos 'A-B', 'C-D', 'E-F' e 'G-H' representam momentos de armazenamento de calor sensível, pois apresentam alteração de temperatura, enquanto os intervalos 'B-C', 'D-E' e 'F-G' representam momentos de armazenamento de calor latente, por apresentarem uma mudança física e não ocorrer alteração de temperatura durante o processo (Sousa, 2020).

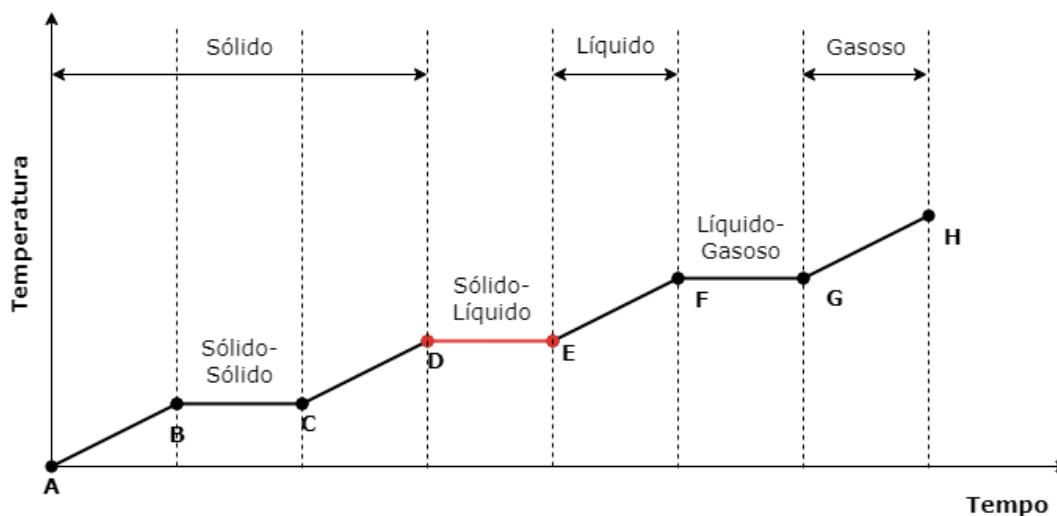


Figura 3 - Relação entre a temperatura e o tempo decorrido do aquecimento de uma substância, fonte: (Silva, 2020).

### **2.4.1. Sistemas de armazenamento de energia térmica**

Os sistemas de armazenamento de energia desempenham um papel essencial na procura por sistemas mais eficazes e económicos que operem com recursos sustentáveis. Esta é uma importante tecnologia para preencher a lacuna entre a oferta e a procura variável de energia obtida por fontes renováveis, devido às intermitências na disponibilidade destes recursos. Permite assim, aumentar significativamente a eficiência na conservação de energia e impactar a economia em diversos setores, como o residencial, comercial e industrial (Silva, 2021).

Relativamente ao armazenamento de energia térmica, *Thermal Energy Storage*, (TES), são tecnologias que permitem a captura e armazenamento, de energia térmica, num determinado período de tempo, quer ela seja proveniente de uma fonte de calor ou frio, para que seja utilizada posteriormente, funcionando assim como um armazenamento temporário.

Desempenham um papel crucial na gestão da procura de energia, melhorando a eficiência energética e facilitando a integração de fontes de energia renováveis na rede. Os sistemas TES operam armazenando o excesso de energia térmica durante períodos de baixa procura ou alta disponibilidade e libertam-na quando necessário, equilibrando assim a oferta de energia.

Devido à sua utilidade e importância, os TES podem ser aplicados em vários setores com diferentes benefícios, mas tendo entre os objetivos maximizar a eficiência energética, para tal podem ser integrados em sistemas de aquecimento e ventilação em edifícios e processos industriais para armazenar calor residual e reutilizá-lo posteriormente. O que causa um armazenando do excesso de energia gerada e desta forma pode contribuir para economizar custos de energia, a sustentabilidade ambiental, reduzindo as emissões de gases de efeito de estufa.

Geralmente é uma tecnologia que permite abranger várias temperaturas de operação, tendo em conta a sua aplicação, sendo classificados como indicado na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos tipos de armazenamento de energia, fonte: (Silva, 2021).

<b>Tipo de armazenamento</b>	<b>Intervalo de Temperaturas (°C)</b>
<b>Armazenamento a frio</b>	Inferior a 25
<b>Armazenamento de calor em baixas temperaturas</b>	Entre 25 e 100
<b>Armazenamento de calor em temperaturas médias</b>	Entre 100 e 300
<b>Armazenamento de calor em altas temperaturas</b>	Entre 300 e 1000
<b>Armazenamento de calor de temperaturas ultra-altas</b>	Acima de 1000

De uma forma geral os TES permitem uma gestão mais eficiente entre a energia fornecida e a energia necessária para satisfazer as diferentes necessidades energéticas, sendo em muitos casos possível geri-la com apenas uma simples unidade de armazenamento. Tendo em vista o futuro, estas tecnologias podem ter um papel significativo no que à redução das emissões de carbono diz respeito, devido ao nível de eficiência atingido e à redução de consumo de energia das soluções existentes (Moreira, 2018).

Ao permitir a separação do fornecimento e da utilização, bem como o aproveitamento do calor rejeitado, estas tecnologias reforçam a eficiência do processo, estabelecendo-se como ativos inestimáveis. Certos casos demonstram que a integração de TES pode ser igual ou quase comparável aos sistemas de energia atuais em termos de funcionalidade, no entanto, algumas destas tecnologias permanecem proibitivamente caras em comparação com alternativas concorrentes (Moreira, 2018).

É importante que seja considerada a aplicação dos sistemas de energia térmica alargada a várias aplicações, por exemplo, no caso dos edifícios em que as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento representam 45% do total da energia utilizada, a aplicação destes sistemas promete ter um impacto benéfico. Recentemente, o desenvolvimento de sistemas atua para que seja possível reduzir custos, aumentar o desempenho dos elementos já existentes e no estudo de novas tecnologias. O TES é a chave para alcançar a conservação da energia em todos os tipos de fontes energéticas, contudo, cada fonte de energia térmica tem o seu contexto único e como tal, a análise deve ser efetuada caso a caso (Moreira, 2018).

Como a maioria das coisas, os sistemas TES enfrentam alguns desafios tais como:

- A necessidade de meios de armazenamento eficientes e económicos;
- Perdas térmicas durante o armazenamento e recuperação;
- Otimização do projeto do sistema e barreiras regulatórias e políticas.

É possível distinguir três métodos utilizados para armazenar a energia térmica, de modo que a capacidade de reter essa energia depende das propriedades termofísicas dos materiais comumente utilizados, são eles: armazenamento termoquímico, armazenamento de calor sensível e o armazenamento de calor latente. Mas atualmente os dois últimos são os métodos principais utilizados e diferem entre si principalmente pelo tipo de material utilizado, pela quantidade de calor armazenada por unidade de massa e pelas temperaturas de operação (Silva, 2021).

Em suma, os sistemas de armazenamento de energia térmica desempenham um papel vital na gestão eficiente da energia térmica, permitindo o equilíbrio energético, melhorando a eficiência energética e apoiando a integração de fontes de energia renováveis.

#### **2.4.2. Armazenamento termoquímico**

Os sistemas de armazenamento termoquímico são um tipo de tecnologia que utiliza reações químicas reversíveis, que envolvem a absorção e libertação de calor para armazenar e libertar energia térmica. Tem uma amplitude de funcionamento em temperaturas situadas entre os 200°C e os 400°C, sendo que nas temperaturas mais

elevadas a desidratação do material dá início ao carregamento do mesmo e em temperaturas mais baixas ocorre o processo inverso, reidratação, onde a energia térmica é descarregada.

Na fase de carregamento o material de armazenamento termoquímico decompõe-se e ocorre liberação de vapor de água. Enquanto os produtos decompostos estão guardados separadamente, o calor pode ficar armazenado durante um intervalo de tempo elevado, até que o descarregamento seja necessário, então nesse momento promove-se o contacto entre os produtos decompostos (Moreira, 2018).

Este procedimento de armazenamento de energia térmica tem como vantagem apresentar a maior densidade de armazenamento de energia e o tempo de armazenamento desta pode ocorrer por largos períodos de tempo, sem perdas significativas.

Contudo apresenta algumas dificuldades técnicas inerentes às espécies químicas utilizadas nas reações, nomeadamente estabilidade dos reagentes e produtos, e, para além disso, as velocidades da reação. Por estas razões, esta tecnologia ainda se encontra em desenvolvimento (Moreira, 2018).

### **2.4.3. Armazenamento de calor sensível**

O calor sensível refere-se à transferência de calor que causa uma mudança na temperatura de uma substância, essa diferença ocorre tanto quando é adicionado calor, como quando lhe é retirado, tendo um efeito proporcional na temperatura dessa substância.

O calor sensível é quantificado pela capacidade de calor específico do material, que mede a quantidade de calor necessário para elevar um certo valor à temperatura de uma determinada quantidade da substância, sendo que isso difere consoante a substância utilizada, pois as diferentes substâncias têm diferentes capacidades de calor específico, que afetam a capacidade que o material tem para absorver ou libertar calor.

O armazenamento de calor sensível, SHS – *Sensible Heat Storage*, é caracterizado pelo armazenamento do calor resultante da mudança de temperatura que ocorre no material sólido ou líquido. Neste processo, a energia térmica está diretamente relacionada à temperatura da substância, que corresponde à variação da energia cinética microscópica,

de maneira que, quando a temperatura da substância aumenta, o valor da energia cinética acumulada também aumenta. Desta forma a quantidade de calor armazenado é diretamente influenciada pela variação na temperatura e pelo calor específico do meio (Silva, 2021).

Os ciclos de operação dos sistemas SHS dependem da capacidade de condução do calor em processos de carga e descarga, através do aumento e da queda de temperatura, respetivamente. Este calor é frequentemente armazenado em materiais sólidos, como as pedras, ou líquidos, como a água ou sais fundidos (Silva, 2021).

#### **2.4.4. Armazenamento de calor latente**

Ao contrário do mencionado anteriormente o armazenamento de calor latente, *LHS-Latent Heat Storage*, refere-se à transferência de calor que causa uma transição de fase na substância, enquanto a temperatura sofre pouca alteração, de um modo geral, a energia é absorvida ou libertada como calor latente sem causar uma mudança significativa na temperatura.

Quando uma substância sofre uma mudança de fase, a energia fornecida ou extraída altera a energia potencial ou o arranjo das moléculas em vez da sua energia cinética. Essa energia é usada para quebrar ou formar ligações intermoleculares, resultando na mudança de fase.

Uma importante característica do calor latente é que ele envolve a transferência de grandes quantidades de energia quando comparado com a transferência de calor sensível. O efeito de um PCM pode ser ilustrado através do material de um PCM natural, a água.

Por exemplo, 1 kg de água necessita de 4,2 kJ de calor sensível para reduzir a sua temperatura em 1°C, assim, para reduzir a temperatura da água a partir de seu ponto de ebulição (100°C) até (0°C) requer 420 kJ de energia. Porém para completar o congelamento da água a 0°C, mais 330kJ de energia (conhecida como a energia do calor latente) precisa ser removida (Silva, 2020).

Outro ponto importante é que, no calor específico, há a necessidade de instalações de grandes dimensões, já no calor latente, a aplicação de materiais de mudança de fase proporciona uma solução onde se utilizam instalações de menores dimensões que

oferecem um maior rendimento de armazenamento de energia, podendo ser integrado em muitos setores industriais. Uma importante característica do calor latente é que, envolve a transferência de grandes quantidades de energia comparada com a transferência de calor sensível (Silva, 2020). Na Figura 4 são descritos os dois principais tipos de armazenamento de energia térmica.

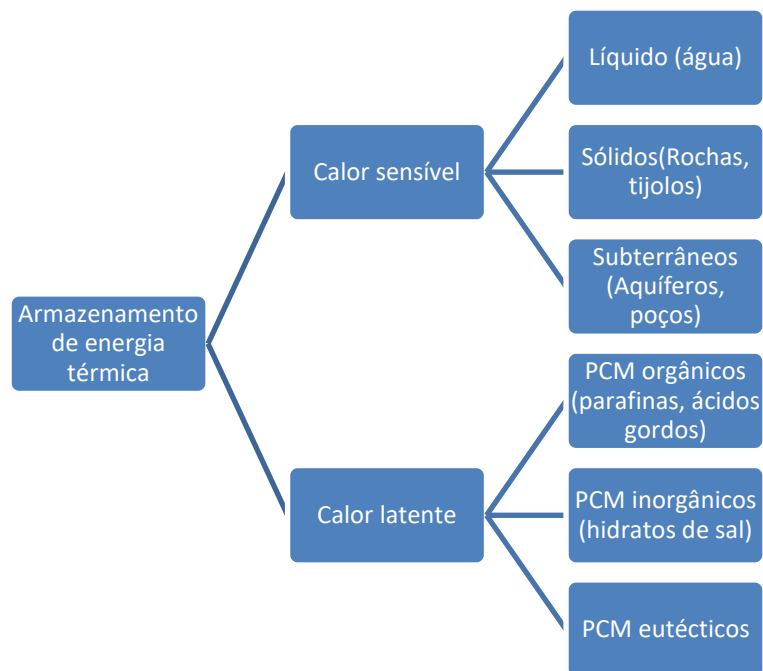


Figura 4 – Diferentes tipos de armazenamento de energia térmica, adaptado de fonte: (Silva, 2020).

Os sistemas que utilizam o armazenamento de calor latente apresentam custos mais elevados que os sistemas de armazenamento de calor sensível, no entanto, a transferência de calor durante as transições é maior, quando comparada com o armazenamento de calor sensível, pois os materiais utilizados no armazenamento de calor latente apresentam uma alta densidade de armazenamento, como consequência da sua característica de absorver o calor em temperatura quase constante (Silva, 2021).

Resumindo, o calor sensível refere-se à transferência de calor que causa uma mudança de temperatura sem mudança de fase, enquanto o calor latente é referente à transferência de calor associada a uma mudança de fase sem mudança de temperatura.

Ambos os conceitos desempenham papéis cruciais na compreensão e utilização da energia térmica em vários processos e aplicações.

Para escolher o meio de armazenamento de energia que nos é mais vantajoso é preciso ter em atenção vários fatores, os intervalos de temperatura desejados, a capacidade de armazenamento, os custos associados e a eficiência. Os meios mais habituais incluem água, materiais de mudança de fase (como parafinas) e materiais sólidos de alta temperatura (como cerâmicas) pois cada meio tem características únicas e adequação para diferentes aplicações.

Este trabalho foca-se na importância do armazenamento de energia por meio de calor latente e no seguimento disso é importante abordar as diferentes mudanças de fase existentes, assim como as suas designações: mudança de fase sólido-líquido, líquido-gasoso, sólido-gasoso ou mesmo transformações sólido-sólido nas quais se operam rearranjos de estruturas cristalinas de um dado material (Sousa, 2020).

- Sólido para líquido: designa-se fusão e ocorre por um aumento da temperatura sobre uma substância que se encontra em estado sólido e que, com a passagem do seu ponto de fusão altera a sua estrutura para líquido, o inverso deste procedimento implica passar de um estado líquido para sólido e classifica-se como solidificação.
- Líquido para gasoso: pode ocorrer por três mecanismos: ebulição, evaporação e calefação. A evaporação, é a vaporização mais lenta que ocorre na superfície do PCM líquido, mesmo abaixo do seu ponto de ebulição, um exemplo disso é a água dos rios a evaporar. A ebulição é a rápida vaporização que ocorre quando o ponto de ebulição é atingido a uma pressão constante, normalmente resultando na formação de bolhas dentro da substância líquida, tal como a água quando ferve. Já a calefação é a vaporização ainda mais rápida que a ebulição e pode ser verificada em uma gota de água que entre em contacto com uma superfície muito quente. O oposto da vaporização é definido por condensação.
- Sólido para gasoso: sublimação é a mudança de fase diretamente para o gasoso sem passar pela fase líquida. Quando um PCM sólido é aquecido, ele pode sofrer sublimação se a sua pressão de vapor se tornar maior que a pressão circundante. O PCM transita de um estado sólido para um estado gasoso, sem formar uma fase líquida intermediária.

### 2.4.5. Propriedades termofísicas

Para utilizar corretamente materiais de mudança de fase, é necessário que seja escolhido o PCM mais adequado, pois só desta forma obtemos o melhor resultado. Tendo isto em consideração, é de muita importância perceber quais são os critérios possíveis ou principais para que ocorra uma seleção correta dos materiais de armazenamento de calor de mudança de fase existentes, segundo Tristão (2014) estes são alguns dos principais critérios, Tabela 5, considerando as suas propriedades térmicas, físicas, químicas e económicas.

Tabela 5 - Propriedades dos materiais de mudança de fase, adaptado de fonte: (Tristão, 2014).

<b>Propriedades</b>	<b>Características</b>
<b>Propriedades térmicas</b>	Condutividade térmica elevada em ambas as fases, líquido e sólido; alta variação da entalpia perto da temperatura de utilização; temperatura de fusão/ solidificação próxima da temperatura de conforto; calor latente elevado para a temperatura desejada.
<b>Propriedades físicas</b>	Baixa variação de densidade; elevada densidade; alteração de volume de mudança de fase reduzida; mudança de fase uniforme na passagem de fase sólido/líquido e líquido/sólido.
<b>Propriedades químicas</b>	Estabilidade química; não há separação de fases; reversibilidade na passagem de sólido/líquido e de líquido/sólido; não tóxico; não inflamável e não poluente; duráveis, não apresentando degradação ao fim de vários ciclos de utilização; compatibilidade com os materiais de construção.
<b>Propriedades económicas</b>	Abundante e de baixo custo.

