

Integração de células Peltier em embalagens para minimizar o consumo de energia e a variação da temperatura durante o transporte refrigerado

Pedro José Bastos das Neves Fernandes

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

Orientador: Prof. Doutor Pedro Miguel de Figueiredo Dinis Oliveira Gaspar

maio de 2023

Declaração de Integridade

Eu, Pedro José Bastos das Neves Fernandes, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M11264 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 referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 15 /05 /2023

(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente
assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Pedro Miguel de Figueiredo Dinis Oliveira Gaspar pela orientação, disponibilidade e confiança durante o decorrer de toda a dissertação e por ter garantido a existência de recursos e meios para que esta ocorresse.

Ao Professor Doutor Pedro Nuno Dinho Pinto da Silva pela ajuda na instalação do sistema dentro da câmara de refrigeração e pelo auxílio na familiarização do equipamento de monitorização.

À UBICAR por ter emprestado baterias para alimentar o sistema durante a realização dos diversos testes na câmara de refrigeração.

Aos meus pais pelo apoio, incentivo, investimento e auxílio durante todos os momentos da minha vida.

Ao resto da minha família por me terem apoiado e incentivado durante o decorrer de todo o meu percurso académico.

Aos meus amigos e colegas pelo apoio e companhia durante o meu percurso académico, mas em especial ao Kévin Henriques e à Ana Carvalho, que para além deste apoio e companhia também suportaram e alinharam nas minhas ideias, por vezes disparatadas.

Resumo

Têm existido um aumento na preocupação da redução do desperdício alimentar e das emissões de CO₂ geradas por este. Neste trabalho é apresentada uma nova abordagem para reduzir o consumo de energia e as flutuações de temperatura durante os procedimentos de carga e descarga de transporte refrigerado. Esta abordagem envolve a integração de células Peltier em embalagens secundárias e terciárias para minimizar as variações de temperatura durante este período crítico, ao mesmo tempo que reduz a energia e as emissões associadas à manutenção de baixas temperaturas dos alimentos. Este estudo experimental consistiu em três testes principais. O primeiro teste envolveu o funcionamento contínuo do sistema Peltier, enquanto que o segundo e o terceiro testes envolveram uma operação intermitente para reduzir a temperatura do lado quente das células Peltier. No segundo teste, o sistema teve períodos sequenciais de cinco minutos para ligar e desligar, enquanto no terceiro teste, o sistema foi ligado durante $\frac{3}{4}$ dos 10 minutos e desligado durante os restantes. Todos os testes tiveram a duração de uma hora. O terceiro teste foi o mais eficaz, reduzindo a temperatura média final dos alimentos de 3,2°C (teste de referência) para 2,8°C, representando uma diminuição de 12,5%. Estes resultados sugerem que o efeito Peltier integrado nas embalagens pode ser uma estratégia promissora para reduzir o desperdício alimentar durante o transporte refrigerado na cadeia de abastecimento alimentar, minimizando ao mesmo tempo o consumo de energia e as emissões. Assim, esta investigação está relacionada com a conceção sustentável dirigida ao fabrico, aplicação e controlo de atuadores para melhorar o desempenho dos sistemas de transporte.

Palavras-chave

Células Peltier; Transporte Refrigerado; Embalagens Secundárias; Embalagens Terciárias; Desperdício Alimentar; Consumo de Energia

Abstract

Currently, there has been an increasing concern for the reduction of food waste and the CO₂ emissions generated by it. Therefore, in this dissertation, a new approach is presented to reduce energy consumption and temperature fluctuations during refrigerated transport loading and unloading procedures. This approach involves integrating Peltier cells into secondary and tertiary packaging to minimize temperature variations during this critical period while decreasing the energy and emissions associated with the maintenance of low food temperatures.

This experimental study consisted of three main tests. The first test involved running the Peltier system continuously, while the second and third tests involved an intermittent operation to reduce the temperature of the Peltier cells' hot side. In the second test, the system had sequential five-minute on-and-off periods, while in the third test, the system was turned on for $\frac{3}{4}$ of the 10 minutes and turned off for the remainder. All tests lasted for one hour. The third test was the most effective, reducing the average final food temperature from 3.2°C (reference test) to 2.8°C representing a decrease of 12,5%.

These results suggest that the Peltier effect integrated into packaging boxes may be a promising strategy to reduce food waste during refrigerated transport in the food supply chain while minimizing energy consumption and emissions. Thus, this research is related to sustainable design for the manufacture, application, and control of actuators to improve the performance of transport systems.

Keywords

Peltier Cells; Refrigerated Transport; Secondary Packaging;
Tertiary Packaging; Food Waste; Energy Consumption

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xiii
Nomenclatura	xv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Problema em estudo e a sua relevância	3
1.3. Objetivos e contribuição da dissertação	6
1.4. Visão geral e organização da dissertação.....	7
2. Estado da Arte	9
2.1. Métodos atuais existentes de conservação	9
2.1.1. Refrigeração	9
2.1.2. Congelação	11
2.1.3. Embalagens Assépticas	12
2.1.4. Secagem.....	13
2.1.5. Pasteurização	14
2.2. Efeito de Peltier	15
2.2.1. Aplicações do efeito de Peltier	17
2.3. Nota conclusiva.....	27
3. Materiais e Métodos	29
3.1. Materiais	29
3.1.1. Características técnicas de cada material	29
3.2. Métodos	34
3.2.1. Caracterização do ambiente externo.....	34

3.2.2.	Posicionamento da bateria e das células de Peltier	35
3.2.3.	Conectores entre as células Peltier	38
3.2.4.	Caracterização do posicionamento dos sensores de temperatura	39
3.2.5.	Testes preliminares a realizar e seus objetivos.....	41
3.2.6.	Testes e seus objetivos	42
3.3.	Nota conclusiva	43
4.	Protótipo Experimental e Testes	45
4.1.	Montagem do Protótipo	45
4.2.	Testes.....	50
4.3.	Nota conclusiva	52
5.	Análise e Discussão de Resultados	55
5.1.	Teste Preliminar – Influência da massa térmica	55
5.2.	Teste Preliminar - Desempenho térmico das células de Peltier	58
5.3.	Testes de influência da operação das células de Peltier.....	59
5.3.1.	Comparação da modalidade de operação das células de Peltier	60
5.3.2.	Comparativo entre o Teste 7,5L_2.5D e o de Referência	61
5.3.3.	Comparativo dos pontos críticos	62
5.4.	Nota Conclusiva	67
6.	Conclusões	69
6.1.	Conclusões gerais	69
6.2.	Sugestões de trabalhos futuros	72
	Referências Bibliográficas	73

Lista de Figuras

Figura 1.1. Estrutura do ciclo de vida de uma maçã(Scherhauser <i>et al.</i> , 2018).....	3
Figura 1.2. Variação da temperatura ao longo da cadeia de transporte a baixas temperaturas na Grécia (a) e na França(b)(Gogou <i>et al.</i> , 2015).....	6
Figura 2.1. Curva de congelação típica demonstrando os cinco períodos de congelamento de um alimento e os respetivos intervalos de temperatura (arrefecimento inicial, o super arrefecimento, a fase de transição, a finalização da congelação e a estabilização, da esquerda para a direita respetivamente) em função do tempo.(James & James, 2014b).....	11
Figura 2.2. Constituição da célula Peltier (Slanina <i>et al.</i> , 2018).	16
Figura 2.3. Comportamento térmico do LED com dissipador de calor (Vermelho) e do LED com célula de Peltier (Verde)(Badalan & Svasta, 2015).	18
Figura 2.4. Sistema de arrefecimento com TEC (Célula de Peltier) (Halima <i>et al.</i> , 2022).	19
Figura 2.5. Diagrama esquemático do HP-LED-IF (a) e Vista superior do detetor (b) (Lu <i>et al.</i> , 2022).	19
Figura 2.6. Diagrama esquemático do sistema termoelétrico (esquerda) e diagrama esquemático do corpo do sistema termoelétrico (direita) (Iskrenović <i>et al.</i> , 2019).	20
Figura 2.7. Diagrama do processo (Freire. <i>et al.</i> , 2021).	21
Figura 2.8. Desenho esquemático do protótipo(Abraham James <i>et al.</i> , 2022).	22
Figura 2.9. Protótipo com o sistema de arrefecimento e com o PCB (Casano & Piva, 2017).	23
Figura 2.10. Diagrama esquemático do posicionamento das células Peltier (esquerda) e pequena experiência do gerador termoelétrico (direita) (Casano & Piva, 2011).	23
Figura 2.11. Desenho do Modelo conceptual da introdução de Células Peltier nos cabos de corrente(Ivanov <i>et al.</i> , 2022).	24
Figura 2.12. Interior do protótipo do casaco de arrefecimento (Jahangir <i>et al.</i> , 2019).	25
Figura 2.13. Diagrama de uma secção do protótipo (Attavane <i>et al.</i> , 2017).....	26
Figura 2.14. Protótipo de um frigorífico utilizando células de Peltier para a refrigeração e abastecido por energia solar(Rokde <i>et al.</i> , 2017).....	26
Figura 3.1. Embalagem Green Lite CH6416 (IFCO).....	30