Atualmente são conhecidas mais de 500 variedades de materiais de mudança de fase, sintéticos e naturais, que cumprem estas propriedades. No entanto, como é perceptível,

nenhum material vai ser capaz de abranger todos os tópicos de seleção, portanto a escolha de um material adequado requer uma análise cuidadosa, sendo por isso uma das etapas fundamentais no desenvolvimento de um sistema de armazenamento de calor latente (Silva, 2021).

#### **2.4.6. Tipos de PCMs**

Os materiais de mudança de fase podem ser categorizados segundo as suas transições de fases, como já foi referido anteriormente existem 4 tipos de trocas de fase, geralmente usadas em diversas indústrias. As trocas de gasoso para líquido e de sólido para gasoso têm uma utilidade limitada pois necessitam de grandes volumes na aplicação dos respetivos sistemas onde se integram.

A transição de fase sólido para sólido acontece quando a estrutura cristalina é alterada para outra estrutura cristalina, mas a mesma mantém o estado sólido. Essa transição pode ocorrer de diferentes modos, dependendo das propriedades do material, da temperatura e da pressão aplicada. Estas transições apresentam valores de entalpia similares aos sólido-líquido tendo como maior vantagem perceptível o fato de não existir mudança de estado como as outras, o que vai ser um ponto positivo a seu favor pois evita as grandes diferenças de volume das restantes transições de fase, e ao mesmo tempo em caso de rutura não ocorre fuga do material de mudança de fase. Mas, em sentido contrário está a sua falta de maleabilidade, o que torna a sua implementação mais complexa em algumas utilizações (Martins, 2017).

Por estas razões, os mais utilizados nos sistemas TES são os sólido-líquido, que podem ser substâncias puras ou misturas. As primeiras são compostas por um só tipo de molécula, em que a mudança de estados é caracterizada por uma função analítica, no espaço, dos parâmetros termodinâmicos (temperatura, pressão e volume), um exemplo é a água. Já as misturas, e como subentendido pelo nome, são a combinação de duas ou mais substâncias.

Estas podem ser eutéticas ou não eutéticas, em que as primeiras têm mudanças de fase num intervalo de temperaturas, enquanto as não eutéticas sofrem mudança de fase para valores exatos de temperatura. No entanto, usualmente, os PCM são apenas categorizados como orgânicos, inorgânicos e misturas (Martins, 2017).

Os orgânicos são subdivididos em parafínicos e não-parafínicos (ácidos gordos, álcoois e glicóis); os inorgânicos, por sua vez, são separados em hidratos de sal e metais; e os materiais eutéticos representam as misturas que podem ocorrer entre os PCMs, sendo estes orgânicos ou inorgânicos (Silva, 2021).

Pelo esquema da Figura 5 é possível ter uma melhor percepção dos diferentes tipos de materiais de mudança de fase e da forma como estão categorizados.

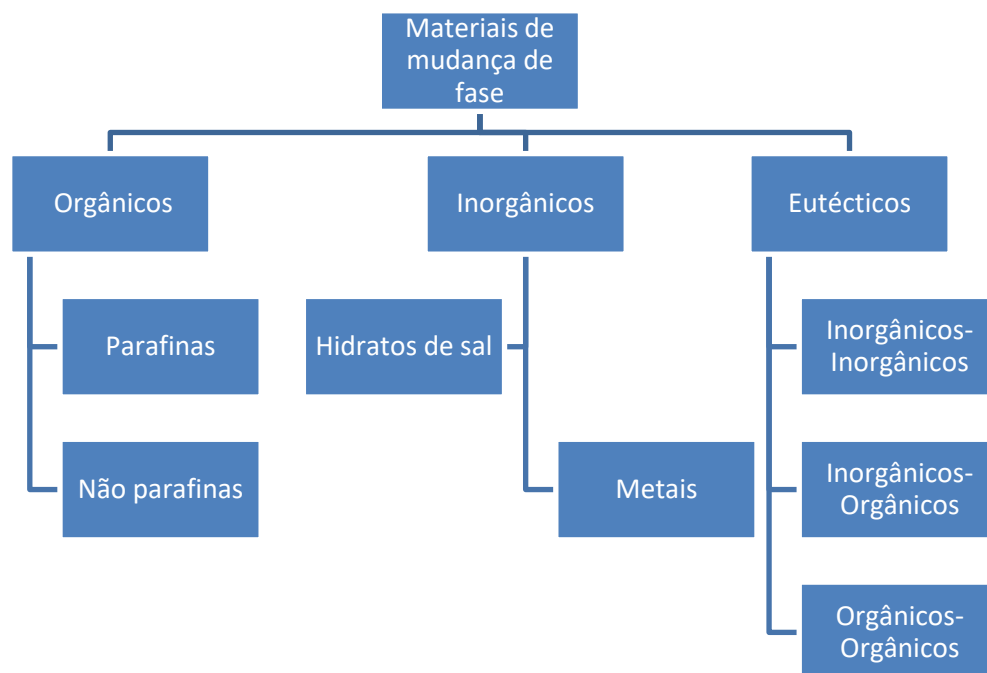


Figura 5 - Esquema com diferentes materiais de mudança de fase, adaptado de fonte: (Sousa, 2020).

Os diferentes tipos de PCM podem ainda ser distribuídos pelos intervalos de temperatura de fusão, em função da entalpia que lhe é característica. A imagem seguinte permite uma melhor percepção das temperaturas de fusão e da quantidade de calor que pode ser armazenado, pelos diferentes tipos de PCM. Esta informação é muito relevante para possibilitar a adaptação, às necessidades de cada aplicação, do material de mudança de fase mais adequado para tal. Contudo temos de considerar que estes dados não são os únicos a ter em conta e é essencial fazer uma junção de qualidades favoráveis ao PCM implementado, a fim de escolher o material mais apropriado para a função a

desempenhar, mais à frente vamos abordar outros pontos, que podem ser importantes considerar.

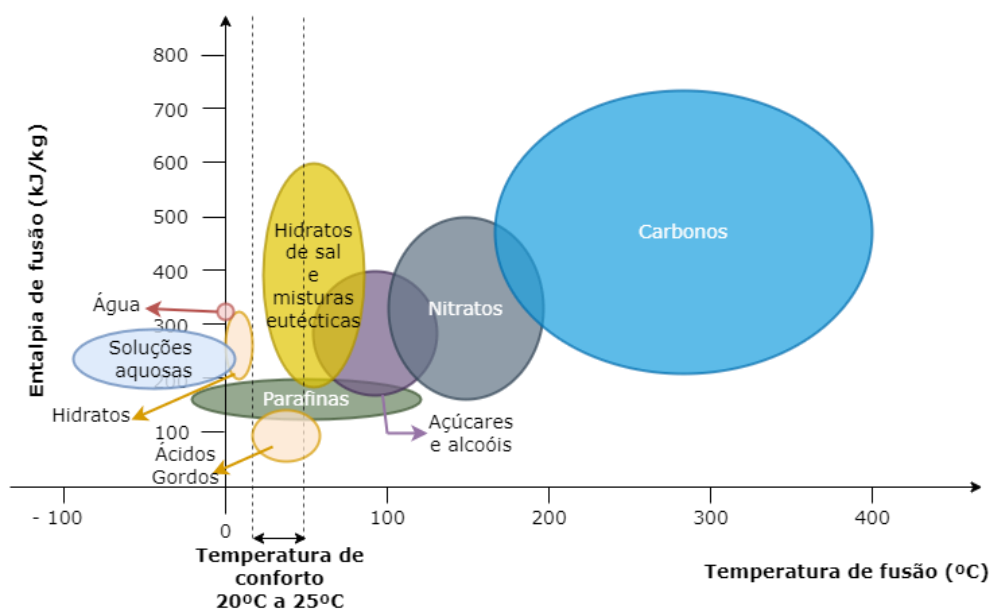


Figura 6 - Distribuição dos diferentes tipos de PCM em função da entalpia de fusão, adaptado de fonte: (Tristão, 2014).

**PCM orgânico:** Os materiais orgânicos de mudança de fase são amplamente utilizados devido às suas características favoráveis. São produzidos por materiais encontrados na natureza, constituídos principalmente por cadeias de carbono-hidrogénio e têm faixas de temperatura de fusão entre 0 e 200 °C. Todavia, devido à grande quantidade de ligações covalentes presentes nas estruturas desses materiais, eles não apresentam estabilidade em temperaturas mais altas (Silva, 2021).

Podem ser enumeradas como vantagens destes, o facto de serem recicláveis, não corrosivos, terem alto calor latente de fusão e a estabilidade química no intervalo de temperaturas referido anteriormente. Têm, também, uma grande capacidade de armazenamento calorífico, na ordem dos 200 kJ/kg, durante o processo de fusão, o que os torna num material com bastante potencial. Mas, o maior benefício que leva ao incentivo da sua utilização, é a sua fusão ocorrer de forma homogénea, sem alterar a sua composição e sem que ocorra segregação devido às diferenças nas densidades entre os materiais sólidos e líquidos, caso contrário, o PCM nunca poderia libertar todo o calor

armazenado. Eles têm assim uma fusão congruente, onde as moléculas na fase da fusão não se decompõem nos seus elementos mantendo a estrutura da parafina (Martins, 2017).

Como desvantagens, podem ser apontadas, a baixa condutividade térmica e o fato de serem inflamáveis (Silva, 2021).

Entre os PCM orgânicos mais utilizados, destacam-se as parafinas e os materiais não parafínicos, que incluem os ésteres, ácidos gordos, álcoois e os glicóis. Adicionalmente, os polímeros reticulados que compõem este grupo têm-se tornado promissores para o armazenamento de calor latente por oferecerem as mesmas qualidades dos materiais parafínicos, porém, com menor custo na produção por serem mais baratos (Silva, 2021).

**Parafinas** A parafina é um material de hidrocarboneto saturado com consistência semelhante à cera à temperatura ambiente, tendo como componente principal os alcanos que são hidrocarbonetos acíclicos e saturados, ou seja, são compostos formados apenas por átomos de carbono e hidrogênio, de cadeia aberta e com somente ligações simples entre os carbonos (Manual da química, s.d.; Li *et al.*, 2021).

A parafina tem a vantagem de ser segura, confiável, barata, não corrosiva, possuir um elevado calor latente de fusão, baixa pressão de vapor na fusão, ser quimicamente inerte e estável, não ocorrendo segregação de fases e encontra-se comercialmente disponível a um custo acessível. Por outro lado, tem como características negativas apresentar uma condutividade térmica baixa, que ronda os 0,2 W/(m·K), alguma variação volumétrica durante a mudança de fase, na ordem dos 10%, a não compatibilidade com contentores de plástico e são ligeiramente inflamáveis. Estes efeitos indesejados podem em parte ser eliminados através da modificação das misturas e da unidade de armazenamento (Mendes *et al.*, 2010).

As parafinas puras apresentam custos elevados e por isso as parafinas técnicas são a alternativa mais acessível para LHS. As parafinas técnicas são misturas de várias parafinas, de diferentes cadeias de hidrocarbonetos, obtidas como produto da destilação do petróleo, que por consequência apresentam um intervalo na temperatura de mudança de fase em vez de um ponto específico, como nas substâncias puras. Algumas das

parafinas utilizadas como PCMs encontram-se na Tabela 6, sendo as que têm designação ‘RT’ parafinas técnicas e as ‘n’ parafinas puras (Moreira, 2018).

Tabela 6 - Diferentes propriedades de parafinas técnicas e puras, adaptado de fonte: (Moreira, 2018).

<b>Nome do PCM</b>	<b>Temperatura de fusão [°C]</b>	<b>Entalpia de fusão [kJ/kg]</b>	<b>Massa volúmica em estado líquido [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Massa volúmica em estado sólido [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Preço [€/kg]</b>
<b>RT 5</b>	5	180	770	880	6-8
<b>RT 25</b>	25	170	760	880	5,5-8
<b>RT 50</b>	50	160	760	880	6-8
<b>RT 82</b>	82	170	770	880	6-8
<b>n-tetradecano</b>	6	229	760		365
<b>n-octadecano</b>	28,4	244	776	841	325

**Ácidos gordos** Dos materiais orgânicos de mudança de fase, que não estão abrangidos nas parafinas disponíveis, os mais utilizados são os ácidos gordos. Estes podem ser obtidos a partir de óleos naturais e possuem boa estabilidade química, um baixo custo, não apresentam segregação de fases, têm resistência à corrosão e propriedades não tóxicas (Li *et al.*, 2021). Podem ser uma alternativa económica às parafinas mais dispendiosas, apresentando uma temperatura fixa na mudança de fase, por serem substâncias puras.

Ácidos gordos tais como o ácido dodecanoico ou (dodecafónico) ocorrem naturalmente na natureza, em produtos da agricultura, como por exemplo óleo de coco, sendo essa uma das razões pela qual podem ser extraídos a baixo custo. Como todos os produtos,

apresentam algumas desvantagens: o odor, baixa densidade, baixa condutividade térmica, que ronda os 0,17 a 0,13 W/(m·K), e alguma variação volumétrica durante a mudança de fase, na ordem dos 10%. Apresentam ainda temperaturas de mudança de fase úteis, que se encontram aproximadamente entre os 16°C e os 69°C. Na Tabela 7 são apresentadas diversas propriedades dos ácidos referidos (Moreira, 2018).

Tabela 7 - Diversas propriedades de ácidos gordos, adaptado de fonte: (Moreira, 2018).

<b>Nome do PCM</b>	<b>Temperatura de fusão [°C]</b>	<b>Entalpia de fusão [kJ/kg]</b>	<b>Massa volúmica em estado líquido [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Massa volúmica em estado sólido [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Preço [€/kg]</b>
<b>Ácidos caprílico</b>	16	148,6	981	901	13
<b>Ácido cáprico</b>	32	52,7	1004	878	11
<b>Ácido palmítico</b>	64	185,4	989	850	11

**Ésteres** Alguns ésteres, obtidos a partir de ácidos gordos, podem ser utilizados como PCMs para TES. São sintetizados a partir da reação de condensação do ácido carboxílico, presente nos ácidos gordos, com um álcool, processo esse conhecido por esterificação. Esta reação é reversível uma vez que é possível forçar a sua direção, removendo água ou usando álcool em excesso. O processo da esterificação permite modificar as propriedades termofísicas dos ácidos gordos.

Por exemplo, os ácidos gordos, ácidos esteáricos e o ácido palmítico apresentam temperaturas de mudança de fase elevadas (62°C e 69°C, respetivamente), porém os seus ésteres, estearato de metilo e palmitato de metilo, apresentam temperaturas de mudança de fase inferiores (37°C a 41°C e 32°C a 35°C, respetivamente), mais próximas da temperatura de conforto (de 20°C a 25°C), mas ainda elevadas. Os ésteres têm boa

estabilidade química e não apresentam segregação de fases, mas são mais caros e tal como os ácidos gordos, têm baixa densidade e baixa condutividade térmica. Na Tabela 8 são apresentados alguns ésteres (Moreira, 2018).

Tabela 8 - Propriedades de dois tipos de ésteres, adaptado de fonte: (Moreira, 2018).

<b>Nome do PCM</b>	<b>Temperatura de fusão [°C]</b>	<b>Entalpia de fusão [kJ/kg]</b>	<b>Massa volúmica em estado líquido [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Preço [€/kg]</b>
<b>Palmitato de isopropila</b>	11-13	100	852	13
<b>Dimetilo sebacato</b>	29-31	135	988	

**Álcoois** Os álcoois adequados com PCMs são os polióis, que apresentam as temperaturas de mudança de fase mais elevadas e também maior calor latente. Por esta razão são adequados para aplicações a temperaturas médias (90°C e 250°C), como aquecedores solares ou recuperação de calor industrial. A sua condutividade térmica é ligeiramente superior aos materiais previamente vistos. Por exemplo para o xilitol a condutividade térmica é 0,52 W/m·K na fase sólida a 20°C e 0,36 W/(m·K) na fase líquida a 140°C (Moreira, 2018).

Esta categoria de álcoois é não tóxica, comporta um baixo custo, mas alguns polióis apresentam polimorfismo, podendo existir em dois ou mais estados cristalinos, pelo que o seu uso em sistemas TES é significativamente afetado, uma vez que as diferentes formas podem ter propriedades físico-químicas distintas. Para que este tipo de materiais possa ser utilizado, a estabilidade química e a estabilidade cíclica são os principais pontos a melhorar. Na tabela seguinte é possível visualizar as propriedades termofísicas de dois álcoois (Moreira, 2018).

Tabela 9 – Propriedades de dois álcoois, adaptado de fonte: (Moreira, 2018).

Nome do PCM	Temperatura de fusão [°C]	Entalpia de fusão [kJ/kg]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Preço [€/kg]
<b>Xilitol</b>	94-97	280	1520	37
<b>Sorbitol</b>	98-100	110	1490	7

**Glicóis** Entre os glicóis, o polietilenoglicol, PEG, tem potencial para ser utilizado como PCM em sistemas TES. Encontra-se disponível numa gama de massas moleculares muito abrangente e a sua temperatura de mudança de fase é próxima da temperatura ambiente de conforto, aumentando com o incremento da massa molecular. O PEG dissolve-se em água e a sua condutibilidade térmica situa-se no intervalo de 0,2 a 0,3 W/m.K. Seguidamente são referidas características de dois PEGs (Moreira, 2018).

Tabela 10 - Propriedades de dois Glicóis, adaptado de fonte: (Moreira, 2018).

Nome do PCM	Temperatura de fusão [°C]	Entalpia de fusão [kJ/kg]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Preço [€/kg]
<b>Polietilenoglicol</b>	4-8	117,6	1128	10
<b>Polietilenoglicol</b>	17-22	129,1	1130	74

**PCM inorgânico:** Os materiais de mudança de fase inorgânicos, são geralmente referentes a compostos em que duas ou mais substâncias se encontram ligadas, não incluindo ligações de carbono a hidrogénio, pois estes são considerados compostos orgânicos (Moreira, 2018). Como a maioria tem um pequeno calor latente e são prejudiciais ao corpo humano, dificilmente são utilizados em sistemas de armazenamento a frio.

Os materiais de mudança de fase inorgânicos são materiais utilizados em aplicações a temperaturas superiores às dos materiais orgânicos e são constituídos por sais e metais,

incluindo as suas ligas. Estes materiais cobrem uma ampla faixa de temperatura de fusão, oferecendo como vantagem uma alta condutividade térmica e alta capacidade de armazenamento de calor latente de fusão. Contudo, os metais são raramente utilizados, devido à escassez, custos elevados e por serem limitados no campo de armazenamento de energia a baixa temperatura devido ao seu alto ponto de fusão (Silva, 2021).

Os sais, por sua vez, são mais acessíveis e a sua transição de fase ocorre através da desidratação/hidratação do sal, de forma análoga à fusão e solidificação. No entanto, apresentam como desvantagem o facto de não serem recicláveis, possuem um alto poder de corrosão e fusão incongruente. Por isso, a usabilidade dos PCMs inorgânicos acaba por ser reduzida, tornando-se mais adequados em instalações industriais para recuperar o calor residual de altas temperaturas (Silva, 2021).

**Sais** Os sais apresentam um elevado ponto de fusão, acima de 250°C, e por consequência são adequados para armazenamento de energia térmica a temperaturas elevadas. Escolhendo um sal apropriado com uma temperatura de fusão dentro da gama operacional dos sistemas TES pode ampliar-se a capacidade volumétrica de armazenamento de energia. Os sais inorgânicos apresentam uma condutibilidade térmica baixa entre os 0,5 e os 1,0 W/(m·K) (Moreira, 2018).

Os nitratos apresentam o ponto de fusão mais baixo e são os sais mais utilizados, incluindo os seus eutéticos, em centrais solares de concentração (Moreira, 2018).

Os hidratos de sal são os materiais inorgânicos mais utilizados em aplicações comerciais. São os únicos sais que permitem operar a temperaturas baixas, ao nível do conforto humano, próximos da gama de temperatura dos 20°C aos 25°C (Moreira, 2018).

As propriedades mais atrativas destes materiais são (Mendes *et al.*, 2010):

- O elevado calor latente de fusão, por unidade de volume;
- A condutividade térmica relativamente elevada (quase o dobro das parafinas);
- A pequena variação de volume na fusão;
- Não são muito corrosivos;

- São compatíveis com contentores de plástico;
- Apresentam uma baixa toxicidade.

Muitos dos hidratos de sal são suficientemente baratos para poderem ser utilizados no armazenamento de energia (Mendes *et al.*, 2010).

Dois problemas mais específicos destes materiais consistem na segregação de fases e na fusão incongruente. Durante o carregamento térmico, os hidratos de sal absorvem calor e sofrem uma desidratação. Após a desidratação, se o sal anidro resultante for completamente solúvel em água, a fusão será congruente. Caso contrário, se o sal anidro for parcialmente solúvel, então a fusão será incongruente (Moreira, 2018).

É desejável ter uma fusão congruente uma vez que o oposto causa uma diferença na densidade entre a água e os componentes salinos (Moreira, 2018). Desta forma o sal sólido, de maior densidade deposita-se no fundo do depósito e fica indisponível para se recombinar com a água no processo inverso de arrefecimento. Isto resulta num processo cada vez menos reversível de fusão-solidificação, em cada ciclo de carga-descarga de energia (Mendes *et al.*, 2010).

**Metais e ligas metálicas** Os metais e as ligas metálicas são os materiais que apresentam maior densidade energética, por unidade de volume e além disso, maior condutividade térmica. São materiais caros, mas devido ao volume que ocupam, são a escolha mais adequada para sistemas TES.

Há algumas desvantagens presentes nestes materiais, que é necessário ter em conta, como apresentarem uma baixa densidade energética, por unidade de massa, apresentam o problema de excesso de peso. Após vários ciclos de funcionamento, os metais e as ligas podem sofrer mudanças na sua microestrutura devido a precipitação, oxidação e segregação o que pode afetar as suas propriedades, incluindo a temperatura de mudança de fase e o calor latente (Moreira, 2018).

Além disto, requerem uma atmosfera inerte para prevenir a oxidação e mesmo assim, alguns gases inertes ainda podem ser absorvidos durante os ciclos de fusão e solidificação, o que também altera as propriedades termofísicas dos metais e das ligas. A

utilização deste grupo de materiais é complexa e requer um planejamento exato, para além de conhecimentos metalúrgicos (Moreira, 2018).

O PCM inorgânico mais barato e comum é o gelo, que tem como vantagens, alto calor latente, temperatura de mudança de fase constante, alto calor específico e proteção ambiental (Li *et al.*, 2021).

**Misturas eutécticas** As misturas eutécticas são substâncias compostas por dois ou mais materiais de natureza orgânica, inorgânica ou de ambos. As substâncias que compõem a mistura fundem-se e cristalizam congruentemente, isto é, sem se decomporem nos seus elementos (Martins, 2017). Estas misturas permitiram a expansão de gamas de temperatura nos PCM.

Os materiais de mudança de fase inorgânicos e orgânicos únicos têm vantagens, mas também têm desvantagens, tendo como uma destas, a sua difícil utilização no campo de armazenamento de energia a baixa temperatura. Para tentar contornar as desvantagens dos PCMs utilizados, sem um complemento, são utilizadas misturas eutécticas, que podem ser usadas para preparar materiais de mudança de fase, de baixa temperatura, com temperatura de fusão adequada e excelente desempenho (Li *et al.*, 2021). Os sais eutécticos têm a vantagem de modificar as propriedades termofísicas conhecidas dos sais, conforme as necessidades do sistema (Moreira, 2018).

Um exemplo disso é a redução do ponto de fusão dos sais puros, para mitigar problemas na transferência de calor, aquando da solidificação. Os eutécticos apresentam pontos de fusão fixos e existem em enormes quantidades e combinações.

As principais desvantagens deste tipo de materiais é não ser possível prever os valores das suas propriedades físicas, como o calor latente e também a condutividade térmica, o custo associado, que pode ser de duas a três vezes superior às outras opções de PCM, inorgânicos incluídos, que já por si, possuem custos elevados (Moreira, 2018; Martins, 2017).

#### 2.2.1.4. Avaliação das características dos PCM

Os vários materiais apresentados anteriormente têm variadas propriedades que os caracterizam e conforme o tipo de composto, a que nos estamos a referir, as suas propriedades vão diferir. Para que fique mais perceptível quais os materiais a utilizar e porque não se devem utilizar outros, é importante fazer uma lista que incorpore as principais vantagens e desvantagens dos diferentes materiais de mudança de fase, de que fazem parte os compostos orgânicos, os compostos inorgânicos e os compostos eutéticos. Tais características são apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 11 - Vantagens e desvantagens dos diferentes PCMs, adaptado de três fontes: (Gonçalves *et al.*, 2017; Martins, 2017; Teixeira, 2019).

<b>PCMs</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Orgânicos</b>	Não corrosivo Estabilidade química Reciclável Elevada taxa de cristalização Ampla gama de temperaturas disponível	Reduzida condutividade térmica Inflamável Reduzida entalpia de mudança de fase Variação de volume durante a mudança de fase
<b>Inorgânicos</b>	Elevada entalpia de mudança de fase Não inflamável Reduzida variação de volume na transição de fase Elevada condutividade térmica Custo reduzido	Corrosão Falta de estabilidade térmica Decomposição e separação de fases
<b>Eutéticos</b>	Elevada capacidade de armazenamento de calor Temperatura de fusão bem definida Entalpia de fusão elevada	Dados de propriedades termofísicas com disponibilidade limitada (falta de informação disponível)

### 2.4.7. PCMs utilizados na conservação de alimentos

Devido as suas características, principalmente a capacidade de armazenar energia sob a forma de calor latente, os materiais de mudança de fase são amplamente utilizados, em diversas aplicações, como substitutos de outros materiais que não possuem qualidades tão fascinantes. Para que seja mais perceptível a discrepância dos PCMs com os restantes materiais, a Figura 7 compara cinco substâncias em relação à sua capacidade de armazenamento de calor. Com esta figura é fácil concluir que os PCMs têm quase três vezes mais capacidade de armazenamento de calor, que o segundo melhor material comparado, o que vai aumentando consoante vamos comparando com os restantes materiais. Desta forma a importância dos PCM nas mais diversas aplicações é reforçada.

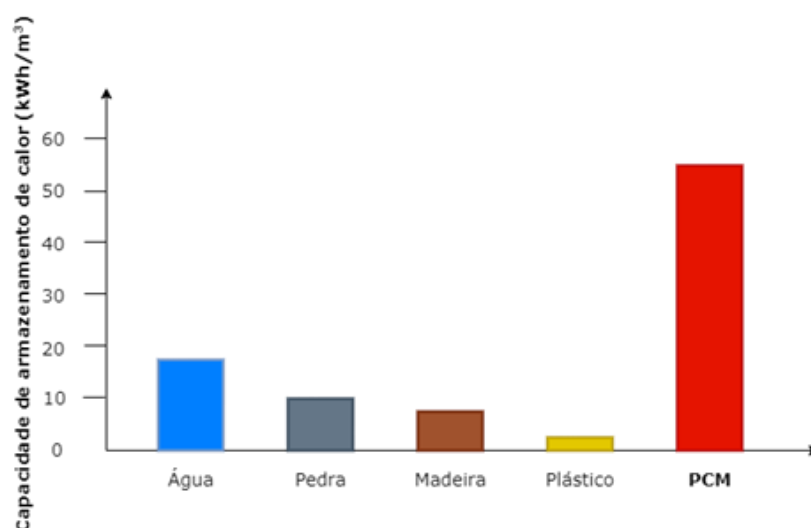


Figura 7 - Comparação da capacidade de armazenamento de calor de diferentes materiais, adaptado de fonte: (Teixeira, 2019).

A agricultura é um setor que gera muitos empregos e conseqüentemente, lucro em todo o mundo. Com o aumento da população mundial, é de esperar que este setor também cresça para fazer face às necessidades de toda a população. Sendo um setor em crescimento, é natural que o consumo de recursos também seja aumentado, o que pode levar a um alargamento dos custos e um gasto de energia mais significativo. Desta forma é importante implementar métodos de armazenamento de energia, que tornem possível a poupança, quer de recursos quer de dinheiro de forma a criar uma cadeia mais sustentável.

Os PCMs podem ser implementados nesses métodos, com vista a minimizar estes problemas e com isso até, evitar o desperdício de alguns alimentos. Estes mecanismos podem ser utilizados em várias etapas do processo de desenvolvimento dos alimentos, tanto na sua produção como na sua conservação. Na indústria alimentar os PCM, podem ter aplicação na manutenção da temperatura durante o armazenamento e transporte dos alimentos, visando a sua melhor conservação.

Os PCM têm várias aplicações, sendo principalmente utilizados para controlar a temperatura em alimentos arrefecidos ou congelados. Vários estudos estão a ser desenvolvidos nesta área, com o objetivo de assegurar os parâmetros necessários para a preservação dos alimentos, mediante a energia gasta para tal. Alguns desses artigos foram referidos na revisão bibliográfica do presente trabalho (Silva, 2020).

Mas mesmo tendo já muitas provas demonstradas das suas capacidades, nas pesquisas realizadas não foi encontrado nenhum estudo de materiais de mudança de fase incorporados em alvéolos para que os alimentos possam ter uma proteção complementar, quando os outros meios utilizados sejam insuficientes ou apresentem falhas, sendo este um aspeto muito importante para a realização deste trabalho.

## **2.5. Nota conclusiva**

Ao longo do presente capítulo, foi introduzido o conceito de alimentação equilibrada e a sua importância para a evolução da humanidade, assim como todos os desafios que a fase da colheita inicia no que à conservação de alimentos diz respeito. Em destaque esteve a importância da utilização do frio para conservar os alimentos após a sua colheita, pois é um procedimento vital para a prevenção e minimização do apodrecimento e desperdício causados pelos processos fisiológicos, que ocorrem no interior das frutas após a sua colheita, sendo que estes processos estão dependentes da temperatura a que os produtos se encontram.

Neste seguimento também os materiais de mudança de fase, com a sua importância no processo de conservação de energia nas variadas formas possíveis. São relevantes para ajudar na manutenção da temperatura durante os diferentes métodos de arrefecimento, o que os coloca como um ponto de referência para atender às várias aplicações. O capítulo teve encerramento com os tipos de PCM existentes assim como a sua utilização na conservação de alimentos.



### **3. Instalação experimental**

Foram realizadas várias instalações experimentais com várias configurações, sendo que as instalações realizadas diferiram em embalagens utilizadas, alvéolos e tempo decorrido, sendo os restantes equipamentos e funcionamentos os mesmos.

A instalação consiste numa câmara de conservação, na qual são introduzidas embalagens utilizadas no transporte de frutas, embalagens essas que possuem alvéolos, com materiais de mudança de fases incorporados ou não. Esses alvéolos estão preenchidos com simuladores de frutas, estes vão sofrer alterações ao nível da temperatura, sendo que essa alteração vai ser controlada pela câmara frigorífica e registada por equipamentos de medição. Os resultados obtidos vão ser tratados e traduzidos em gráficos, para que a sua interpretação seja mais perceptível.

Esta experiência foi realizada no laboratório da UBI e para a sua realização foi necessário um circuito para arrefecimento controlado da fruta, circuito que é composto por um fluido de arrefecimento, que é bombeado para o permutador de energia térmica, e mais tarde usando um sistema de ventilação, o ar arrefecido é conduzido através de tubos para uma câmara térmica e é nesta câmara que encontramos as caixas com os simuladores de fruta.

A experiência apresenta duas fases distintas, uma de arrefecimento e outra de aquecimento. Cada teste começa com o posicionamento dos conjuntos empilhados de caixas dentro da câmara térmica, em seguida, os termopares conectados ao aparelho de registo são ativados para começar a recolher os dados de temperatura em função do clima. O próximo passo é fechar a porta da câmara de armazenamento, definir a temperatura pretendida e deixar o tempo que foi estabelecido. Estas etapas correspondem ao processo de arrefecimento. Na fase de aquecimento, a câmara é desligada e a sua porta é aberta, deixando assim o interior exposto à temperatura ambiente.

### **3.1. Introdução**

É importante tentar preservar ao máximo as frutas que consumimos para que, além de serem consumidas, estejam nas melhores condições possíveis. É com esta ideia de sustentabilidade, de forma a evitar o desperdício de frutas pelo seu mau armazenamento ou transporte, que esta experiência foi realizada. Tendo como objetivo estudar a forma como os frutos são sujeitos às variações de temperatura em função do tempo que decorre, para tal são utilizados alvéolos normais e um novo tipo de alvéolos com materiais de mudança de fase, para que sejam comparadas as diferenças alcançadas entre ambas. O mesmo teste é feito com embalagens diferentes, uma embalagem comercial e uma nova para que assim, através dos resultados obtidos, seja possível verificar se a utilização de uma caixa diferente e a incorporação de um PCM são benéficos na conservação do fruto, a partir do momento em que a temperatura ideal deixa de ser aplicada e ficam sujeitos a condições mais favoráveis à redução da sua vida útil e se esse benefício é significativo ou mínimo, para que, desta forma, se consiga retirar uma conclusão sobre se deve utilizar-se uma opção, ambas ou nenhuma.

### **3.2. Câmara de frio**

A câmara de frio utilizada está presente no bloco 8 da faculdade de engenharias da universidade da beira interior (UBI). A câmara é constituída por duas partes, sendo uma a armação que permite preservar a temperatura que se faz sentir dentro da câmara e a outra parte é a que garante a injeção de ar frio, para que a temperatura esteja nos valores pretendidos. Esta segunda parte que garante a injeção de ar frio no interior é apresentado na imagem seguinte.



Figura 8 - Imagem das entradas de ar no interior da câmara.

Algumas características das entradas da imagem anterior estão representadas na figura seguinte.

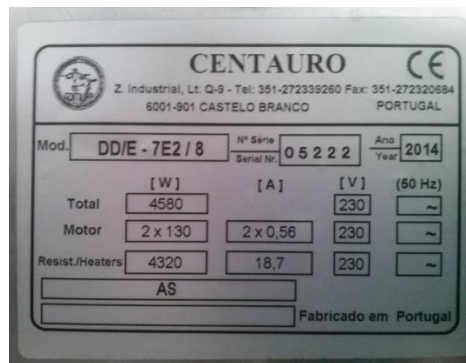


Figura 9 - Algumas características da câmara.