Figura 3.2. Palete IKP1878 PEE (INKA).....	30
Figura 3.3. Bateria com as características presentes na Tabela 3-3. (Novoxy Power Technology Limited).....	31
Figura 3.4. Medidor de temperatura Fluke 51 K/J thermometer (Fluke).	32
Figura 3.5. Medidor de temperatura PCE-T 1200 (PCE Instruments).....	32
Figura 3.6. Multímetro Hewlett-Packard E2373A Multimeter (Agilent Technologies). 33	
Figura 3.7. Célula Peltier 12706 da botnroll (botnroll) (esquerda) e Célula Peltier 12706 da VLC Components S.I.(VLC Components s.I.)(direita).	34
Figura 3.8. Palete com o posicionamento da bateria (cinzento).....	35
Figura 3.9. Embalagem secundária com o posicionamento das células Peltier na zonas laterais.	38
Figura 3.10. Conector WAGO 221-2401 (WAGO).	38
Figura 3.11. Conector WAGO 890-112 (esquerda)(WAGO) e conector WAGO 890-103 (direita) (WAGO).....	39
Figura 3.12. Esquema tridimensional da embalagem terciária com as 12 embalagens secundárias.	39
Figura 3.13. Vista superior do esquema tridimensional com a representação de cada uma das colunas bem como do seu posicionamento dentro da câmara de refrigeração que possui uma altura de 2.6 m traduzindo-se num volume total da câmara de 21.06 m ³ (esquerda) e o sistema Peltier desenvolvido dentro da câmara de refrigeração (direita).....	40
Figura 3.14. Caracterização do posicionamento de cada uma das embalagens secundárias na vista posterior (a) e na vista frontal (b).	40
Figura 3.15. Posicionamento dos sensores: (a) M1 com as coordenadas (0.275, 0.204, 0.765); (b) U1 com as coordenadas (0.275, 0.368, 0.765); (c) M4 com as coordenadas (0.675, 0.204, 0.125); (d) B1 com as coordenadas (0.275, 0.040, 0.725); (e) M3 com as coordenadas (0.125, 0.204, 0.125); (f) U4 com as coordenadas (0.675, 0.368, 0.125); (g) M2 com as coordenadas (0.675, 0.246, 1.075); (h) B4 com as coordenadas (0.675, 0.040, 0.125).	41
Figura 4.1. Embalagem secundária utilizada.	45
Figura 4.2. Posicionamento da célula Peltier.....	45
Figura 4.3. Embalagem secundária com as células Peltier colocadas.	46
Figura 4.4. Disposição das 12 embalagens secundárias na embalagem terciária.....	46
Figura 4.5. Embalagens secundárias com alveólos.....	47
Figura 4.6. Embalagens secundárias com alguma da fruta utilizada.	47

Figura 4.7. Uniões utilizadas para conetar quer as células Peltier entre si na mesma embalagem secundária quer entre as células de embalagens secundárias diferentes.	48
Figura 4.8. Bateria Ultracell utilizada.	49
Figura 4.9. Sistema de alimentação utilizado para os 2 primeiros testes preliminares.	49
Figura 4.10. Baterias acrescentadas ao sistema para garantir o pleno funcionamento do sistema.	49
Figura 4.11. Sistema de alimentação utilizado para o terceiro teste preliminar e para os 3 testes.....	50
Figura 4.12. Primeiro teste preliminar.	50
Figura 4.13. Segundo teste preliminar.....	51
Figura 4.14. Câmara de refrigeração utilizada.....	52
Figura 4.15. Embalagem terciária dentro da câmara de refrigeração com 12 embalagens secundárias preenchidas com fruta.	52
Figura 5.1. Variação da temperatura (média de 3 ensaios) das superfícies da embalagem secundária e respetivos desvios-padrão sem a utilização de massa térmica e com a utilização de massa térmica, para uma temperatura ambiente de 16,9°C.....	56
Figura 5.2. Variação da temperatura (média de 3 ensaios) no meio da embalagem secundária e respetivos desvios-padrão sem a utilização de massa térmica e com a utilização de massa térmica, para uma temperatura ambiente média de 16,9°C....	57
Figura 5.3. Variação da temperatura (média de 3 ensaios) na superfície e do ar no meio da embalagem secundária e respetivo desvio-padrão, para uma temperatura ambiente de 17,7°C.....	59
Figura 5.4. Variação da temperatura (média de 3 ensaios) dos três testes em relação a variação de temperatura (média de 3 ensaios) do teste de referência, para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.....	61
Figura 5.5. Variação de temperatura (média de 3 ensaios) do teste 7,5L_2,5D em relação a variação de temperatura (média de 3 ensaios) do teste de referência, para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.....	62
Figura 5.6. Variação de temperatura do U1 (média de 3 ensaios) do teste 7,5L_2,5D em relação a variação de temperatura do U1 do teste de referência (média de 3 ensaios), para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.	64
Figura 5.7. Variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor U4 do teste 7,5L_2,5D em relação a variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor U4 do teste de referência, para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.....	65

Figura 5.8. Variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor B1 no teste 7,5L_2,5D em relação a variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor B1 no teste de referência, para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.66

Figura 5.9. Variação de temperatura (média de 3 ensaios) do B4 no teste 7,5L_2,5D em relação à variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor B4 no teste de referência, para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.....67

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Tipos de embalagens assépticas existentes no mercado.(Götz <i>et al.</i> , 2014). 13	
Tabela 2.2. Exemplos de alimentos conservados por secagem (Law <i>et al.</i> , 2014).14	
Tabela 3.1. Características da embalagem Green Lite CH6416 (IFCO).....30	
Tabela 3.2. Características IKP1878 PEE (INKA).31	
Tabela 3-3. Características necessárias para a bateria.31	
Tabela 3,4. Características medidor de temperatura Fluke 51 K/J thermometer (Fluke). 32	
Tabela 3,5. Características medidor de temperatura PCE-T 1200 (PCE Instruments). 33	
Tabela 3.6. Características do multímetro Hewlett-Packard E2373A Multimeter (Agilent Technologies). 33	
Tabela 3.7. Características da célula Peltier 12706 da botnroll (botnroll) (a) e da célula Peltier 12706 da VLC Components S.I. (VLC Components s.I.) (b). 34	
Tabela 3.8. Temperaturas de conservação por alimento em camiões frigoríficos (cenex, 2021). 35	

Nomenclatura

Geral:

A_r	Área de cada embalagem secundária, [m ²];
h	Coefficiente convectivo de transmissão de calor, [W·m ⁻² ·K ⁻¹];
I	Intensidade da Corrente, [A];
$I_{botnroll}$	Intensidade da Corrente da célula Peltier da botnroll, [A];
I_{Total}	Intensidade da Corrente total necessária, [A];
I_{VLC}	Intensidade da Corrente da célula Peltier da VLC Componets SI, [A];
$N_{embalagens}$	Número de embalagens secundárias;
$P_{Célula\ botnroll}$	Potência da Célula Peltier da marca botnroll, (W);
$P_{Célula\ VLC}$	Potência da Célula Peltier da marca VLC Components SI, (W);
$P_{Necessário}$	Potência Necessária, (W);
Q_{convec}	Carga térmica de convecção, [W];
T	Temperatura, [°C];
T_{amb}	Temperatura ambiente, [°C];
T_f	Temperatura final pretendida, [°C];
U	Diferença de Potencial ou Tensão, [V].

Simbologia grega:

α	Coefficiente de Seedbeck
Π	Coefficiente de Peltier.

Acrónimos:

AC	Corrente alternada;
AD	Analógico-digital;
DA	Digital-analógico;
DC	Corrente contínua;
CO ₂	Dióxido de Carbono;

EVOH	Álcool Vinílico de etileno;
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura;
FUSION	<i>Food Use for Social Innovation by Optimising Waste Prevention Strategies;</i>
HP-LED-IF	Detetor de fluorescência de alta potência induzida por LED;
ISO	<i>International Organization for Standardization;</i>
LED	Díodo emissor de luz;
LiFePO ₄	Lítio-ferro-fosfato
Li-Po	Polímero de lítio;
ONU	Organização das Nações Unidas;
PCB	Circuito impresso;
PCL	<i>Peltier Current Lead;</i>
RPC	Recipiente de plástico reutilizável;
SARS-COV-2	Coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2;
SMPS	Fonte de alimentação comutável;
SNR	Relação sinal-ruído;
SPS	<i>Spark plasma sintering;</i>
TEC	Célula termoelétrica;
TEM	Módulo Termoelétrico;
UBI	Universidade da Beira Interior;
UE	União Europeia;
USB	<i>Universal Serial Bus.</i>

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Durante toda a existência da sociedade humana sempre existiu uma preocupação e necessidade de manter os alimentos comestíveis e mais recentemente com os respetivos nutrientes. No entanto, estes apenas se conseguem manter nestas condições caso certos fatores como a temperatura e a humidade se encontrem dentro do intervalo de valores adequados a esse mesmo alimento, fazendo com que não haja o desenvolvimento de organismos que possam causar perdas alimentares (Hammond *et al.*, 2015).

Com efeito, é importante definir o que é considerado perda alimentar, segundo a FUSION é considerado perda alimentar as frações de alimentos e de partes comestíveis de alimentos que foram removidas da cadeia alimentar para serem reutilizáveis ou eliminados (incluindo os compostos, as plantações aradas ou não colhidas, a produção de bioenergia, incineração, eliminação para esgotos, aterros sanitários ou descartados no mar), sendo que os alimentos removidos da cadeia de abastecimento alimentar que forem valorizáveis, por exemplo para alimentar animais não são considerados resíduos alimentares (Östergren *et al.*, 2014).

Deste modo, a FAO (Gustavsson *et al.*, 2011) estima que um terço dos alimentos produzidos para consumo humano é perdido ou desperdiçado ao longo da cadeia de abastecimento alimentar. Assim, é estimado que na União Europeia, por ano, aproximadamente 88 milhões de toneladas (MT) (± 14 MT) de alimentos são desperdiçados ou perdidos ao longo da cadeia de fornecimento, o que é equivalente a 173 ± 27 kg per capita por ano. Deste modo, o impacto ambiental das perdas alimentares corresponde a todas as emissões derivadas dos diferentes pontos da cadeia de fornecimento alimentar, sendo que quanto mais avançado for o ponto da cadeia maior é o impacto ambiental que provoca, visto que todas as emissões em que os pontos anteriores da cadeia (produção, processamento, transporte, entre outros) provocaram, são incluídos no impacto do material desperdiçado. Deste modo, quando um determinado alimento é desperdiçado todas as atividades e emissões criadas até ao

momento na cadeia alimentar foram em vão, sendo que o impacto ambiental dos alimentos desperdiçados é considerável. Assim, o desperdício desnecessário proveniente da cadeia de abastecimento alimentar resulta num impacto ambiental proveniente de excesso de produção e de processamento até àquele momento, reduzindo estas perdas é possível diminuir a quantidade de alimentos produzidos e os impactos gerais associados. A meta de desenvolvimento sustentável 12.3 da ONU que define uma redução de 50% no desperdício alimentar no retalho e ao nível do consumidor, bem como a redução das perdas de alimentos ao longo da produção e das cadeias de fornecimento até 2030 representa um importante passo no caminho da redução do impacto ambiental devido as perdas alimentar (Scherhauser *et al.*, 2018).