Nas duas imagens seguintes estão duas representações diferentes da câmara, ambas contam com as medidas da mesma, a primeira, Figura 10, é um esquema da vista exterior da parte frontal da câmara.

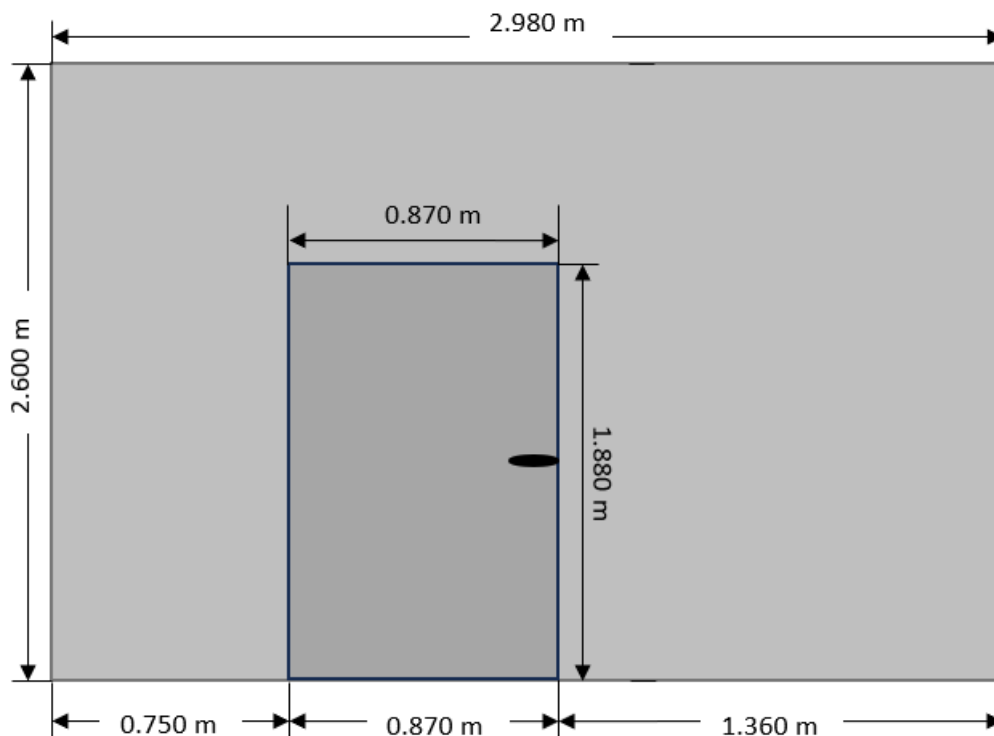


Figura 10 - Esquema da visão exterior da parte frontal da câmara.

Já a segunda tem uma representação do lado direito da câmara sem a parede do lado esquerdo, sendo possível ver as entradas de ar presentes na parte superior da parede do lado direito (que nesta vista fica a parede frontal). Neste mesmo esquema da Figura 11 também está representada a altura da porta de entrada da câmara (para servir como ponto de referência).

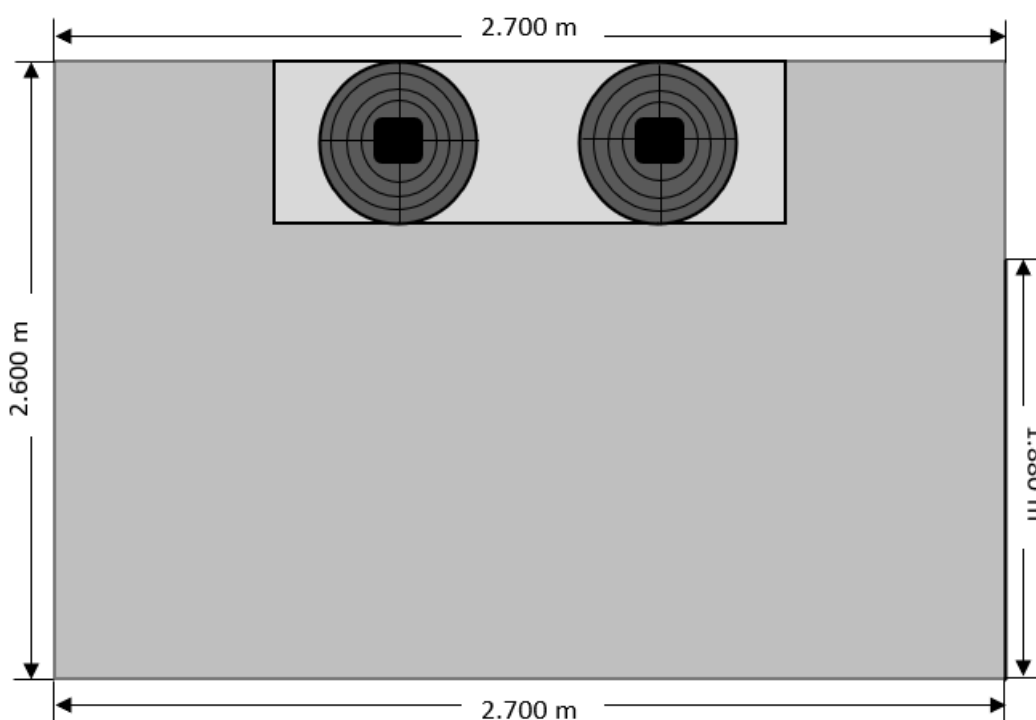


Figura 11 - Esquema de visão interior do lado direito da câmara.

### **3.3. Embalagens**

No que às embalagens diz respeito vão ser utilizadas dois tipos, uma comercial, que tem as características das que são utilizadas diariamente, ao longo da cadeia de distribuição de alimentos, e uma nova, que foi desenvolvida com o objetivo de ser mais eficiente que a comercial.

**Embalagem comercial** As caixas comerciais têm 0,600 m de comprimento, 0,300 m de largura e uma altura de 0,105 m. Apresentam uma ranhura em cada lado para que sirva de pega, dando assim para agarrar em mais que uma posição e conta também com ranhuras mais pequenas, dispersas por toda a caixa. Uma

característica muito interessante desta caixa é o facto de ela ser dobrável (rebatível), tendo a capacidade de se conseguir fechar todas as laterias, ficando plana. Este atributo é importante para que depois de ser utilizada (quando está vazia), o espaço ocupado seja mais reduzido e assim seja mais fácil o seu transporte e arrumação. A figura seguinte representa a caixa referida.



Figura 12 - Caixa comercial utilizada.

**Embalagem nova** O desenho da caixa nova resulta de experiências anteriores realizadas, com elas foi possível chegar a um melhor fluxo de ar e transferência de calor dentro das caixas de embalagens de frutas, sendo esta teoricamente a evolução mais eficaz.

A caixa tem cinco aberturas na parte frontal e cinco na parte posterior, sendo uma das cinco destinadas para a sua movimentação, servindo de pegadas, já nas laterais conta com duas aberturas, uma em cada lado, que podem ser utilizadas para agarrar e movimentar a mesma e conta ainda com outras aberturas mais reduzidas, bem

como o seu fundo, que também tem vários orifícios com tamanhos distintos, com o objetivo de melhorar o fluxo de ar dentro da caixa. A caixa é ilustrada na figura seguinte e tem as seguintes dimensões, 0,600 m de comprimento, 0,400 m de largura e uma altura de 0,117 m.



Figura 13 – Caixa nova utilizada.

### **3.4. Alvéolos**

Para esta experiência vão ser utilizados dois tipos de alvéolos, um comercial que na sua constituição tem cartão, sendo que estes alvéolos são utilizados em muitos locais para transporte de frutas e um outro alvéolo, este uma inovação, que integra materiais de mudança de fase.

O alvéolo comercial tem 5 linhas com 7 colunas cada, o que perfaz um máximo de 35 frutas, possíveis de serem alocadas, como mostra a figura seguinte.



Figura 14 - Alvéolo comercial utilizado.

O alvéolo novo, com PCM, tem 3 linhas com 7 colunas e outras 3 linhas com 8 colunas, o que perfaz um máximo de 45 frutas possíveis para serem alocadas, como mostra a figura seguinte.

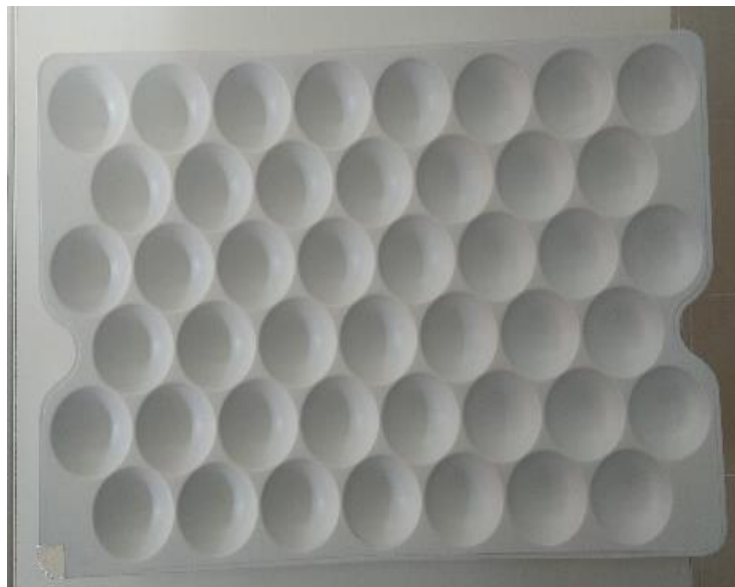


Figura 15 - Alvéolo utilizado que contém PCM.

Neste tipo de alvéolos são incorporados materiais de mudança de fase, para tal são utilizados três PCM distintos, que são incorporados em alvéolos diferentes, ou seja, cada alvéolo tem apenas um tipo de PCM incorporado. Os três tipos de PCM utilizados são: RT2 HC, RT5 HC e RT8 HC. As características, principais, destes materiais são apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 12 - Características principais dos três PCM utilizados, adaptado de fonte: (RubiTherm, 2022; RubiTherm, 2020; RubiTherm, 2023).

<b>Características principais</b>	<b>RT2 HC</b>	<b>RT5 HC</b>	<b>RT8 HC</b>
<b>Gama de temperaturas de fusão [°C]</b>	1-3	5-6	7-9
<b>Gama de temperaturas de congelamento [°C]</b>	2-1	5-6	8-7
<b>Capacidade de armazenamento de calor ± 7,5% [kJ/kg]</b>	200	250	190
<b>Calor específico [kJ/kg·K]</b>	2	2	2
<b>Densidade sólida [kg/L]</b>	0,88	0,88	0,88
<b>Densidade líquida [kg/L]</b>	0,77	0,76	0,77
<b>Condutividade térmica (ambas as fases) [W/(m·K)]</b>	0,2	0,2	0,2
<b>Expansão de volume [%]</b>	12,5	13	12,5
<b>Ponto de inflamação [°C]</b>	>100	115	120
<b>Temperatura máxima de operação [°C]</b>	40	45	40

### **3.5. Simulador de fruto**

Para que nos ensaios não existisse desperdício de alimentos, foram utilizados dois tipos de simuladores, um tipo é constituído por poliestireno e tem como único objetivo simular o espaço ocupado pelas frutas reais, de forma que todos os lugares disponíveis dentro das caixas sejam ocupados, uma fotografia desse simulador é apresentada a seguir.

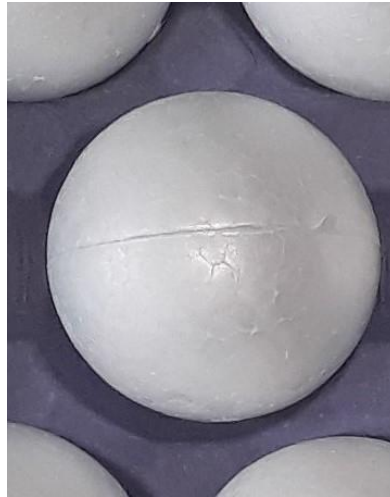


Figura 16 - Fotografia real de um simulador de fruta de poliestireno.

O segundo tipo de simuladores é obtido a partir da solução de ágar-gel para recriar as características da fruta, estes são os únicos que vão ter termopares associados. Uma imagem de um simulador utilizado pode ser visualizada na figura seguinte.

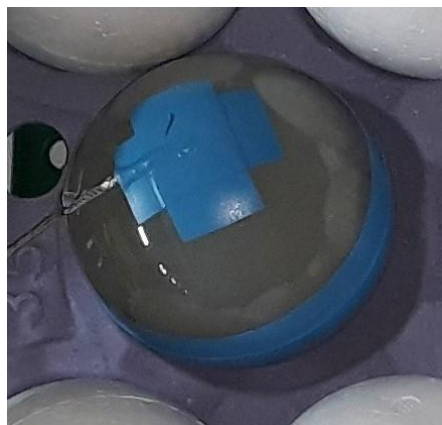


Figura 17 - Simulador de fruto com termopar acoplado.

### **3.6. Equipamento de medição**

Para efetuar a medição da temperatura foi utilizado um termopar do tipo T. Estes sensores foram usados para avaliar a temperatura ao longo do tempo, tanto nos simuladores de fruta como na câmara fria.

Os termopares tipo T possuem um funcionamento numa faixa de temperatura entre os  $-185^{\circ}\text{C}$  a  $300^{\circ}\text{C}$ . Este tipo de termopares é adequado para temperaturas muito baixas e para altas temperaturas, com um limite de erro especial de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Neste tipo de termopares apenas o fio de cobre toca a sonda e ambos os conectores são não magnéticos, com sensibilidade de  $43\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ . A figura seguinte representa o equipamento referido, que foi utilizado para analisar a temperatura.



Figura 18 - Termopar tipo T, fonte: (Leitão *et al.*, 2019).

Para guardar os dados recolhidos por todos os termopares, foi utilizado um *Logger*, equipamento que regista dados ao longo do tempo. Neste caso o registo foi feito num cartão (*SD card*). Esse dispositivo está representado na figura seguinte.



Figura 19 – Imagem real do equipamento de recolha de dados utilizado (*Logger*).

### 3.7. Nota conclusiva

Neste capítulo estiveram em destaque todos os objetos utilizados para a realização da experiência. Foi iniciada uma descrição da instalação experimental e a exposição das suas fases, seguidamente foi referido o propósito da mesma e alguns problemas que pretende reduzir. Posteriormente à introdução, o foco passou para a câmara utilizada no arrefecimento, referindo as suas dimensões e algumas características, o mesmo aconteceu com as diferentes caixas utilizadas. Na parte relacionada com os alvéolos foram distinguidos os vários PCM introduzidos e as suas principais propriedades.

Para finalizar faltava ainda referir os simuladores de fruto e também os equipamentos de medição, ambos foram aplicados na execução dos ensaios. Para todos os objetos utilizados para esses mesmos ensaios foram apresentadas imagens ilustrativas.



## **4. Análise e discussão de resultados**

Neste capítulo vamos descrever as várias experiências realizadas, apresentar esquemas com configurações experimentais e fotografias reais, além disso vão ser elaborados gráficos que reúnem os diferentes dados e permitem retirar os resultados e conclusões.

### **4.1. Introdução**

Como foram realizados vários ensaios, com diferentes configurações/características e para que seja de melhor compreensão os mesmos são apresentados em separado, começando pela avaliação das embalagens e posteriormente analisando se existe e caso exista qual é o PCM mais adequado para o efeito desejado.

Este capítulo tem vários gráficos nas duas análises realizadas, tendo como objetivo retirar a informação presente nos gráficos e concluir qual a caixa e o material de mudança de fase que é mais eficaz, assim como a influência dos mesmos quando adicionados e comparados a um alvéolo comercial.

### **4.2. Estudo comparativo entre embalagens**

Neste primeiro conjunto de ensaios, vão ser estudados os comportamentos das diferentes embalagens e alvéolos, para tal foram realizadas três experiências.

A primeira teve como objetivo estudar as diferenças existentes entre a embalagem nova e uma embalagem comercial, onde foram utilizados os mesmos alvéolos sem PCM.

Na segunda só foram utilizadas as embalagens novas, mas com alvéolos diferentes, um conjunto de embalagens tinha alvéolos sem PCM e as outras tinham alvéolos

com PCM. O tempo total decorrido no arrefecimento e aquecimento na primeira e segunda experiência foi o mesmo, 72 horas.

Já o terceiro ensaio tinha a mesma configuração que o segundo, a única variação foi verificada no tempo em que o arrefecimento ocorreu, tendo sido o dobro do decorrido no ensaio anterior.

#### **4.2.1. Procedimento experimental**

No primeiro ensaio realizado foram colocados os simuladores de fruta dentro dos alvéolos comerciais, os alvéolos nas respectivas embalagens e as embalagens dentro da câmara térmica. No interior da câmara, estão dispostas de forma ordenada, duas células verticais de 7 caixas de polipropileno. Cada uma destas colunas é composta por 245 simuladores de produtos esféricos, que foram colocados em alvéolos comerciais de papelão, destes apenas 5 são feitos ágar-gel com o objetivo de recriar a polpa do fruto e, como referido anteriormente, só estes têm termopares acoplados, os restantes 240 são feitos de poliestireno. Por caixa, existe a possibilidade de inserir 35 esferas, distribuídas por 5 linhas e 7 colunas. Dentro desta possibilidade temos três tipos de configuração, a primeira é quando não existe uma esfera de ágar-gel o que implica que esta caixa não tem termopar, a segunda configuração existente, apenas tem uma esfera de ágar-gel e conseqüentemente um termopar, sendo a mesma posicionada na parte central da caixa (3<sup>a</sup> linha e 4<sup>a</sup> coluna), como mostrado na Figura 20.