De forma a combater e reduzir estas perdas, ao longo da história foram utilizadas várias técnicas para conservar os alimentos. Inicialmente nas épocas do caçador-coletores e das sociedades agrícolas primitivas, períodos que utilizavam meios que requeriam muito pouca energia, foram utilizadas a secagem, através da utilização de sal, ou por defumação. Em seguida, durante a revolução industrial foram desenvolvidas e utilizadas novas tecnologias, tais como as conservas e a refrigeração a gás comprimido que já requeriam uma maior quantidade de energia. Com efeito, ao mesmo tempo que estas foram desenvolvidas, também existiu um desenvolvimento do transporte de alimentos e com isso houve uma melhoria na superação de falhas espaciais e temporais na produtividade. Deste modo, com o decorrer dos anos tornou-se no atual sistema global de transportes, em que é possível fornecer alimentos frescos e conservados no mundo inteiro. No entanto, têm-se também verificado um crescente aumento da população global, sendo que segundo a Nations (2017) a população mundial é prevista ser de 10 mil milhões de pessoas em 2050, e que se têm localizados em locais cada vez mais urbanizados. Esta previsão implica que haja uma maior dependência das tecnologias de armazenamento e transporte de alimentos que atualmente necessitam de fontes de energia elevadas e que utilizam combustíveis fósseis que possuem reservas finitas e que se têm esgotado rapidamente (Hammond *et al.*, 2015).

Deste modo, existe um grande interesse na investigação e desenvolvimento sobre embalagens alimentares, visto que existe uma crescente preocupação do impacto ambiental dos resíduos, uma maior sensibilização dos consumidores para a segurança, uma existência de alimentos com um prazo de validade maior e também uma maior consciência ecológica para os recursos finitos (Bangar *et al.*, 2021).

Assim, o ciclo da vida de um alimento é classificado com base nos impactes derivados dos diferentes pontos da cadeia de abastecimento e nos impactes derivados dos diferentes pontos da cadeia de abastecimento e nos impactes derivada da comida que é consumida e da comida que é desperdiçada. A Figura 1.1 apresenta as estruturas do ciclo da vida do alimento e os termos usados no estudo do exemplo são do ciclo de uma maçã. Como o propósito do produto avaliado neste estudo é para comer e não desperdiçar, a unidade foi escolhida para ser a quantidade usualmente consumida por um cidadão da UE. Os fluxos de massa são correspondentes a esta unidade. Assim, é explicado para o exemplo de 1 kg de comida (neste caso uma maçã) consumida e ilustrada na Figura 1.1. Assim, o desperdício de comida relacionada com emissões inclui todas as emissões que foram libertadas na produção (seta cinzenta), processamento (seta cinzento-clara), retalho e distribuição (seta branca) e consumo (seta cinzento-escuro) da comida desperdiçada, incluindo todas as emissões devido às operações e eliminação de desperdício (seta a tracejado). Deste modo, esta cadeia de abastecimento começa com uma produção primária de 1,28 kg de maçãs, onde 0,04 kg são removidas do ponto da cadeia como desperdício alimentar, em seguida dos 1,24 kg de comida são processados, onde outros 0,02 kg são removidos outra vez como desperdício alimentar. Em seguida dos 1,22 kg que irão ser distribuídos, 0,02 kg são retirados devido a serem desperdício alimentar. Por fim, 1 kg de maçãs é finalmente consumido pelos cidadãos e um total de 0,28 kg foi desperdiçado ao longo da cadeia alimentar, ou seja, para que 1 kg de maçãs seja consumido, têm de ser produzidos 1,28 kg de maçãs (Scherhauser *et al.*, 2018).

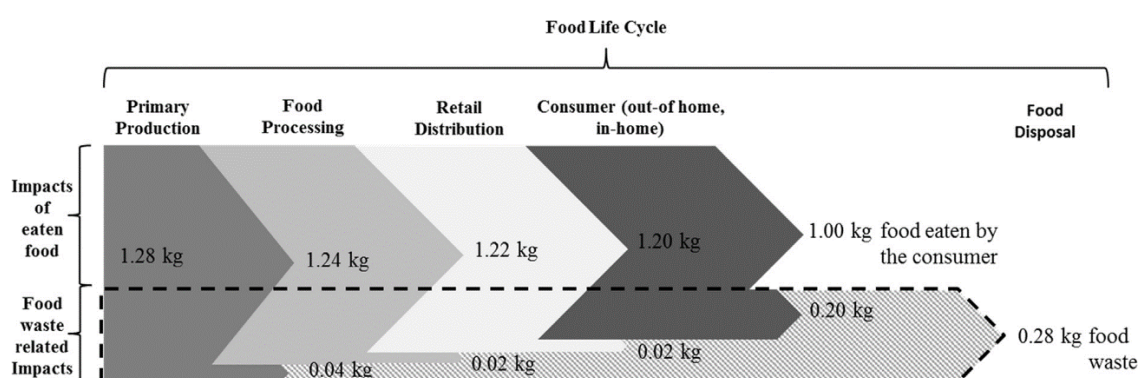


Figura 1.1. Estrutura do ciclo de vida de uma maçã (Scherhauser *et al.*, 2018).

1.2. Problema em estudo e a sua relevância

O transporte e conservação de alimentos estão fortemente interligados uma vez que o transporte de alimentos a longas distâncias necessita de formas eficiente de conservação

para esses percursos. Assim os avanços nas tecnologias de transporte têm demonstrado e exercido um papel principal no abastecimento de alimentos para as zonas cada vez mais urbanizadas e populosas. Com o crescimento das cidades, também têm existido um crescimento nas pegadas ecológicas e na dependência de ambientes cada vez mais longínquos para produzir um determinado alimento. Deste modo, têm-se verificado um crescente aumento na dependência de extensas áreas para produzir alimentos e cada vez menos em linhas de transporte de alimentos em zonas mais afastadas como em quintas, campos, oceanos, lagos e rios. As extensas áreas de cultivo apresentam uma grande heterogeneidade dos solos, do clima e das produtividades biológicas dos ecossistemas aquáticos, sendo que estas grandes bacias permitem que se faça uma dieta mais diversificada e nutritiva do que as que estavam disponíveis para as sociedades agrícolas e naturais pré-industriais, embora a industrialização da agricultura tenha contribuído para uma homogeneidade global de culturas comerciais no mundo inteiro (Hammond *et al.*, 2015).

Os avanços nos transportes de alimentos têm sido alcançados graças a algumas inovações tecnológicas que permitiram um encurtamento do tempo de transporte através do aumento da velocidade e da diminuição do consumo no trajeto. A velocidade de viagem tem aumentado ao longo da história humana, variando desde alguns quilômetros por hora na altura dos transportes movidos a animais (primeiras sociedades agrícolas) até aos mil quilômetros por hora para os aviões a jato (sociedades modernas urbanas). Com efeito esse aumento na velocidade de viagem deve-se fundamentalmente ao acesso a combustíveis fósseis e às sucessivas invenções do motor a vapor, do motor de combustão internas, do motor a jato e das infraestruturas associadas (Hammond *et al.*, 2015).

Devido à melhoria do nível de vida das pessoas e a aceleração do ritmo de vida, a procura de alimentos conservados por parte destas está a aumentar acentuadamente, sendo que os alimentos refrigerados em virtude da sua conveniência e eficiência estão a tornar-se os alimentos essenciais para a maioria dos jovens (Wang & Yu, 2012). No entanto, é necessário contrariar esta tendência visto que estes alimentos são prejudiciais à saúde e fazer com que haja um aumento do consumo de alimentos frescos como vegetais e frutas, sendo que é necessário fazer com que estes se mantenham assim durante o seu transporte (Hongli & Yongming, 2017).

Com efeito, a alta qualidade dos alimentos é extremamente fundamental para a cadeia de abastecimento de alimentos frescos, visto que é a alta qualidade dos alimentos que leva ao elevado valor de mercado do produto e à aceitabilidade do cliente, existindo assim

uma segurança alimentar. Visto que a característica dos alimentos frescos é possuírem uma restrição temporal rigorosa antes de se deteriorarem, sendo que após esse período os alimentos irão perder rapidamente o seu valor, o que pode levar a perdas e despesas adicionais, perda da quota do mercado e resultar em problemas de segurança alimentar (Hongli & Yongming, 2017).

Assim, a frescura dos alimentos pode ser preservada de forma mais eficiente através da cadeia de transporte a baixas temperaturas, sendo que este é atualmente a principal forma de transportar alimentos frescos. A preservação dos alimentos nas cadeias de transporte a baixas temperatura é principalmente afetada pela temperatura, visto que uma temperatura adequada pode prolongar a vida útil de alguns vegetais, frutas e alimentos. Devido às limitações das condições económicas e dos diferentes locais, as cadeias de transporte a baixas temperatura encontram-se principalmente concentradas nas médias e grandes cidades visto que a necessidade de cadeias de transporte a baixas temperaturas nas zonas rurais não é muito elevada (Li, 2021).

A gestão das cadeias de transporte a baixas temperaturas para novos produtos requer que se tomem decisões rápidas de forma a aumentar a vida útil dos produtos mais recentes, visto que as mercadorias são transportadas poucas horas depois de chegarem ao centro de distribuição. Assim, as logísticas das cadeias de distribuição a baixas temperaturas necessitam de uma monitorização automática e um controlo de todas as operações. No entanto, o transporte terrestre representa um significativo custo para as empresas que fazem a entrega e colheita dos produtos, e também corresponde a uma fonte negativa de impactes ambientais, tais como emissões de CO₂. Assim, o transporte de alimentos frescos ou congelados, farmacêuticos e de flores causa mais emissões devido ao facto de que mais combustível ser necessário para controlar a temperatura de veículo durante o transporte. Deste modo, mais emissões estão também associadas com as fugas de fluido de refrigeração. Também durante o armazenamento, o controlo de temperatura pode resultar em custos adicionais e emissões. Para alimentos frescos, o controlo de temperatura também é necessário para manter a alta qualidade do produto e para assegurar uma maior vida útil (Stellingwerf *et al.*, 2018).

Com efeito, de forma a combater as perdas ao longo da cadeia de transporte a baixas temperaturas, Gogou *et al.* (2015) desenvolveram um estudo para averiguar as variações das temperaturas conforme demonstrado na Figura 1.2. neste caso para o transporte de carne em dois países (Grécia e França), ao longo da cadeia. Verificou-se que existia uma maior variação de temperaturas na mudança de local de armazenamento com especial

variação no transporte por parte do consumidor, onde se verificou que as temperaturas de transporte, apesar de variar de apenas uns minutos até 1,2h, atingiram 17°C para o caso da Grécia e 9°C para o caso da França, correspondendo a uma subida de 9°C e de 4°C, respetivamente, em relação à temperatura máxima apresentada até esse momento. Após esse momento, a temperatura média de armazenamento por parte do consumidor é de 2°C a 4°C acima do valor anterior ao transporte por parte deste.

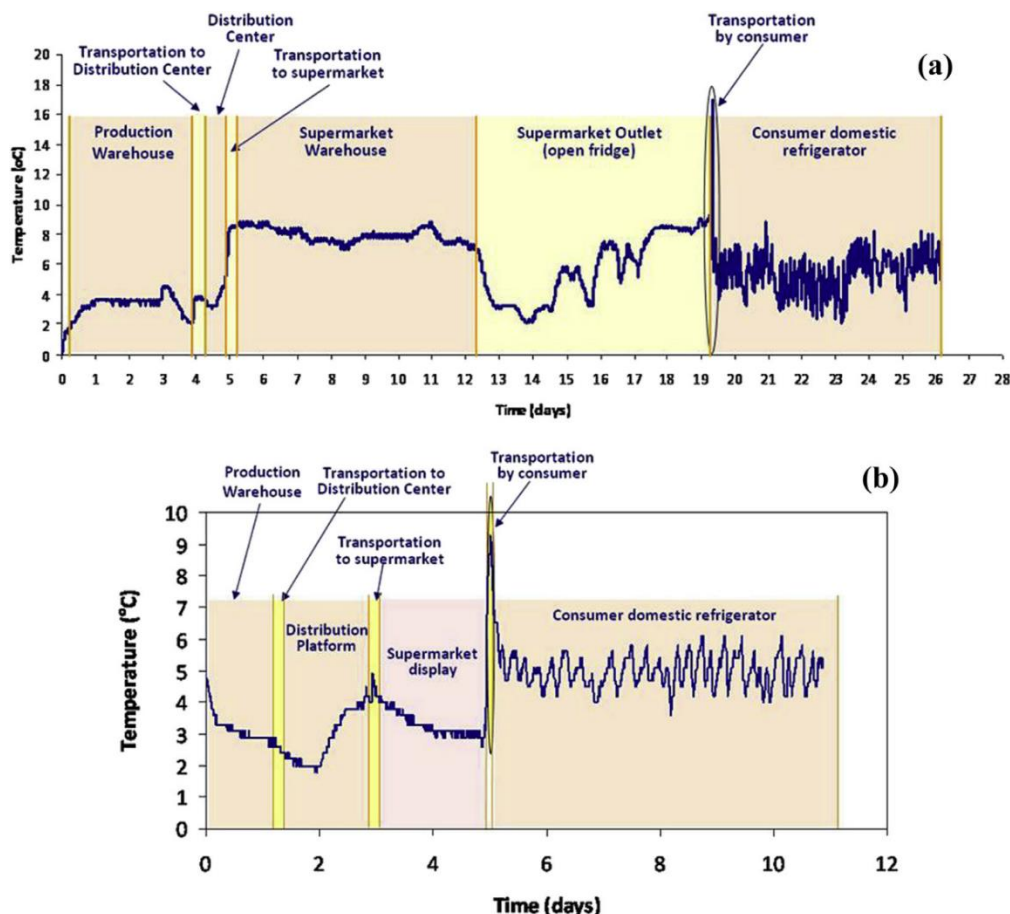


Figura 1.2. Variação da temperatura ao longo da cadeia de transporte a baixas temperaturas na Grécia (a) e na França (b) (Gogou *et al.*, 2015).

1.3. Objetivos e contribuição da dissertação

Com base nas informações que foram descritas até agora, é possível realizar diversas questões tais como: É possível reduzir as perdas alimentares ao longo da cadeia de abastecimento através do combate das variações de temperatura que estes sofrem ao ser transportados desde o local da sua produção até ao supermercado?; será possível minimizar essas perdas durante a carga/descarga, ou seja, no período em que passam de um local de armazenamento para o meio de transporte e deste para o novo local de

armazenamento?; será que a solução para essa minimização passa por desenvolver um sistema em que seja possível manter a mesma temperatura ideal para o alimento ao longo de toda a cadeia de abastecimento?; será que ao mantermos a mesma temperatura conseguimos que os caminhões frigoríficos tenham que fazer menos combate a essa variação térmica e com isso libertem menos emissões?

Deste modo, será que a utilização do efeito Peltier nos permite responder, ainda que parcialmente, a estas questões? Este é o enfoque desta dissertação, pretendendo-se utilizar para desenvolver e testar uma nova abordagem à conservação em embalagens secundárias/terciária para combater estes problemas.

1.4. Visão geral e organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em seis capítulos gerais: Introdução, Estado da Arte, Materiais e Métodos, Protótipo Experimental e Testes, Análise e Discussão de Resultados e Conclusão.

A Introdução serve de contextualização para o problema da existência de desperdícios alimentares existentes ao longo da cadeia de abastecimento de alimentos e de qual é o objetivo que se pretende com o desenvolvimento desta dissertação.

No Estado da Arte são apresentados os métodos de conservação de alimentos atualmente utilizados e as suas aplicações. Na segunda parte é abordado o efeito de Peltier, através da explicação deste efeito e em seguida das diversas aplicações em que este já foi utilizado

No capítulo dos Materiais e Métodos são apresentados, na primeira parte, os materiais que irão ser utilizados bem como as suas características. Na segunda parte, é apresentada a caracterização do ambiente de teste, posicionamento dos materiais e a descrição dos testes que irão ser realizados.

No Protótipo Experimental e Testes é apresentada a montagem de todo o protótipo experimental e caracterização de cada um dos testes realizados.

Na Análise e Discussão dos Resultados são apresentados resultados obtidos para cada um dos testes e em seguida analisados e discutidos.

Por fim, no capítulo da Conclusão é apresentada uma análise do trabalho através das observações obtidas ao longo do trabalho bem como a apresentação de algumas sugestões para futuros trabalhos.

2. Estado da Arte

Conforme referido na Introdução, nos últimos anos têm existido uma crescente preocupação em reduzir as perdas alimentares e devido a esta preocupação são utilizados diversos métodos de conservação dos alimentos de forma a aumentar o seu tempo de vida.

Com efeito, o transporte de alimentos frescos é diferente do transporte de alimentos em conservas, visto que a qualidade dos alimentos frescos está dependente de vários fatores como o tempo e modo de transporte, a distância e a temperatura (Wang & Yu, 2012). Assim, nesta dissertação o foco encontra-se no controlo da temperatura uma vez que na cadeia de transporte a baixas temperaturas, segundo a (Li, 2021), a utilização de uma temperatura ideal para a conservação de alimentos frescos como vegetais e fruta pode atrasar a degradação destes, prolongando a manutenção das características organoléticas que os diferenciam.

Deste modo, devido ao facto de que o objetivo deste trabalho consistir no desenvolvimento de nova abordagem à conservação de produtos pela inclusão do efeito de Peltier em embalagens secundárias/terciária, é necessário primeiramente caracterizar as aplicações existentes. Por esse motivo, o Estado da Arte é dividido em 2 pontos principais que são os Métodos atuais existentes de conservação e o Efeito de Peltier.

2.1. Métodos atuais existentes de conservação

2.1.1. Refrigeração

Apesar de não existir uma definição específica de o que é considerado um alimento refrigerado, podemos considerar que um alimento é deste género quando a sua temperatura de conservação é reduzida até uma temperatura inferior à temperatura ambiente, mas ainda acima da temperatura onde a sua componente de água congela

(passa do estado líquido para o estado sólido). No entanto, dependendo do alimento também a sua temperatura de conservação por este método varia, sendo que os alimentos como a carne e o peixe são conservados a uma temperatura mais próxima do ponto de congelação, enquanto que os outros alimentos como as bananas e outras frutas tropicais a sua temperatura de conservação pode chegar aos 14°C. Com efeito, o processo de refrigeração consiste na remoção de calor aos alimentos, até atingir a temperatura ideal acima do seu ponto de congelação, que apenas pode ser obtido através de 3 processos que são a radiação, a condução e a convecção, sendo que este último é de longe o mais importante visto que é o mais utilizado na maioria dos sistemas de refrigeração. Assim, este processo de conservação é usualmente o mais utilizado visto que não produz alterações significativas na textura, sabor, cheiro ou aparência do alimento conseguindo manter as características da qualidade “fresca” do alimento (James & James, 2014a).

Deste modo, existem vários tipos de sistemas de refrigeração sendo os mais utilizados os seguintes:

- Por circulação de ar, sendo este o método mais utilizado para refrigerar os alimentos já que é o mais económico, higiénico e muito pouco corrosivo para os equipamentos. A maioria dos alimentos conservados como a carne, o peixe, a fruta e os vegetais são armazenados em grandes salas com este sistema de refrigeração.
- Por imersão ou por spray, este sistema envolve mergulhar o alimento num líquido frio ou expelir pelo spray um líquido frio no alimento, sendo que se for a água o líquido utilizado então é usualmente denominado “hidroarrefecimento” ou *hidrocooling*, visto que a utilização deste corresponde ao método mais económico já que é utilizado o líquido ou a uma temperatura perto da temperatura ambiente ou à temperatura de 0°C.
- Por vácuo, os alimentos sólidos possuem uma grande área de superfície em relação ao seu volume e com uma grande capacidade de libertar água internamente são suscetíveis de refrigeração por este método.

2.1.2. Congelação

O método de conservação de alimentos por congelação consiste em manter um alimento num ambiente em que a maioria da quantidade de água no alimento se torna em gelo, sendo que nos alimentos que possuem água na sua constituição o gelo pode-se formar abaixo do ponto de congelamento inicial desse alimento. Com efeito, após a formação de gelo no alimento, este apenas desaparece quando se aumenta novamente a temperatura até ponto de congelação, nesse caso chamado de ponto de fusão. Deste modo, um alimento é considerado congelado quando a sua temperatura é de -10°C ou mais baixa, ou então quando uma grande proporção de água do alimento (cerca de 80%) é convertida em gelo. Na Figura 2.1 é possível ver os cinco períodos de congelação de um alimento e os respetivos intervalos de temperatura, sendo eles o arrefecimento inicial, o super arrefecimento, a fase de transição (mudança do estado), a finalização da congelação e por fim a estabilização.