Figura 20 - Segunda configuração (um termopar por caixa).

Já na terceira configuração temos três esferas de ágar-gel, a primeira na parte superior esquerda (2<sup>a</sup> linha e 1<sup>a</sup> coluna), a segunda na parte central (3<sup>a</sup> linha e 4<sup>a</sup> coluna) e a terceira na parte inferior direita (4<sup>a</sup> linha e 6<sup>a</sup> coluna), e esta configuração é representada na Figura 21.



Figura 21 - Terceira configuração (três termopares por caixa).

Dentro da câmara as duas colunas de caixas têm a mesma constituição, no que à disposição de termopares diz respeito, considerando a primeira caixa a do topo, na primeira caixa (topo) e na última (base) não existe termopar, a segunda e a sexta tem um termopar, na terceira e na quinta não existem termopares e a quarta tem três termopares.

A segunda coluna tem exatamente a mesma constituição como demonstra o esquema seguinte, de ressaltar que no topo de uma das colunas foi adaptado um termopar para medir o valor da temperatura ambiente sentida no interior da câmara. A coluna a verde é representativa da embalagem comercial e a outra é da nova.

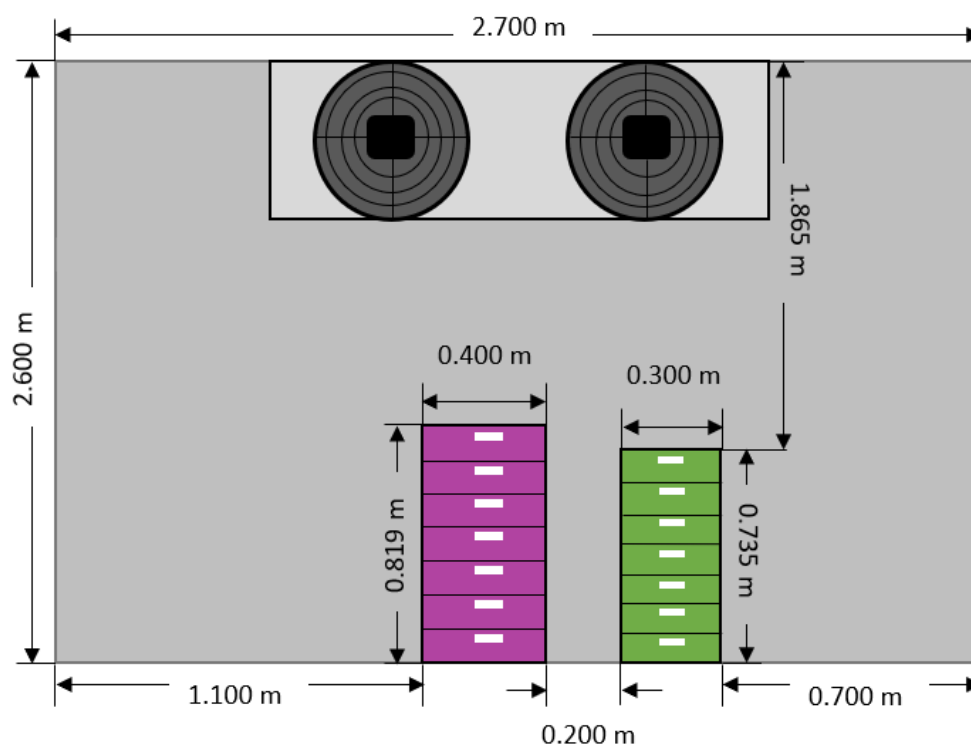


Figura 22 - Esquema da disposição das caixas dentro da câmara.

Relembrando que a experiência consiste em duas fases, uma de arrefecimento e outra de aquecimento. Cada teste começa com o posicionamento das duas pilhas de caixas dentro da câmara térmica (como exemplificado na figura 22), em seguida, os termopares (conectados ao aparelho (*logger*)), são ativados para começar a recolher os dados de temperatura, em função do tempo.

O próximo passo é fechar a porta da câmara de armazenamento e conectar com *setpoint* definido em 2°C por um período de 48 horas. Estas etapas correspondem ao processo de arrefecimento.

Na fase de aquecimento, a câmara é desligada e a porta é aberta, deixando assim o interior exposto à temperatura ambiente. Esta segunda fase dura 24 horas, após esse tempo o ensaio termina. Na Figura 23 temos uma imagem real do interior da câmara com as duas colunas de caixas referidas no esquema anterior.



Figura 23 - Imagem real do interior da câmara térmica com as duas colunas de caixas.

No segundo ensaio foram colocados os simuladores de fruta dentro dos alvéolos comerciais e com PCM (RT8 HC), os alvéolos nas respectivas embalagens novas e as embalagens dentro da câmara térmica. No interior da câmara térmica estão dispostas de forma ordenada duas células verticais de 7 caixas de polipropileno. Uma destas colunas é composta por 245 simuladores de produtos esféricos, onde apenas 5 são feitos de ágar-gel e os restantes 240 são feitos de poliestireno. Já a outra coluna que possui alvéolos que incorporam PCM é constituída por 315 simuladores, onde 5 são feitos de ágar-gel e os restantes 310 são constituídos por poliestireno. Desta forma, por caixa, com alvéolos comerciais é possível inserir 35 esferas distribuídas por 5 linhas e 7 colunas, já nos alvéolos com PCM é possível inserir 45 esferas, 3 linhas com 7 colunas e outras 3 linhas com 8 colunas. Dentro desta possibilidade para os alvéolos comerciais temos três tipos de configuração, a primeira é quando não existe uma esfera de ágar-gel o que implica que esta caixa não tem termopar, a segunda configuração existente apenas tem uma esfera de ágar-gel e conseqüentemente um termopar, sendo a mesma posicionada na parte central da caixa (3<sup>a</sup> linha e 4<sup>a</sup> coluna), como mostrado na Figura 24.



Figura 24 - Segunda configuração numa caixa nova e um alvéolo comercial (um termopar por caixa).

Já a terceira configuração tem três termopares, o primeiro na parte superior esquerda (2ª linha e 1ª coluna), o segundo na parte central (3ª linha e 4ª coluna) e o terceiro na parte inferior direita (4ª linha e 6ª coluna), e esta configuração é representada na Figura 25.



Figura 25 - Terceira configuração numa caixa nova e um alvéolo comercial (três termopares por caixa).

Para a coluna com PCM as configurações são as mesmas quando nos referimos ao número de termopares, mas o posicionamento dos mesmos vai ser ligeiramente

diferente na caixa, pois estes alvéolos têm maior capacidade, desta forma a primeira configuração não tem nenhum termopar, a segunda tem um termopar central, na 3<sup>a</sup> linha e 4<sup>a</sup> coluna, como demonstra a imagem seguinte.



Figura 26 - Segunda configuração numa caixa nova e um alvéolo com PCM incorporado (um termopar por caixa).

A terceira configuração possui três termopares, o primeiro na 2<sup>a</sup> linha e 1<sup>a</sup> coluna, o segundo na 3<sup>a</sup> linha e 4<sup>a</sup> coluna e o terceiro na 5<sup>a</sup> linha e 7<sup>a</sup> coluna. Estas posições são mais perceptíveis na imagem seguinte.



Figura 27 - Terceira configuração numa caixa nova e um alvéolo com PCM incorporado (três termopares por caixa).

A disposição das colunas assim como a sua constituição é exatamente igual ao descrito no ensaio anterior, as únicas diferenças estão nas embalagens pois são novas em ambas as colunas e a coluna do lado direito tem um novo tipo de alvéolo. No interior deste foram incorporados materiais de mudança de fase, para que seja possível perceber as mudanças produzidas, em comparação aos que não possuem MMF's, a representação esquemática é apresentada seguidamente, e em pouco difere da anterior.

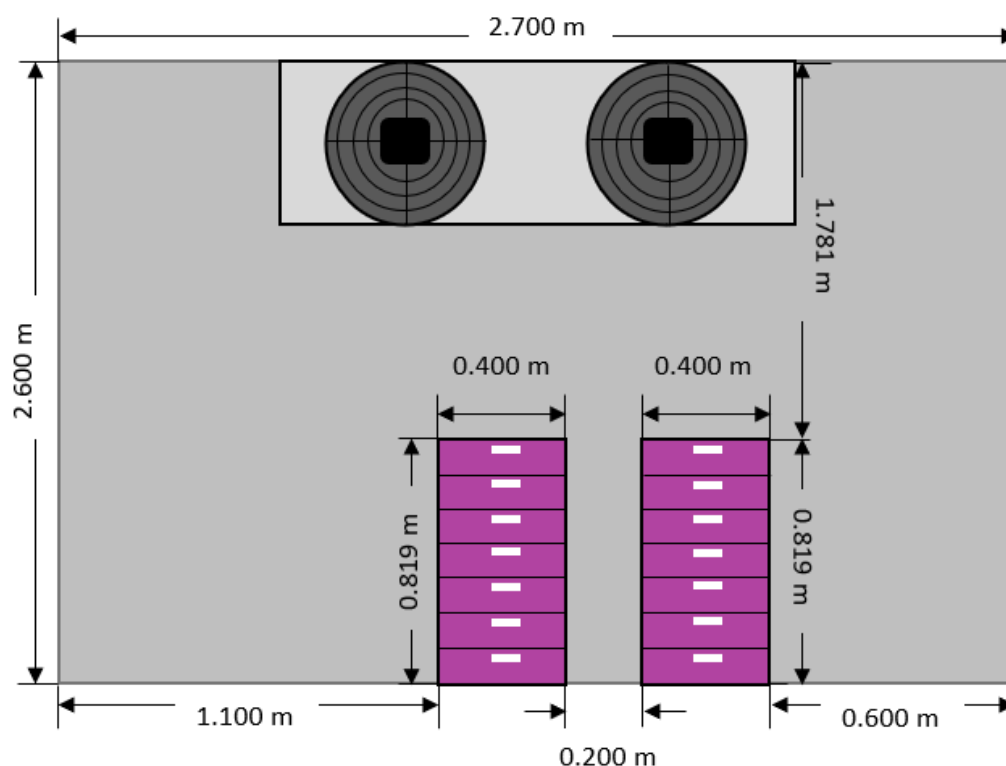


Figura 28 - Esquema da distribuição das caixas dentro da câmara.

Assim como a passada, esta também tem o mesmo procedimento de arrefecimento e aquecimento, sendo o tempo 24 horas e 48 horas respetivamente.

O terceiro ensaio apenas tem uma alteração quando comparado ao segundo, estando esse presente no tempo de arrefecimento que passa de 24 para 48 horas, sendo nesta experiência o tempo de arrefecimento igual ao de aquecimento. Os restantes procedimentos, esquematização e materiais utilizados são iguais.

#### 4.2.2. Análise de resultado

No primeiro ensaio realizado o objeto em comparação foi o modelo de caixas, comercial e a nova. Dessa experiência foi obtido um gráfico que é apresentado na imagem seguinte.

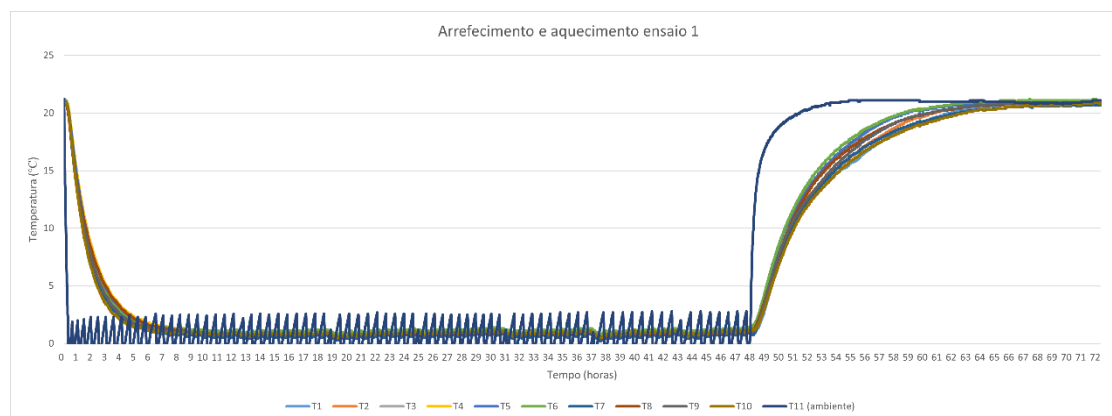


Figura 29 – Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento - Ensaio 1.

Posteriormente o gráfico foi simplificado para melhor compreensão e obtenção de resultados, o mesmo foi dividido em dois. O primeiro de arrefecimento faz referência às 48 horas iniciais, onde T1 é o termopar presente na segunda caixa a contar do topo (primeira que tem termopar) da coluna de caixas novas e o T6 é o termopar presente na segunda caixa a contar do topo (primeira que tem termopar) da coluna de caixas comerciais. Ambas estão na Figura 30, onde é perceptível que o termopar referente às caixas novas demora ligeiramente mais a arrefecer que o termopar referente à caixa comercial.

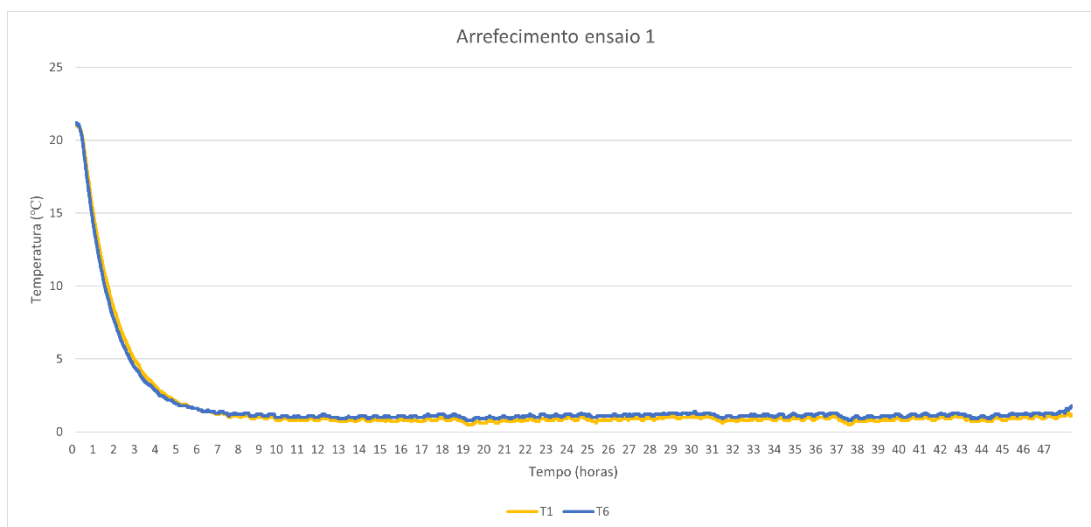


Figura 30 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento - Ensaio 1.

Já na parte de aquecimento, em que as caixas deixam de estar sujeitas a um ambiente com temperatura controlada, é perceptível uma diferença no tempo em que as duas caixas chegam às mesmas temperaturas, sendo que a caixa comercial é a primeira a chegar a temperaturas mais elevadas e só posteriormente é que a caixa nova chega às mesmas. Escolhendo os 10°C, é possível concluir que o termopar T1 chega cerca de 26 minutos depois (26min e 30 segundos) que o T6 presente nas caixas comerciais, quer isto dizer que só alterando a caixa utilizada é possível que os alimentos demorem mais a aumentar a sua temperatura. A diferença é mais expressiva quando aumentamos a temperatura estudada sendo a 16°C de 2 horas e 7 minutos (2:07:30) e a 20°C de 3 horas e 14 minutos (3:14:00), mediante os valores presentes no gráfico seguinte (Figura 31).

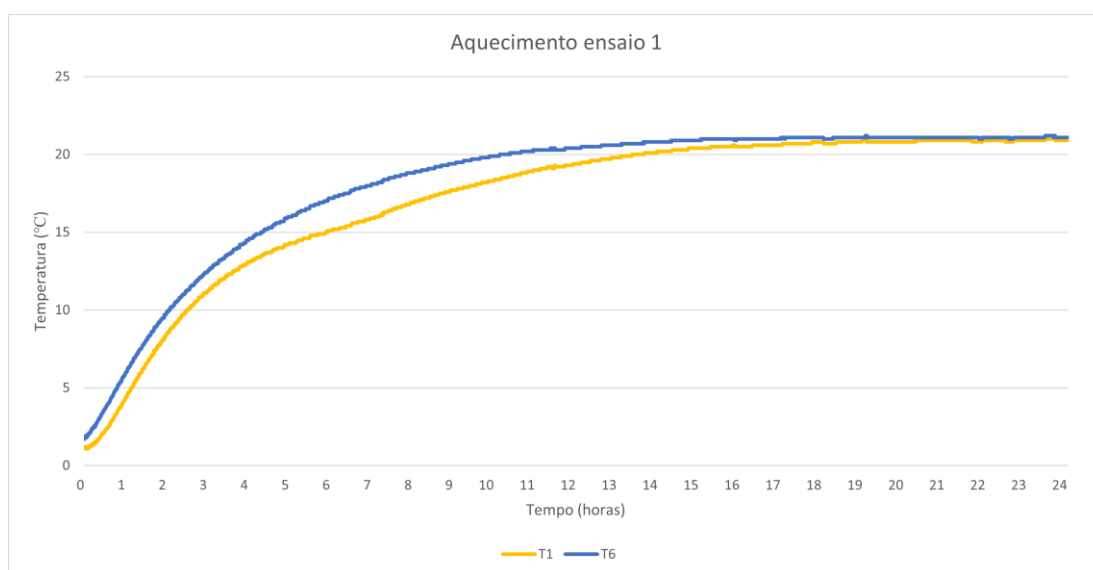


Figura 31 - Variação da temperatura durante o processo de aquecimento - Ensaio 1.

Com os resultados apresentados é possível concluir que a caixa nova tem um melhor desempenho, no sentido de retardar o aquecimento das frutas que contém, comparativamente com a comercial, deste modo nos ensaios que se seguem foi esta a utilizada.

No segundo ensaio o objeto em estudo foram os alvéolos, para isso foram realizadas experiências que colocam em confronto o desempenho de alvéolos normais e alvéolos com materiais de mudança de fase. Na figura seguinte temos o gráfico obtido nas 72 horas do decorrer da experiência. Onde de T1 a T5 estão representados os termopares da coluna sem PCM e de T6 a T10 a coluna que incorpora PCM. Nesta fase também já é possível perceber que as 5 linhas do gráfico mais afastadas na parte de aquecimento correspondem à coluna que incorpora PCM.

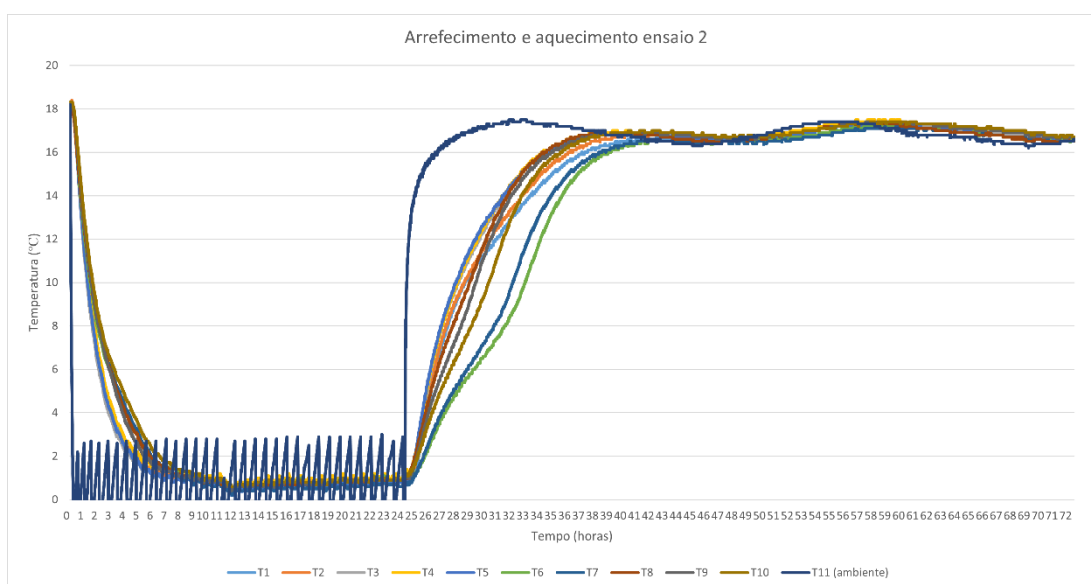


Figura 32 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento - Ensaio 2.

Assim como anteriormente, este gráfico, também vai ser dividido em dois e não serão retiradas a maior parte das linhas para que seja mais fácil de interpretar. Desta forma serão estudados os termopares 2 e 7, T2 e T7 respectivamente, ambos presentes na posição central de cada coluna. O primeiro apresentado vai ser o gráfico de arrefecimento onde os simuladores vão estar sujeitos a temperaturas controladas. Com estes valores observamos que na fase de arrefecimento o termopar 2, presente na coluna sem PCM, é mais rápido a baixar a sua temperatura que T7, mas passado pouco mais de 7 horas os papéis são invertidos e a coluna com PCM tem valores ligeiramente mais baixos, como representado na Figura 32. Com 4°C apresentam uma diferença de 1 hora e 13 minutos (01:13:30) e a 2°C 1 hora e 18 minutos (01:18:00).

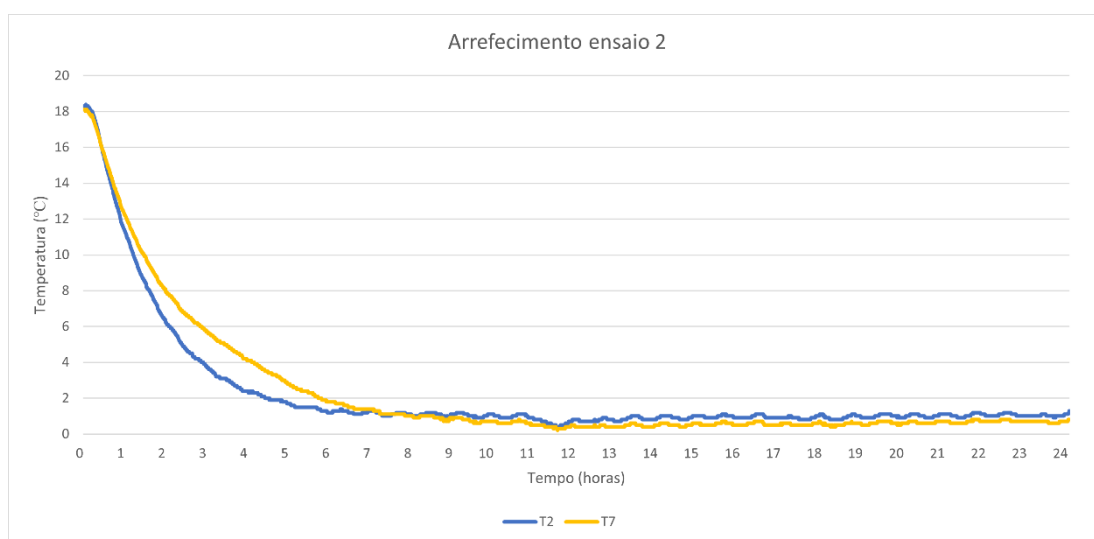


Figura 33 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento - termopares 2 e 7 - Ensaio 2.

Na fase de aquecimento os resultados obtidos são muito esclarecedores, visto que a partir do momento em que se deixa de ter uma atmosfera controlada, as diferenças entre os valores obtidos e o tempo vão aumentar até atingirem o seu máximo entre os 8°C e 10°C. Chegando a estar desfasado em 3 horas e 39 minutos (03:39:30) aos 9°C. Começando a convergir posteriormente até que as linhas se voltam a encontrar, quando atingem o equilíbrio, estes factos são representados na Figura 34.

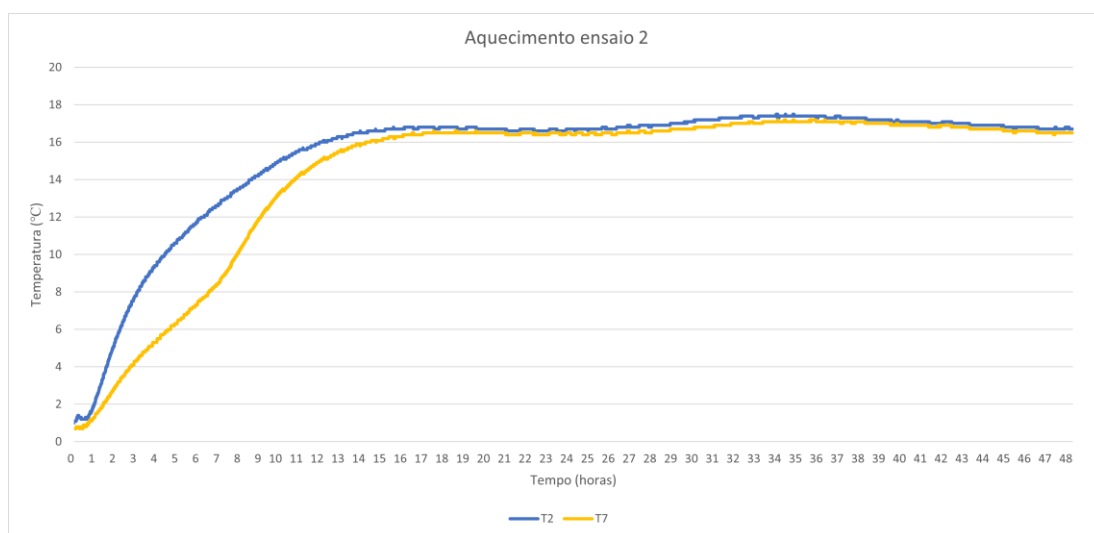


Figura 34 - Variação da temperatura durante o processo de aquecimento - termopares 2 e 7 - Ensaio 2.

Os resultados obtidos anteriormente foram elucidativos da importância dos PCM, dependendo da temperatura a que está a ser utilizado, mas para reforçar, foi realizado mais um ensaio idêntico, que apenas altera o tempo de arrefecimento (de carga) a que os simuladores são sujeitos, o resultado desse ensaio 3 é apresentado na figura seguinte. Com ele é possível ver que em vez de 24 horas de arrefecimento vamos ter 48 horas, mais 48 horas de aquecimento o que vai dar um total de 96 horas de experiência.

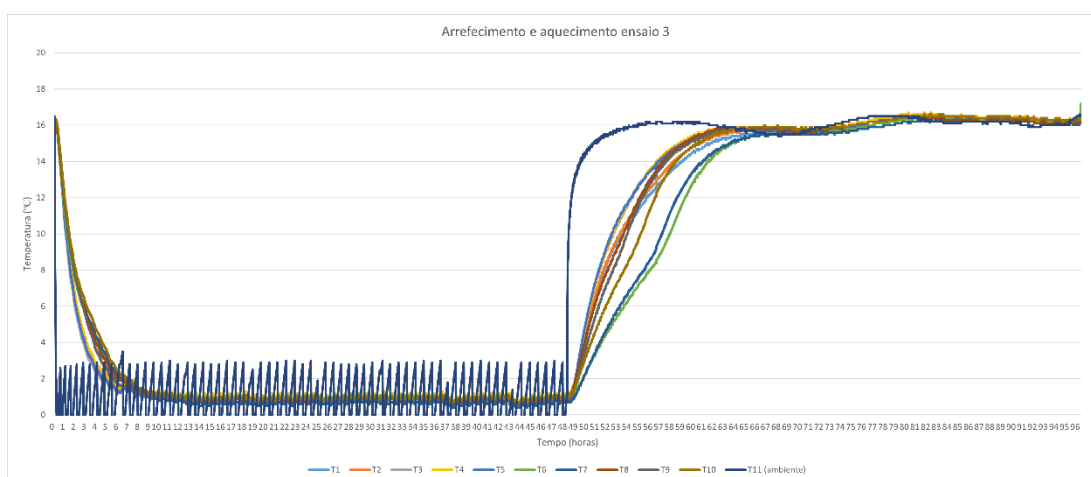


Figura 35 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento - Ensaio 3.

À semelhança do ensaio passado também este vai ser dividido em dois, uma primeira fase de arrefecimento e uma segunda de aquecimento. Para tal vão ser utilizados os mesmos termopares, T2 e T7, que estão na mesma posição central de cada coluna, sendo que T2 está presente na coluna sem PCM e T7 na coluna com PCM. No gráfico de arrefecimento como não existem alterações, nas primeiras 24 horas, o comportamento das duas linhas vai ser semelhante, sendo que T2 vai ser mais rápida a atingir temperaturas mais baixas podendo estar desfasada em 1 hora e 23 minutos (01:23:00) aos 4°C e 1 hora e 31 minutos (01:31:00) para 2°C valores muito próximos dos registados no gráfico de arrefecimento do ensaio 2. O mesmo acontece com a troca de posições, assim como no ensaio passado também neste ocorre entre as 7 e 8 horas do início do decorrer da experiência. Depois desta troca o comportamento vai ser o mesmo que no ensaio 2, a única diferença é que neste vai ser prolongado por mais 24 horas, como é fácil constatar com o gráfico seguinte (Figura 36).

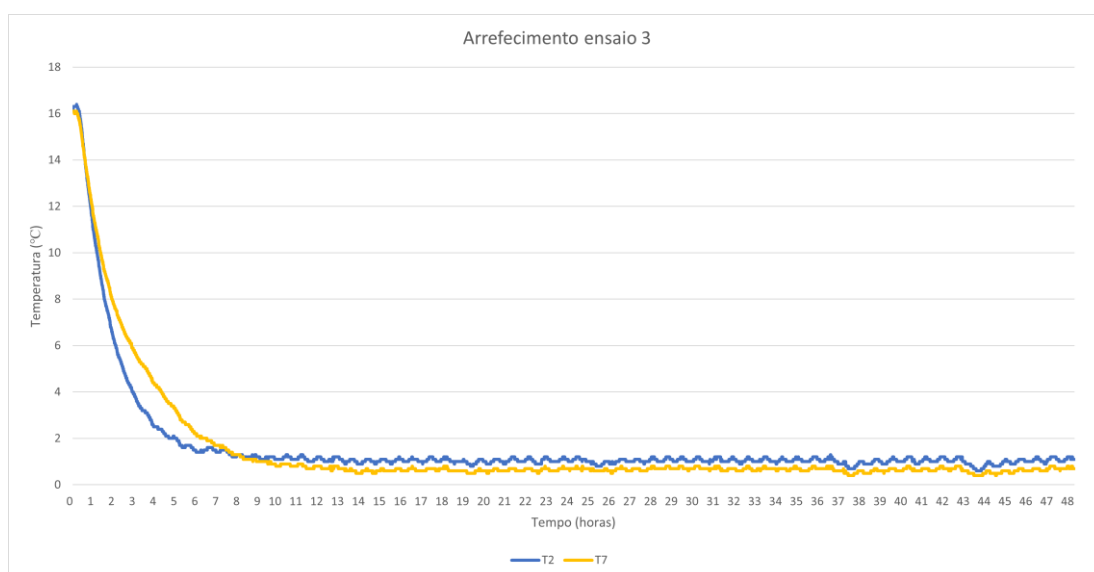


Figura 36 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento - termopares 2 e 7 - Ensaio 3.

No aquecimento os resultados são idênticos aos obtidos anteriormente, visto que a partir do momento em que se deixa de ter uma atmosfera controlada, as diferenças entre os valores obtidos e o tempo vão aumentar até atingirem o seu máximo entre os 8°C e 10°C, chegando a estar desfasado em 4 horas e 4 minutos (04:04:30) aos 9°C. Uma diferença de 25 minutos, quando comparado com o aquecimento do ensaio 2. Começando posteriormente a convergir até que as linhas se encontram, a uma distância muito reduzida atingindo assim um equilíbrio, estes factos são representados na Figura 37.

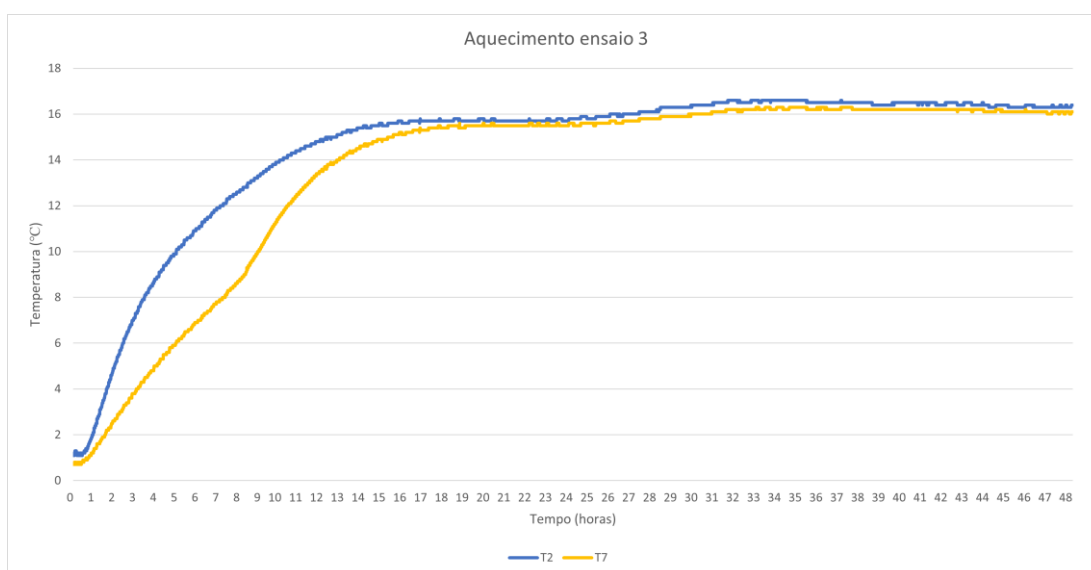


Figura 37 - Variação da temperatura durante o processo de aquecimento - termopares 2 e 7 - Ensaio 3.