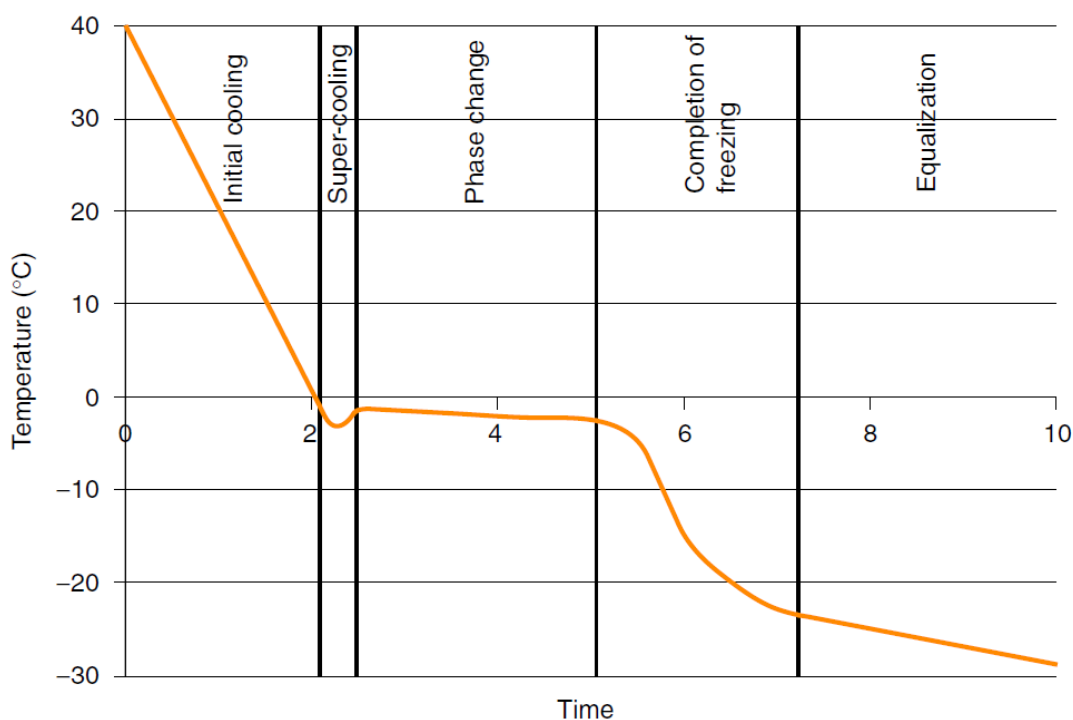


Figura 2.1. Curva de congelação típica demonstrando os cinco períodos de congelação de um alimento e os respetivos intervalos de temperatura (arrefecimento inicial, o super arrefecimento, a fase de transição, a finalização da congelação e a estabilização, da esquerda para a direita respetivamente) em função do tempo. (James & James, 2014b).

Deste modo, o processo de congelamento corresponde ao processo de remover calor e apenas pode ser alcançado pelos três mecanismos básicos que são a radiação, a condução e a convecção. A condução é usualmente apenas utilizada em alimentos como a carne, o peixe, os gelados ou os sumos de fruta visto que possuem uma boa área de contacto. Por outro lado, a radiação não necessita de uma grande área de contacto, mas sim de uma grande diferença de temperatura entre o alimento e o meio envolvente é utilizado num espectro de alimentos muito mais alargado. Por último e à semelhança do processo de refrigeração também a convecção é o mais importante e utilizado na maioria dos sistemas de congelamento visto que pode ser utilizado em qualquer alimento (James & James, 2014b).

Deste modo, existem vários tipos de sistemas de congelação sendo os mais utilizados os seguintes:

- Por circulação de ar em grandes armazéns de congelação, este método permite prolongar a vida dos alimentos para por exemplo no caso de camarões até 3-4 meses a uma temperatura de -18°C ou até 2,5 anos para carne de borrego a uma temperatura de -25°C .
- Por imersão ou por spray, este sistema envolve mergulhar o alimento num líquido frio ou expelir pelo spray um líquido frio no alimento, como a temperatura de transferência de calor têm de ser menor do que 0°C é usualmente utilizado substâncias como sal, açúcar ou soluções de álcool na água de forma a que não entre em congelação antes da sua aplicação.

2.1.3. Embalagens Assépticas

A utilização de embalagens assépticas para a conservação dos alimentos é uma técnica utilizada há várias décadas e que pode ser definida como o enchimento de um produto comercialmente estéril. Este apenas é conseguido através de um tratamento térmico adequado num recipiente pré-esterilizado em condições assépticas, seguindo da sua selagem hermética de forma a evitar uma nova contaminação. Assim, todas as embalagens assépticas existentes atualmente encontram-se presentes na Tabela 2.1. Com efeito, alguns exemplos típicos de alimentos em embalagens de produtos pré esterilizados são o leite e outros produtos lácteos sem uma forma de fermentação como, por exemplo, as natas ou pudins, mas também outros produtos como sumos, sopas e

molhos. No entanto, para determinados produtos como embalagens de produtos pasteurizados as bactérias formadoras de esporos não podem crescer e, por conseguinte, não existe a necessidade de esterilização para a estabilidade microbiológica desses produtos (Götz *et al.*, 2014).

Tabela 2.1. Tipos de embalagens assépticas existentes no mercado.(Götz *et al.*, 2014).

Sistema de embalagem	Material	Subcategoria
Pacotes	Laminado de polietileno, cartão e folha de alumínio	Enchimento e Selagem (<i>form-fill-seal</i>)
		Pré-fabricados
Latas	Aço cromado; revestida com crómio eletrolítico aço e alumínio; e compostos de folha de alumínio, plástico e papel com extremidades metálicas	Latas de Metal
		Latas de Compósitos
Garrafas	Vidro, polietileno de alta densidade, e polipropileno	Vidro
		Plástico
Sacos e Saquetas	Laminado de polietileno de baixa densidade, camada central de EVOH e carbono negro	Enchimento e Selagem (<i>form-fill-seal</i>)
		Vácuo (<i>lay-flat tubing</i>)
Copos	Poliestireno de alto impacto, polipropileno, cloreto de polivinilideno e EVOH	Pré-feito
		Enchimento e Selagem (<i>form-fill-seal</i>)

2.1.4. Secagem

A secagem corresponde a uma das mais importantes operações no processamento da área alimentar. Este processo corresponde a reduzir o teor de água dos produtos alimentares como, por exemplo, os cereais e as especiarias, mas também outros produtos como os apresentados na Tabela 2.2. Assim, a secagem é realizada com o objetivo de prolongar a validade do alimento através da redução da quantidade de água existente a um nível suficientemente baixo que inibe o crescimento de microrganismos, reações enzimáticas ou quaisquer outras reações deteriorantes. Por outro lado, a secagem também é aplicada de forma a aumentar o valor dos alimentos através da atribuição de características (como a textura, o sabor, a cor, entre outros) que apenas se encontram presentes após este processo. No entanto, a remoção da humidade aos alimentos apenas permite a inibição do crescimento de microrganismos e reações inde-

sejáveis não podendo garantir a segurança alimentar uma vez que hidratar novamente os alimentos provoca a recuperação da água nos alimentos, o que implica o aumento da sua atividade hídrica e tornando-se assim suscetível de ser deteriorada por microrganismos e reações deteriorantes. Deste modo, é necessário a aplicação de métodos de eliminação de contaminação por microrganismos na pré-secagem, durante a secagem e nos pós secagem (Law *et al.*, 2014).

Tabela 2.2. Exemplos de alimentos conservados por secagem (Law *et al.*, 2014).

Categoria	Exemplos de alimentos
Frutas	manga, goiaba, banana, alperce, maçã, morango, papaia, figos, uva, pêsego, ameixa, kiwi, abacate, ananás, abrunho, pera, dióspiro, cereja, laranja, limão, lima, tangerina, toranja, framboesa
Vegetais	cenoura, batata, abóbora, alho, tomate, pimenta, mandioca, couve-flor, espargos, beringela, cogumelo, espinafres, cebola, feijão verde, brócolos, aipo, gengibre, alcachofra, beterraba, rábano, alho francês, ervilhas, nozes, curgete
Grãos	arroz, trigo, milho, cevada
Produtos marinhos	Peixe, camarão, lula, pepino do mar, medusa, berbigão, mexilhão, tubarão, vieiras
Produtos à base de carne	presunto, carne de vaca, carne de porco, salsichas, carne seca
Produtos Biotecnológicos	Levedura, bactérias, proteínas, aminoácidos, enzimas
Outros	massas, macarrão, queijos. Aromatizantes, sumos, sopas

2.1.5. Pasteurização

A pasteurização representa um tratamento térmico relativamente baixo usualmente as umas temperaturas abaixo da temperatura do ponto de ebulição da água, no entanto, mais recentemente têm sido utilizadas temperaturas bem acima dos 100°C por apenas

alguns segundos sendo também estes denominados de pasteurização. Com efeito, este método ao utilizar o tratamento térmico destrói a maioria dos microrganismos patogênicos, com exceção de esporos resistentes ao calor, de origem alimentar. Em seguida, esta destruição deve fazer diminuir o número de microrganismos sobreviventes até a um ponto onde existe um abrandamento, atraso ou paragem da deterioração dos alimentos assegurando ao produto um tempo de vida aceitável. Por outro lado, o aquecimento deve inativar as enzimas dentro do alimento, o que de outro modo poderia causar alterações orgânicas indesejáveis. Por fim, o tratamento térmico moderado é capaz de manter a qualidade dos alimentos a um grau mais elevado em comparação com o processo de esterilização mais severo (Deák, 2014).

Apesar de ser usualmente associado ao leite, a pasteurização também é aplicada a diversos alimentos como sumos, cerveja, sidra, vinho, queijo processado, sopas e refeições pré-feitas.

2.2. Efeito de Peltier

O efeito de Peltier consiste no fenómeno de libertação ou absorção de calor, na junção de dois metais ou semicondutores diferentes, produzido quando a corrente elétrica passa através dela (circuito fechado). Este efeito surge devido à existência de uma força eletromotriz na junção, originada pela diferente composição em cada um dos lados da junção (Terasaki, 2016).

A quantidade de calor trocada depende do tipo de materiais utilizados e da intensidade da corrente. O efeito Peltier é dado por:

$$Q_p = \Pi \times I \quad (2.1)$$

Em que:

Q_p corresponde ao calor associado;

Π corresponde ao coeficiente de Peltier;

I corresponde à corrente elétrica no sistema;

Com efeito, o efeito Peltier pode ser considerado como o inverso do efeito de Seebeck onde o calor associado no efeito Peltier em termos do coeficiente de Seebeck:

$$Q_p = \alpha \times I \times T \quad (2.2)$$

Em que:

Q_p corresponde ao calor associado;

α corresponde ao coeficiente de Seebeck;

I corresponde à corrente elétrica no sistema;

T corresponde à temperatura absoluta do sistema;

Com efeito as células de Peltier, apresentadas na Figura 2.2 são constituídas por 2 “chapas” de material isolante (por norma cerâmica) com uma malha de material condutor (por exemplo cobre) na parte interna da chapa. Entre as duas malhas de condutores estão localizados diversos pares de semicondutores do tipo “N” (Negativos) e “P” (Positivos) que dão início ao efeito Peltier ao absorver calor numa das chapas e dissipando calor na outra chapa.

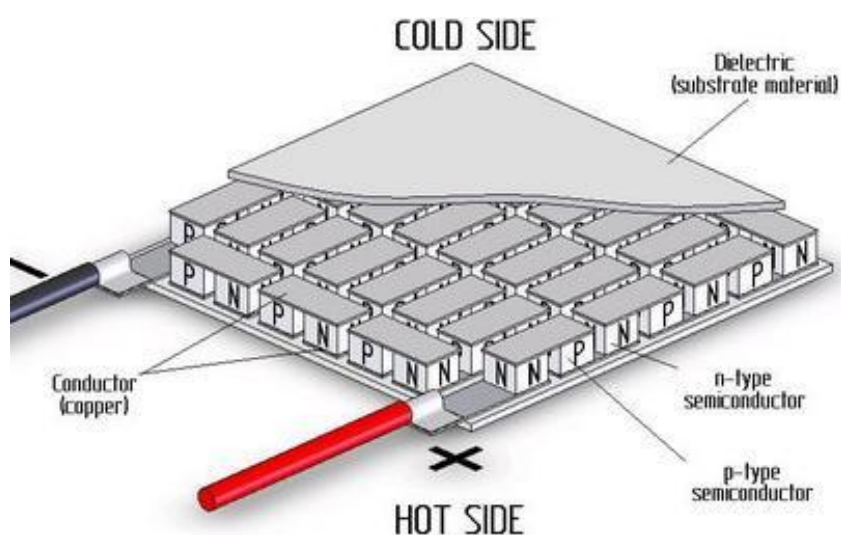


Figura 2.2. Constituição da célula Peltier (Slanina *et al.*, 2018).

Quando é aplicada energia à célula Peltier, os elétrons vão do semicondutor tipo P para o tipo N devido ao aumento de energia. Quando os elétrons do tipo N se deslocam para o tipo P, dissipam calor e este lado é designado como o lado quente. A temperatura do lado frio arrefece em relação à temperatura do lado quente. A temperatura do lado frio arrefece em relação à temperatura do lado quente. Isto é o que faz com que os módulos Peltier sejam arrefecedores diferenciais. Para manter uma temperatura constante no lado frio, o calor precisa de ser irradiado para longe do lado quente constantemente (Slanina *et al.*, 2018).

É de notar que células de Peltier são aparelhos sólidos que não possuem partes móveis, completamente silenciosos, extremamente fiáveis, pequenos, leves, sem necessidade de qualquer manutenção, com um amplo intervalo de temperatura, ambientalmente amigáveis. No entanto, se as células Peltier consumirem muita energia e se ocorrer uma falha, esta pode destruir o lado frio, uma vez que ao atingirem temperaturas negativas pode ocorrer condensação dependendo do ambiente e da humidade do ar.

Se o calor gerado não for possível ser dissipado para o ambiente, então será dissipado para a própria célula, encaminhando o sistema a um equilíbrio térmico, reduzindo drasticamente a vida útil da célula. Em certos projetos é possível encontrar células “empilhadas” convergindo os seus lados que dissipam calor com o lado absorvente de outra célula, e assim aumentar o poder de refrigeração na primeira célula.

2.2.1. Aplicações do efeito de Peltier

Com efeito, devido a todas as características das células Peltier existem diversas aplicações às quais são úteis, sendo que um exemplo de aplicação é na otimização de LEDs a baixa temperatura. Badalan & Svasta (2015) apresentam a comparação entre o funcionamento de um LED que possui uma célula Peltier e um LED que utiliza um dissipador de calor normal. Deste modo, o desempenho dos LED é muito influenciada pela temperatura, sendo que se a temperatura aumentar a intensidade da luz, a cor e a vida útil do LED também é afetada. Na maioria dos casos os danos são reversíveis, mas se a temperatura exceder 150°C os danos passam a ser irreversíveis. Assim, os resultados obtidos no estudo que se encontram representados na Figura 2.3 mostram que a célula Peltier pode ser aplicada apresentando resultados positivos, no sistema de arrefecimento de LEDs, sendo muito mais eficiente do que o arrefecimento passivo e assim aumentar a vida útil dos LED.

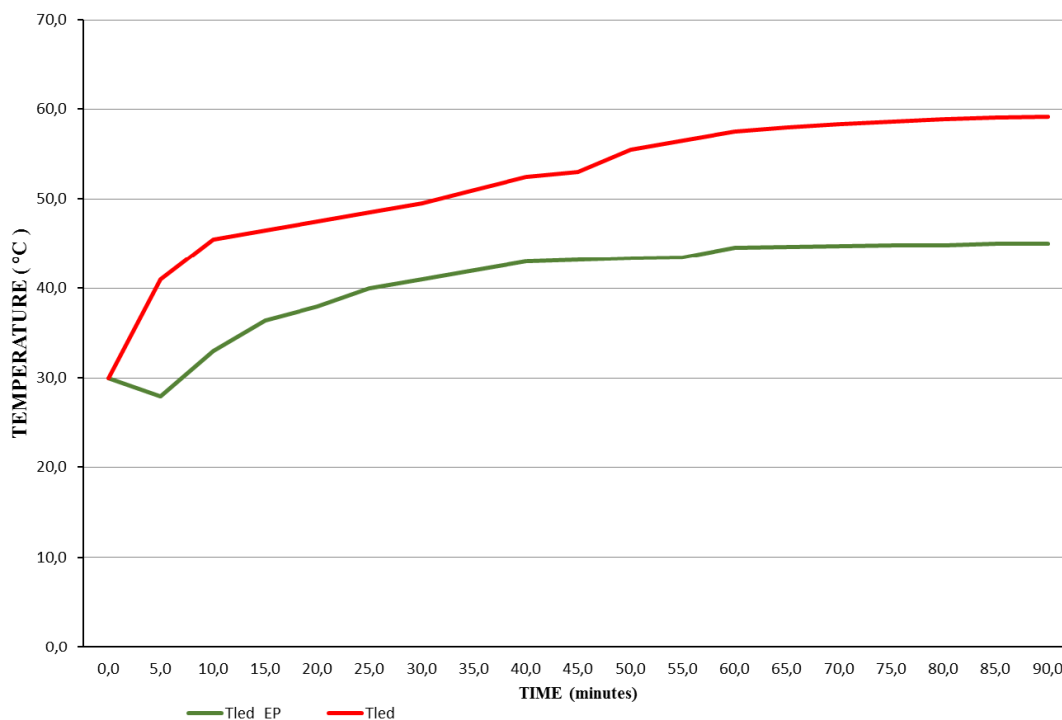


Figura 2.3. Comportamento térmico do LED com dissipador de calor (Vermelho) e do LED com célula de Peltier (Verde) (Badalan & Svasta, 2015).

Halima *et al.* (2022) estudaram o efeito de adicionar uma célula Peltier no dissipador de calor de um LED, conforme apresentado na Figura 2.4. Esta situação provoca um aumento da resistência térmica e por esse motivo da temperatura ao nível da fonte do LED e da sua junção, fazendo com que devido a estes efeitos térmicos haja uma queda na eficiência luminosa da fonte LED. Assim, neste artigo é proposto um balanço energético deste dispositivo a fim de avaliar quer as perdas quer os ganhos gerados pela adição da célula Peltier e deste modo estimar a eficiência necessária para um conversor térmico. No entanto, a célula Peltier fez com que houvesse um aumento da resistência térmica e com isso reduzir a eficiência luminosa do LED. Assim, a utilização da célula Peltier apenas se demonstra eficiente se for utilizada em substituição do dissipador de calor normal, já que se demonstra mais eficiente aumentando a vida útil do LED.

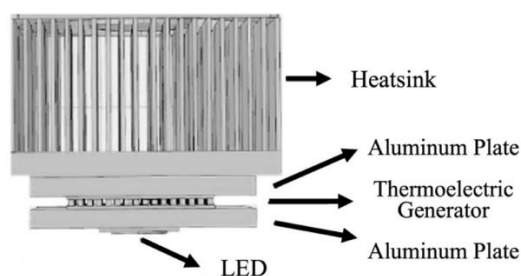


Figura 2.4. Sistema de arrefecimento com TEC (Célula de Peltier) (Halima *et al.*, 2022).

Lu *et al.* (2022) utilizaram uma célula Peltier para estabilizar a temperatura da junção de um LED de alta potência, conforme apresentado na Figura 2.5, de forma a reduzir o ruído de base pela primeira vez. Assim, quando comparado com o arrefecimento por ventilador, o SNR (*signal to noise ratio*) aumentou para mais de 3,8 vezes e o tempo de aquecimento foi encurtado em 64,4%, proporcionando uma técnica útil para melhorar tanto o SNR como o tempo de aquecimento de HP-LED-IF que possuem uma ampla perspectiva de aplicação.

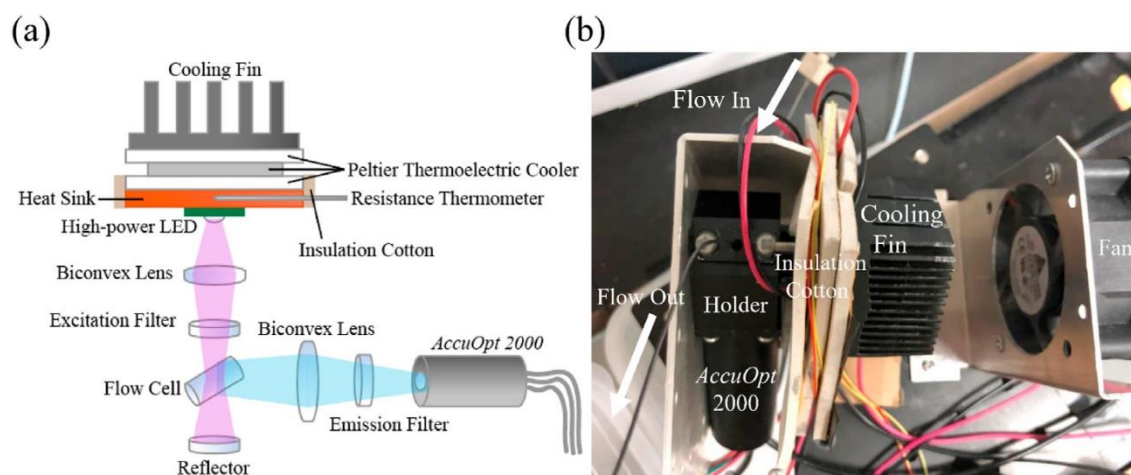


Figura 2.5. Diagrama esquemático do HP-LED-IF (a) e Vista superior do detetor (b) (Lu *et al.*, 2022).