### 4.3. Estudo comparativo entre PCM

Neste segundo conjunto de ensaios vão ser alvo de estudo, o desempenho que cada PCM utilizado vai ter. Para o último ensaio realizado no conjunto anterior, agora vão ser testados diferentes PCM, com vista a tentar perceber qual apresenta o comportamento mais próximo, do que é considerado o mais ideal. Para tal vai ser utilizada só uma coluna de caixas por experiência, essa coluna vai conter diferentes materiais de mudança de fase nas diferentes tentativas. Ambos vão estar expostos às mesmas condições de tempo e de temperatura.

Este segundo conjunto de ensaios assim como o primeiro também é constituído por três testes, em todos vão ser utilizadas as embalagens novas e dentro da câmara de frio apenas vai estar posicionada uma coluna de caixas, essas colunas apenas vão diferir no PCM que vai ser introduzido nos alvéolos.

#### 4.3.1. Procedimento experimental

No primeiro ensaio vão ser colocados os simuladores de fruta dentro dos alvéolos, os alvéolos nas respetivas embalagens e as embalagens dentro da câmara térmica. No interior da câmara térmica, está disposta no centro, uma célula vertical de 7 caixas de polipropileno. A coluna é composta por 315 simuladores de produtos esféricos,

destes apenas 5 são feitos ágar-gel com o objetivo de recriar a polpa do fruto e só estes têm termopares acoplados, os restantes 310 são feitos de poliestireno. Os simuladores esféricos foram colocados em alvéolos que contem RT2 HC, um material de mudança de fase. Por caixa existe a possibilidade de inserir 45 esferas, distribuídas por 3 linhas e 7 colunas, mais 3 linhas com 8 colunas. Dentro desta possibilidade temos três tipos de configuração, a primeira é quando não existe uma esfera de ágar-gel o que implica que esta caixa não tem termopar, a segunda configuração existente apenas tem uma esfera de ágar-gel e consequentemente um termopar, sendo a mesma posicionada na parte central da caixa (3<sup>a</sup> ou 4<sup>a</sup> linha mediante o lado que servir de referência e 4<sup>a</sup> coluna). Na figura seguinte temos a configuração referida em que o termopar se encontra na 3<sup>a</sup> linha e 4<sup>a</sup> coluna.

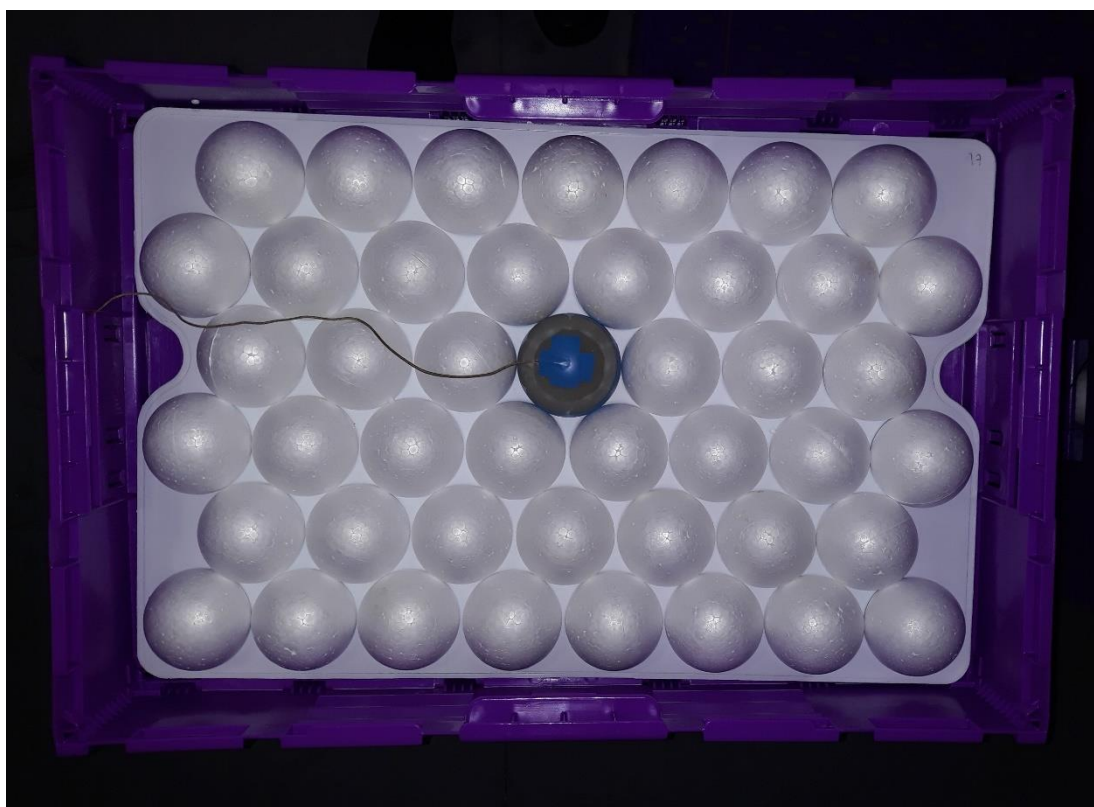


Figura 38 - Configuração 2 de um alvéolo com PCM com 1 termopar (3<sup>a</sup> linha, 4<sup>a</sup> coluna).

Já na terceira configuração temos três esferas de ágar-gel, a primeira na parte superior esquerda (2<sup>a</sup> linha e 1<sup>a</sup> coluna), a segunda na parte central (3<sup>a</sup> linha e 4<sup>a</sup>

coluna ou 4ª linha e 4ª coluna mediante o ponto que sirva de referência) e a terceira na parte inferior direita (5ª linha e 7ª coluna), A configuração em que a segunda esfera se encontra na 3ª linha e 4ª coluna está presente na Figura 39.

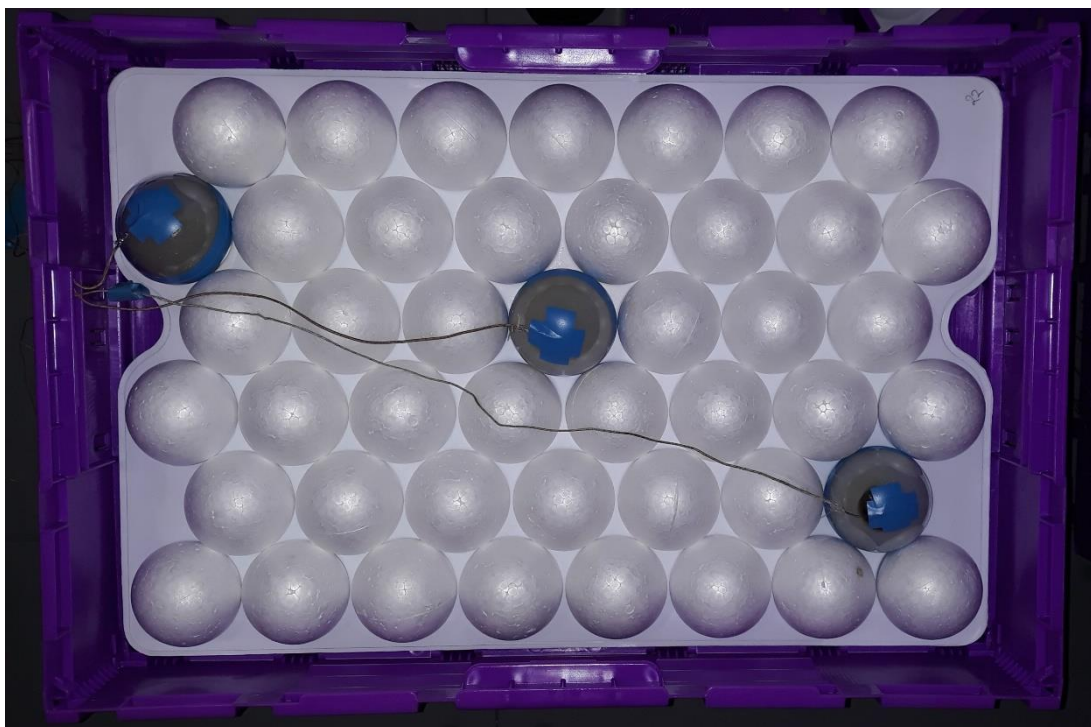


Figura 39 - Configuração 3 de um alvéolo com PCM com 3 termopares em que o termopar central está na 3ª linha e 4ª coluna.

Dentro da câmara, a coluna de caixas tem a mesma constituição que as já referidas no que à disposição de termopares diz respeito. A primeira (no topo), a terceira, quinta e sétima (na base) caixa não têm termopares, a segunda e sexta caixa têm um termopar cada, enquanto a quarta caixa (a central) tem três termopares. A caixa do topo também possui um termopar assim como nas experiências passadas, para medir o valor da temperatura ambiente que se regista dentro da câmara com o decorrer da atividade, o posicionamento no interior da câmara é apresentado na figura seguinte.

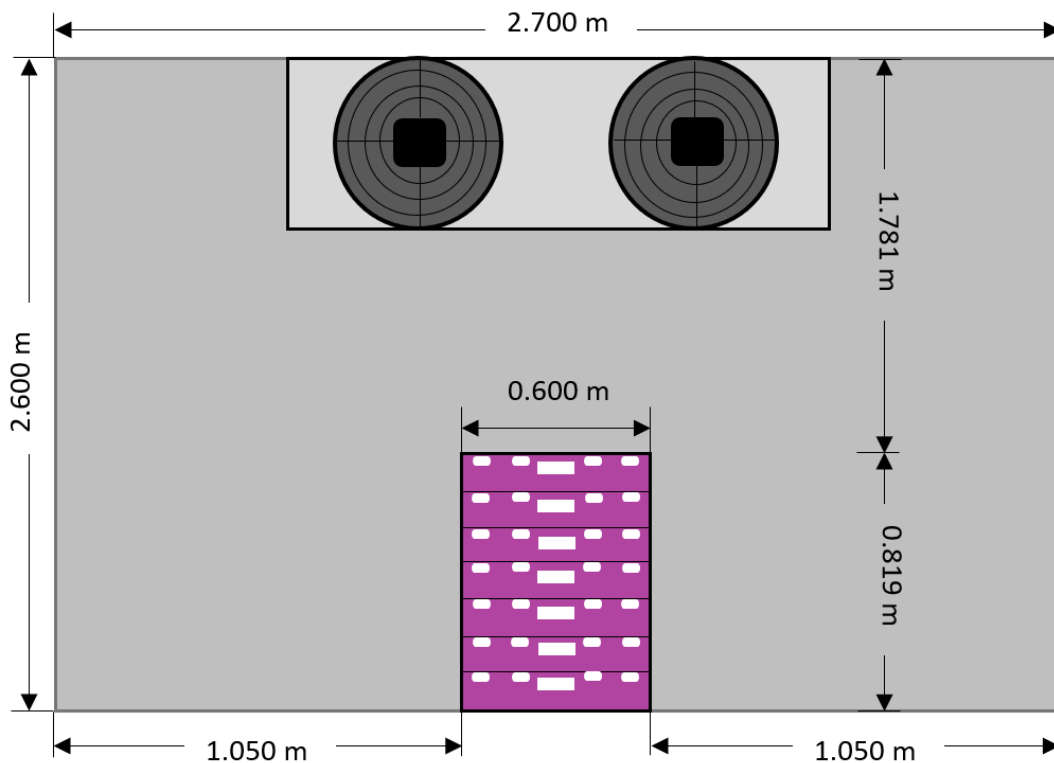


Figura 40 - Esquema da distribuição das caixas dentro da câmara.

Esta experiência, assim como as outras também tem duas fases, a de arrefecimento e de aquecimento. Os testes começam com o posicionamento das caixas na câmara, formando uma pilha, como a figura anterior sugere. Depois dos aparelhos de medição estarem ativos a porta é fechada e é definido o *setpoint* em 2°C. Começa o arrefecimento, que vai ter uma duração de 8 horas, passado este tempo a câmara é desligada e a porta é aberta expondo assim as caixas ao ar, à temperatura ambiente, começando o seu processo de aquecimento, que se vai prolongar por 12 horas. Só após este tempo é que o teste termina. Na Figura 41 é possível ver uma imagem real da coluna de caixas, disposta dentro da câmara térmica.



Figura 41 - Imagem real, no interior da câmara, da coluna utilizada na experiência.

Para os outros dois testes, só um componente é que vai ser diferente, esse composto é o material de mudança de fase, que vai ser alterado no segundo teste, para o RT5 HC e no terceiro para o RT8 HC, tudo o resto vai ser igual.

#### **4.3.2. Análise de resultados**

O primeiro ensaio desta série de experiências vai ser com o PCM RT2 HC, no gráfico seguinte estão representados os 6 termopares da atividade experimental, sendo T6 o do ambiente. Os mesmos estão sujeitos, primeiramente, a uma temperatura de arrefecimento e posteriormente à temperatura ambiente, os resultados obtidos estão expostos na figura seguinte.

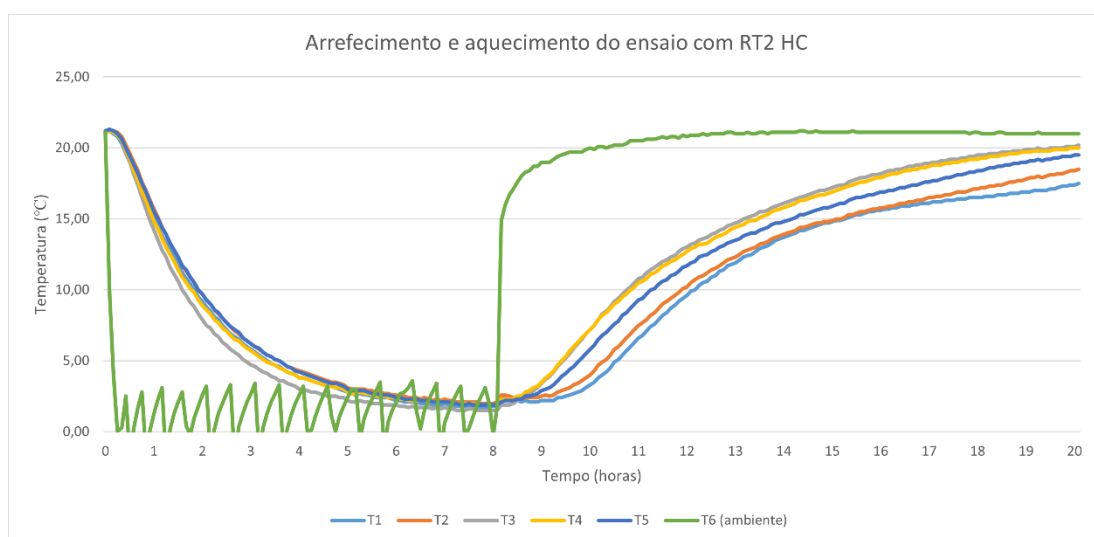


Figura 42 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento do ensaio com o PCM RT2 HC.

Com o ensaio anterior feito, foi realizado outro, desta vez com as mesmas características e tempo de realização, mas com um PCM diferente do anterior. Neste caso foi utilizado o PCM RT5 HC, sendo os resultados observáveis na figura seguinte.

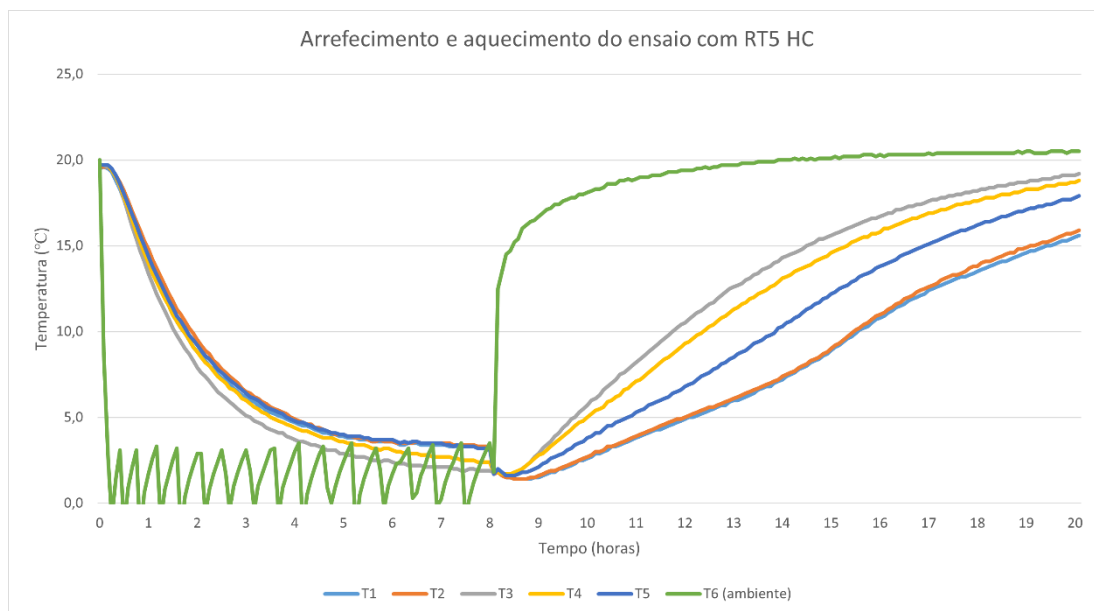


Figura 43 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento do ensaio com o PCM RT5 HC.

Seguidamente foi realizado o mesmo teste, mas desta vez com o PCM utilizado nas experiências da primeira parte da análise de resultados, o RT8 HC, tendo obtido o gráfico presente na Figura 44.