Iskrenović *et al.* (2019) construíram um termostato que fornecia medições mais rapidamente e com maior precisão, funcionando sem oscilações durante o ajuste de temperatura, sendo que este é constituído por um microcontrolador como condutor e por uma célula Peltier, conforme apresentado na Figura 2.6. Assim, as células Peltier são geridas pelos impulsos do conversor AD e DA de 16 bits que é controlada pelo

microcontrolador que para além disto também mede a temperatura atingida. No entanto, é necessário ter em conta as características das células Peltier e dos seus elementos termoelétricos.

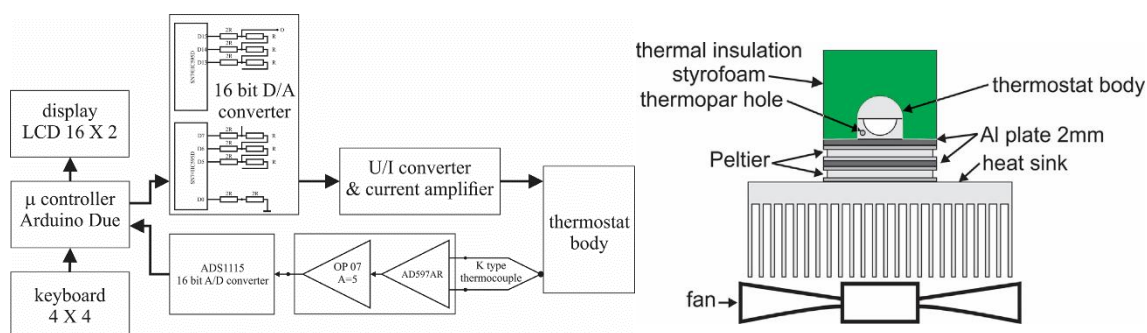


Figura 2.6. Diagrama esquemático do sistema termoelétrico (esquerda) e diagrama esquemático do corpo do sistema termoelétrico (direita) (Iskrenović *et al.*, 2019).

Diatta *et al.* (2021) analisaram a influência do efeito das células Peltier na evolução da temperatura, densidade e heterogeneidade do tamanho dos grãos durante a aglomeração do plasma (SPS) de carbonato de boro. A SPS é uma técnica de aglomeração que associa carga mecânica uniaxial e corrente elétrica estável ou pulsada para consolidar materiais em pó. Por outro lado, o carboneto de boro é extremamente duro, leve, e com um alto ponto de fusão cerâmico estrutural com aplicação em armaduras, em engenharia nuclear e em outros campos industriais. Com efeito, os resultados numéricos mostram a importância de se ter em conta o efeito Peltier na previsão do comportamento de densificação dos materiais sujeitos a SPS. Assim, é confirmada a existência de um gradiente de temperatura entre a superfície superior e inferior da amostra de carboneto de boro processado por SPS. Deste modo, a diferença de temperatura axial observada é de cerca de 100°C. Assim, a temperatura é um parâmetro chave na densificação não uniforme entre as partes superior e inferior da amostra de carboneto de boro sujeito a SPS. O efeito Peltier também têm um impacto no crescimento do grão da amostra.

Freire *et al.* (2021) testaram a obtenção de energia de geradores termoelétricos baseados em células Peltier através de fontes de calor naturais e/ou artificiais, de forma a existir uma nova ferramenta ecológica que permita a geração de energia limpa. Assim, o estudo está focado numa pesquisa bibliográfica para determinar os parâmetros que intervêm na

validade da conversão energética e também para avaliar e analisar a eficiência das células Peltier. É considerado um processo didático de transferência de calor, que fornece as condições necessárias a um gerador termoelétrico baseado em células Peltier, conforme representado na Figura 2.7. Com efeito, os geradores termoelétricos convertem diretamente calor em eletricidade. Esta fonte de energia é uma alternativa eficaz que se concentra na redução do impacto ambiental. Foi analisado a possibilidade de utilizar o calor desperdiçado dos processos como uma fonte promissora de energia elétrica. Deste modo, o calor induz a circulação de uma corrente elétrica ao fluir do carburador de gás através do módulo termoelétrico. Assim, um módulo termoelétrico (TEM) com células Peltier é um componente eletrônico específico que funciona como uma pequena bomba de calor, sendo que é formado por termopares semicondutores alternativos do tipo N e P. Quando abastecem os módulos termoelétricos com eletricidade, atuam como frigoríficos, enquanto quando fornecidos com uma diferença de temperatura, gera uma tensão elétrica. Este estudo permitiu demonstrar que os gradientes de temperatura presentes em zonas com águas térmicas de montanha podem ser utilizados para a geração de energia elétrica e a sua conversão sob outras formas de aplicação em equipamentos elétricos de baixa potência e/ou armazenamento. Foi também possível estabelecer as condições ideais nas quais as células Peltier podem ser mais eficientes em sistemas reais. Se o gradiente de temperatura não for suficiente, pode ser utilizado em combinação com um sistema coletor.

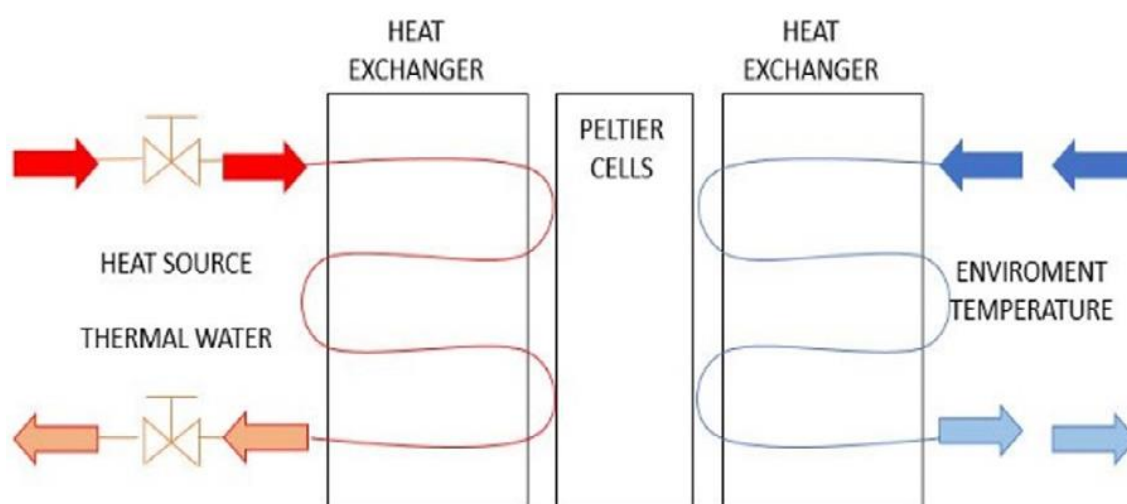


Figura 2.7. Diagrama do processo (Freire *et al.*, 2021).

Devido ao facto da pandemia de SARS-COV-2 ter implicado a utilização de máscaras, fez com que houvesse a necessidade de transportá-las para o utilizador sem as contaminar e também conseguir desinfetá-las após a utilização de forma que haja um menor desperdício e deste modo menor poluição. Assim, James *et al.* (2022) propuseram e desenvolveram um dispositivo portátil que serve para o armazenamento e desinfecção de máscaras conforme apresentado na Figura 2.8. Este dispositivo possui as dimensões de 140 mm x 90 mm x 43.25 mm, sendo bastante compacto e com a capacidade de armazenamento de 6 máscaras. O princípio de funcionamento consiste no aquecimento das máscaras até uma temperatura de 65°C durante mais de 3 minutos, de forma que as bactérias e vírus de SARS-COV-2 possam ser eliminados e com isso fazer com que a máscara esteja segura, desinfetada e possa ser reutilizável. A caixa é composta por duas células Peltier controladas por um microcontrolador ATtiny85, uma placa metálica que está em contato com as células Peltier, duas baterias Li-Po como fonte de alimentação e um interruptor para ligar/desligar o dispositivo, sendo que a caixa pode ser recarregada facilmente utilizando uma porta micro-USB.

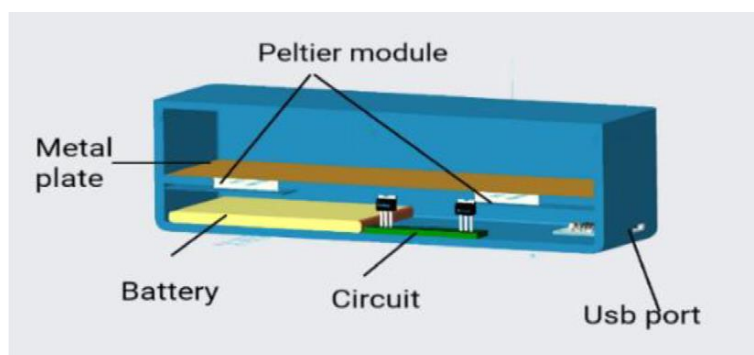


Figura 2.8. Desenho esquemático do protótipo (James *et al.*, 2022).

Casano & Piva (2017) elaboraram uma análise quantitativa do desempenho de um sistema de arrefecimento concebido para dissipar o calor gerado pelos componentes eletrónicos ativos e passivos de um SMPS (*Switched-mode power supply*), de forma a limitar o seu funcionamento máximo de temperatura (Figura 2.9). Assim, os componentes ativos são arrefecidos com uma placa fria líquida. Por outro lado, os componentes passivos são arrefecidos com um fluxo de ar, sendo que a temperatura deste fluxo é controlada com as células Peltier.