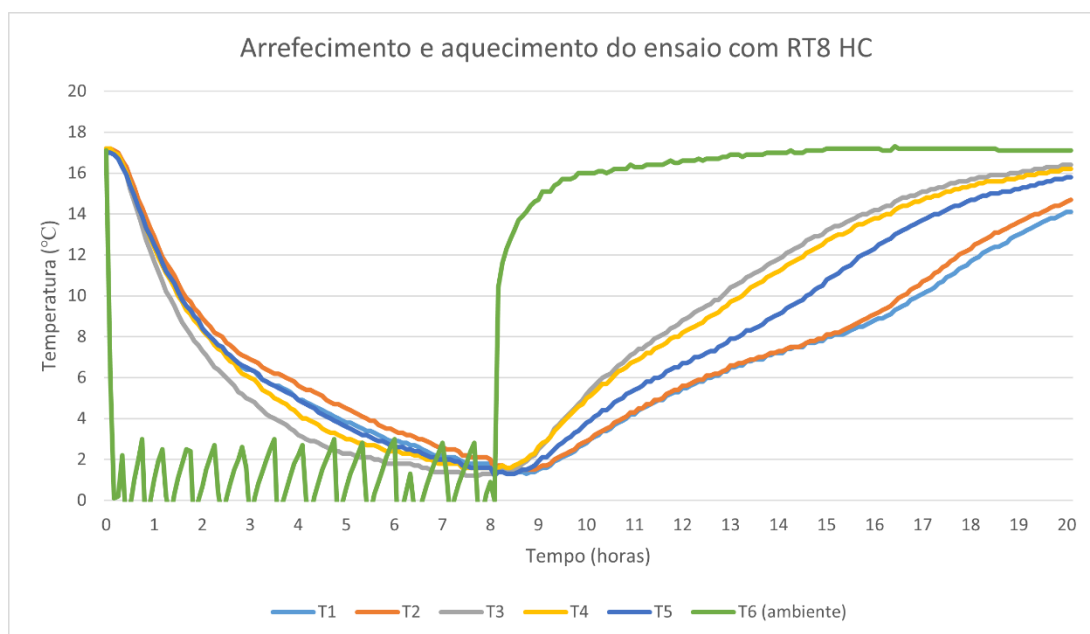


Figura 44 - Variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento do ensaio com o PCM RT8 HC.

Chegando aqui e para que seja mais perceptível qual o PCM mais adequado e a sua evolução com o passar do tempo, comparativamente aos outros, é de extrema importância fazer um estudo comparativo entre os três. Para que esses valores sejam facilmente entendidos, vai ser utilizado apenas um termopar de cada PCM, sendo que o termopar escolhido foi o central, da coluna presente em cada ensaio, neste caso o termopar 2.

Com esta avaliação é fácil perceber que o PCM RT2 HC é o que arrefece mais rápido, mas na fase de aquecimento é o menos eficiente dos três, para a experiência realizada, sendo o que tem um desempenho mais negativo. Já os outros dois têm um desempenho mais equilibrado, principalmente no início do aquecimento, depois de decorridas as primeiras 8 horas da experiência e até às 14 horas da mesma, estando muito próximos no intervalo de temperatura de 1,5°C até aos 7,5°C. Após essa

temperatura têm um comportamento mais diferenciado, começando a divergir, atingindo a sua diferença máxima pelos 11°C, onde o desfasamento atinge 1 hora e 15 minutos, passando depois a convergir lentamente sem nunca se intercetarem no decorrer da experiência, assim como retrata a imagem seguinte.

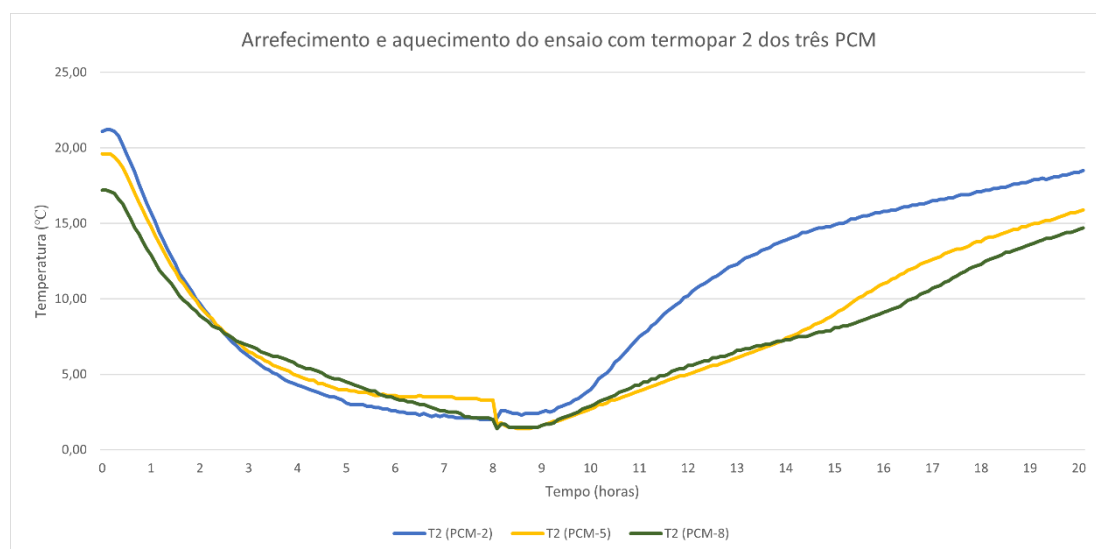


Figura 45 – Comparação da variação da temperatura durante o processo de arrefecimento e aquecimento nos três PCMs - termopar 2.

#### 4.4. Nota conclusiva

Neste capítulo final, foram descritos todos os ensaios das diferentes variações de temperatura que as frutas sofrem, assim como possíveis resoluções para esses efeitos. Dessas experiências são desenvolvidos esquemas, sendo que todas as suas especificações foram referidas e os dados tratados e apresentados em forma de gráficos, para que a sua compreensão fosse ainda mais intuitiva os gráficos foram simplificados, e a informação neles presente foi descrita.

Com esta análise foi perceptível a influencia que os PCM têm quando aplicados em alvéolos e utilizados como meio de preservação de alimentos, agregando valor para a cadeia de frio. Esta influência ainda é mais determinante quando temos em conta que todos os valores de temperatura, que se conseguem reduzir ao longo do tempo, contam para que menos alimentos sejam estragados e conseqüentemente menos pessoas passem fome e menos recursos sejam utilizados desnecessariamente.



## **5. Conclusões**

No capítulo presente é realizada uma recapitulação do trabalho desenvolvido na elaboração da presente dissertação, assim como também são realizadas recomendações para possíveis trabalhos futuros no campo da conservação de alimentos utilizando materiais de mudança de fase.

### **5.1. Recapitulação**

A procura de métodos ou tecnologias que possam, de alguma forma, influenciar a forma como a humanidade vive é sempre útil. Uma vez que, por um lado, a agricultura está mais presente nas zonas rurais e, por outro, é nas cidades ou em regiões afastadas da sua área de produção que se consome a maior parte destes frutos. O armazenamento e transporte são uma parte muito importante para que isso seja possível.

Tendo em atenção o que foi referido, foram desenvolvidas diferentes experiências que têm como objetivo a análise dos valores registados de uma caixa nova, em comparação com uma caixa comercial. Ensaio semelhantes foram feitos para analisar o impacto da incorporação de PCM na cadeia de frio, para tal foram desenvolvidos alvéolos que incorporam materiais de mudança de fase e comparados com os alvéolos comerciais, assim foi possível ter uma base para fazer uma comparação entre ambos os desempenhos.

Com a informação que foi tratada, foi possível obter gráficos esclarecedores da relevância de ambas as tecnologias incorporadas. Apenas com os valores obtidos na experiência, referente à caixa nova, foi observada uma diminuição da temperatura em comparação à outra caixa em estudo. Essa diferença foi ainda mais expressiva quando os PCMs foram utilizados, sendo o que demonstrou melhores resultados o RT8 HC.

Assim, é fácil perceber que esta experiência comprova a importância de incorporar no alvéolo, materiais de fase de mudança, essa importância é ainda maior em alimentos sensíveis a mudanças bruscas de temperatura, pois desta forma estamos a

proporcionar mais tempo para o seu consumo e isso significa não só que temos mais tempo para serem transportados e vendidos, obtendo assim mais lucros, mas também menos matéria orgânica desperdiçada, o que nos permite ter menos resíduos e conseqüentemente ser necessário produzir menos para satisfazer as mesmas necessidades.

## **5.2. Sugestão para trabalho futuro**

Como sugestão para a realização de um trabalho futuro, que esteja relacionado com o tema da presente dissertação, destaca-se a realização de dois ensaios como os dos diferentes PCMs. Um dos ensaios tem PCM incorporado nos alvéolos utilizados dentro da câmara e no outro não. Dentro da câmara apenas vai estar uma coluna, o objetivo será estudar melhor a diferença dos alvéolos com e sem PCM, para isso desta vez, a porta da câmara não vai ser aberta na fase de aquecimento. Em contrapartida vai ser medida a frequência de picos de aquecimento, desta forma e utilizando cálculos para chegar a valores perto da realidade, é possível calcular a quantidade de energia poupada, só pela existência de PCM nos alvéolos, devido à redução das vezes que a câmara vai ligar para arrefecer o ambiente. Sendo possível perceber se, com a energia gasta, existe poupança devido à incorporação de PCM's e como essa diferença aumenta com a variação do intervalo de temperatura a que a fruta tem de estar.

## Referências bibliográficas

- Manual da química. (sem data). *Alcanos. Composição química dos alcanos ou parafinas*. Obtido 2 de Outubro de 2023, de <https://www.manualdaquimica.com/quimica-organica/alcanos.htm>
- Almeida, D. (2005). *MANUSEAMENTO DE PRODUTOS HORTOFRUTÍCOLAS*. [www.principia.pt](http://www.principia.pt)
- Amit, S. K., Uddin, M. M., Rahman, R., Islam, S. M. R., & Khan, M. S. (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. Em *Agriculture and Food Security* (Vol. 6, Número 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0130-8>
- Anese, R. de O., & Fronza, D. (2015). *Fisiologia Pós-Colheita em Fruticultura*.
- Barrau, R. (2020). *Análise do Ciclo de Vida de Produtos Frutícolas Caso de Estudo: Cereja Do Fundão*.
- Raja Blog. (2022). *CARTÃO CANELADO\_ TIPOS E UTILIZAÇÕES NAS EMBALAGENS*. [https://www.rajapack.pt/blog-pt/embalagens/cartao-canelado-tipos-e-utilizacoes-nas-embalagens#Apresentacoes\\_do\\_cartao\\_canelado](https://www.rajapack.pt/blog-pt/embalagens/cartao-canelado-tipos-e-utilizacoes-nas-embalagens#Apresentacoes_do_cartao_canelado)
- Cenci, S. A., Soares, A. G., & Júnior, M. F. (1997). *MANUAL DE PERDAS PÓS-COLHEITA EM FRUTOS E HORTALIÇAS*. [www.ctaa.embrapa.br](http://www.ctaa.embrapa.br)
- Costa, S. D. Da. (2017). *A IMPORTÂNCIA DA REFRIGERAÇÃO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE PRODUTOS HORTOFRUTÍCOLAS*.
- Cunha, J. P. da, & Eames, P. (2016). Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials - A review. Em *Applied Energy* (Vol. 177, pp. 227–238). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.097>

- Curto, J., Ilangovan, A., Gaspar, P. D., & Silva, P. D. da. (2019). *CFD MODELLING OF PCM ALVEOLI FOR FRUIT PACKAGING BOXES*. <http://www.procedia-esem.eu>
- Dionysio, R. B., & Meirelles, F. V. P. (2003). *Conservação de alimentos*.
- Espeau, P., Mondieig, D., Haget, Y., & Cuevas-Diarte, M. A. (1997). «Active» package for thermal protection of food products. *Packaging Technology and Science*, 10(5), 253–260. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1522\(199709/10\)10:5<253::AID-PTS403>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1522(199709/10)10:5<253::AID-PTS403>3.0.CO;2-L)
- EURLex. (1994). *EUR-Lex - 31994L0062 - EN - EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A31994L0062>
- Ferreira, J. A. M. (2016). *Caracterização do processo de arrefecimento do pêssego na fase de pós-colheita*.
- Segurança alimentar. (sem data). *Fumagem - Segurança Alimentar*. Obtido 2 de Outubro de 2023, de <https://www.segurancalimentar.com/fumagem/>
- Gin, B., Farid, M. M., & Bansal, P. K. (2010). *International High Performance Buildings Conference*. <http://docs.lib.purdue.edu/ihpbc/55>
- Gonçalves, A. M. G., Santos, P., Soares, N., & Costa, J. J. (2017). Materiais de mudança de fase (PCMs) para melhoria da eficiência energética de edifícios com estrutura metálica leve (LSF). *XI congresso de construção metálica e mista*.
- Leitão, F., Dinho da Silva, P., Dinis Gaspar, P., & Pires, L. C. (2019). *EXPERIMENTAL STUDY ON THE THERMAL RESPONSE OF PCM ALVEOLI FOR FRUIT PACKAGING BOXES* \*. <http://www.procedia-esem.eu>
- Leitão, F., Madhan, S. K., Silva, P. D. da, & Gaspar, P. D. (2021). *Experimental Testing of the Thermal Response of Different Food Alveoli Solutions for Packaging Boxes*.
- Leungtongkum, T., Flick, D., Hoang, H. M., Steven, D., Delahaye, A., & Laguerre, O. (2022). Insulated box and refrigerated equipment with PCM for food preservation: State of the art. Em *Journal of Food Engineering* (Vol. 317). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110874>

- Li, Y., Yang, D., Xie, J., & Wang, J. (2021). Review on research and application of phase change materials in cold storage refrigerator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 766(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/766/1/012094>
- Madhan, S. K., Gaspar, P. D., & Silva, P. D. (2021). *Experimental Study of the Thermal Response of Fruits Alveoli with Different Materials, Structure and Energy Storage*.
- Martins, B. F. M. (2017). *Materiais de Mudança de Fase (PCM) para Melhoria do Desempenho Térmico de Edifícios, PCM-Produtos e Aplicações em Construção*. <http://www.fe.up.pt>
- Melone, L., Altomare, L., Cigada, A., & De Nardo, L. (2012). Phase change material cellulosic composites for the cold storage of perishable products: From material preparation to computational evaluation. *Applied Energy*, 89(1), 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.07.039>
- Mendes, J. F., Joyce, A., Giestas, M., Horta, P., & Brites, M. J. (sem data). *ARMAZENAMENTO DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA*.
- Moreira, H. M. M. (2018). *Estudo do armazenamento de energia térmica para utilização de calor residual na climatização de edifícios*.
- Oró, E., Gracia, A. de, Castell, A., Farid, M. M., & Cabeza, L. F. (2012). Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications. Em *Applied Energy* (Vol. 99, pp. 513–533). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.058>
- Pakalka, S., Valančius, K., Čiuprinskas, K., Pum, D., & Hinteregger, M. (2017). Analysis of possibilities to use phase change materials in heat exchangers-accumulators. *10th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2017*. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.270>
- Pigozzi, K. V. (2021). *UTILIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA CADEIA DO FRIO PARA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS: UM FOCO NAS PERDAS E DESPERDÍCIOS DE FRUTAS E HORTALIÇAS*.
- Ribeiro, A. R. G. (2013). *Impacto da distribuição na qualidade de produtos hortofrutícolas frescos*.

- ASAE. (sem data). *Roda dos Alimentos*. Obtido 2 de Outubro de 2023, de <https://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/riscos-nutricionais-/roda-dos-alimentos.aspx>
- RubiTherm. (2020). *Datasheet-RT2HC\_EN\_30092020*.
- RubiTherm. (2022). *Datasheet-RT5HC\_EN\_21032022*.
- RubiTherm. (2023). *Datasheet-RT8HC\_EN\_01022023*.
- Grupo Escolar. (sem data). *Salga - Processo de Conservação de Alimentos*. Obtido 2 de Outubro de 2023, de <https://www.grupoescolar.com/pesquisa/salga-processo-de-conservacao.html>
- Silva, C. D. P. da. (2020). *Avaliação do desempenho de uma embalagem termo-ativa para produtos alimentares refrigerados utilizando materiais de mudança de fase*.
- Silva, V. O. da. (2021). *MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE À BASE DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA*.
- Sousa, D. A. D. (2020). *Materiais de mudança de fase (PCM) no condicionamento passivo de habitações no Semiárido Brasileiro*.
- Souza, M. C. de, Teixeira, L. J. Q., Rocha, C. T. da, Ferreira, G. A. M., & Filho, T. L. (2013). *EMPREGO DO FRIO NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS* (Número 9).
- Teixeira, R. F. da M. (2019). *MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE (PCM) ABSORÇÃO SONORA DO RT 18*. <http://www.fe.up.pt>
- Mecalux. (2021). *Tipos de embalagem logística - Mecalux.pt*. <https://www.mecalux.pt/blog/tipos-embalagem-primaria-secundaria-terciaria>
- Tristão, P. J. S. (2014). *Encapsulação de Materiais de Mudança de Fase (PCM) para Aplicações no Armazenamento de Energia*.
- Xie, J., Wang, W., Liu, J., & Pan, S. (2018). Thermal performance analysis of PCM wallboards for building application based on numerical simulation. *Solar Energy*, 162, 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.069>