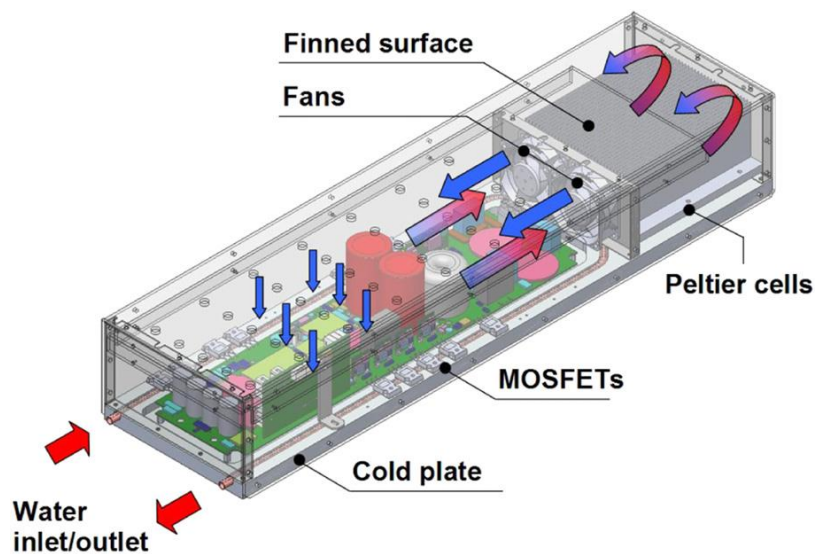


Figura 2.9. Protótipo com o sistema de arrefecimento e com o PCB (Casano & Piva, 2017).

Casano & Piva (2011) realizaram uma investigação experimental para caracterizar o desempenho dos módulos termoelétricos utilizados para a produção de energia elétrica numa gama de diferentes cargas de resistência. A Figura 2.10 representa tanto o diagrama da secção de teste, como também uma pequena experiência deste. Com efeito, o desempenho de uma célula Peltier utilizada como gerador termoelétrico é avaliada em termos de potência de saída e eficiência de conversão. Deste modo, os resultados mostram que um módulo termoelétrico é um dispositivo promissor para a recuperação de calor residual.

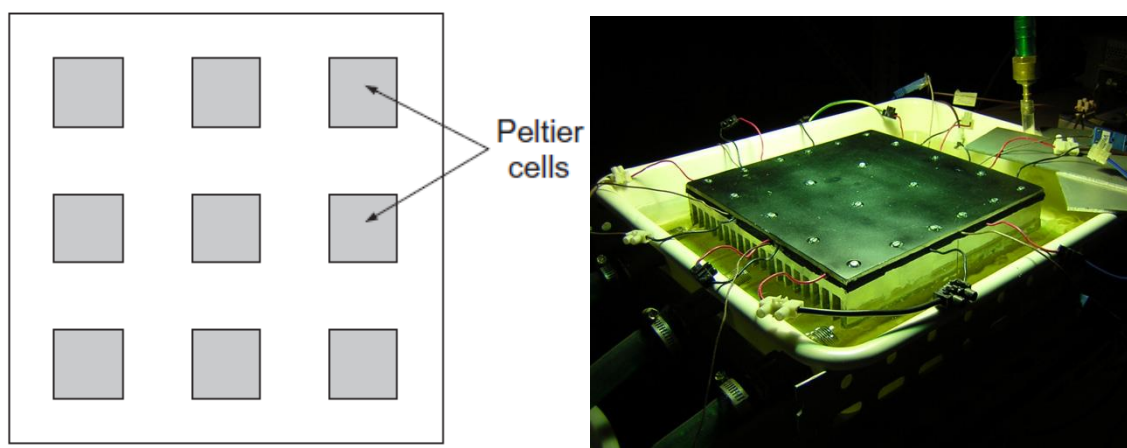


Figura 2.10. Diagrama esquemático do posicionamento das células Peltier (esquerda) e pequena experiência do gerador termoelétrico (direita) (Casano & Piva, 2011).

Ivanov *et al.* (2022) estudaram e aplicaram uma nova forma de reduzir as perdas de calor através da utilização de cabos de corrente equipados com células Peltier. Este estudo demonstra-se relevante visto que são os fluxos de calor através dos condutores de corrente que determinam essencialmente a eficiência económica dos sistemas supercondutores. Assim, as células de Peltier são instalados em série no circuito de potência e deste modo a corrente de transporte passa através da célula Peltier, conforme representado no modelo conceptual da Figura 2.11. No entanto, outra vantagem da utilização desta aplicação é o facto de que quando o circuito é desligado, a perda de calor é reduzida devido à baixa condutividade térmica da célula Peltier. Com efeito, neste trabalho demonstrou-se que o PCL na nova configuração provocou uma diminuição adicional no fluxo de calor de cerca de 30% em relação ao PCL na configuração padrão, sendo que com a utilização da configuração proposta este pode ser utilizado eficazmente em sistema criogénicos abertos, por exemplo, no subsistema de fornecimento de energia de uma aeronave elétrica.

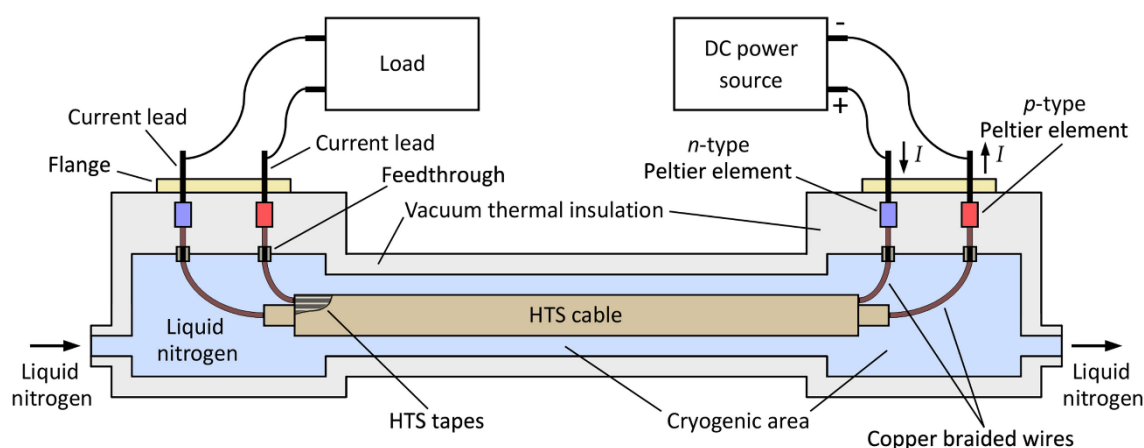


Figura 2.11. Desenho do Modelo conceptual da introdução de Células Peltier nos cabos de corrente (Ivanov *et al.*, 2022).

Por outro lado, Jahangir *et al.* (2019) propuseram uma nova ideia de um casaco de arrefecimento baseado no efeito Peltier e que se encontra representado na Figura 2.12. Assim, este casaco pode ser útil para soldados em campo, para guardas de trânsito e para seguranças. Deste modo, dentro do casaco é utilizado uma célula Peltier com dissipadores de calor e pequenos ventiladores DC, sendo que quando o ar quente passa junto ao lado frio da célula Peltier, este torna-se frio e em seguida os ventiladores fazem

circular esse ar frio no interior do casaco. Com efeito, o circuito é alimentado através da utilização de uma banda solar situada na parte traseira do casaco e que regula a temperatura dentro deste, visto que é diretamente proporcional à quantidade de energia solar que recebe. Ou seja, quanto maior for a sua exposição solar, maior será o seu arrefecimento. Deste modo, apesar da placa de Peltier não ser usualmente utilizada em aplicações para arrefecimento de uma sala ou em frigoríficos de grandes dimensões devido à sua ineficiência, no entanto neste artigo foi possível utilizar a célula de Peltier para arrefecer áreas de pequenas dimensões como um casaco ou um mini-frigorífico.



Figura 2.12. Interior do protótipo do casaco de arrefecimento (Jahangir *et al.*, 2019)

Attavane *et al.* (2017) desenvolveram um sistema para gerar calor ou frio utilizando uma célula Peltier, que é bastante compacto, conforme apresentado no diagrama do protótipo presente na Figura 2.13. Assim, este efeito gera uma diferença de temperatura através da transferência de calor entre duas junções elétricas, sendo que as células Peltier são implementadas principalmente para arrefecimento. No entanto, conforme descrito anteriormente também é possível, através do efeito de Peltier, realizar aquecimento ou fazer o controlo da temperatura. Deste modo, os resultados experimentais obtidos apresentaram que a temperatura máxima obtida é de aproximadamente 96°C. Por outro lado, a temperatura mínima alcançada foi de -11°C, sendo que com base nestes dados é possível concluir que a energia térmica que é extraída através da célula Peltier pode ser utilizada de forma eficiente para fins quer de aquecimento quer de arrefecimento.

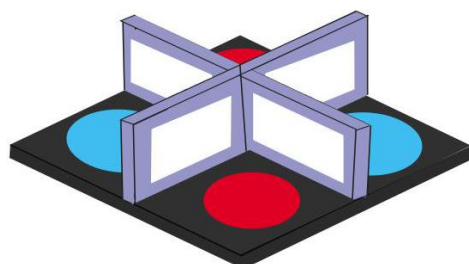


Figura 2.13. Diagrama de uma secção do protótipo (Attavane *et al.*, 2017).

Já Rokde *et al.* (2017) desenvolveram um refrigerador alimentado a energia solar, para ser utilizado em zonas rurais, que se demonstrou mais fiável do que os refrigeradores portáteis, e mais rentável e ecológico o que corresponde ao requisito atual mais desejado pela sociedade. Com efeito, o refrigerador desenvolvido possui dimensões internas de 30 x 30 x 14 cm com uma espessura média das paredes de 4 mm de placa de fibra, possuindo assim uma capacidade de 12.5 litros, conforme apresentado na Figura 2.14. Deste modo, através do controlo da amplitude térmica da unidade de refrigeração, este refrigerador pode ser utilizado em diversos sectores como na conservação de lacticínios, em peixes e marisco que sejam transportados para os mercados ou até mesmo ser utilizado no transporte e armazenamento de sangue e produtos farmacêuticos. Assim, este refrigerador partiu de uma temperatura de 32°C demonstrando ter uma eficiência de até 7 horas sendo que a temperatura que conseguiu atingir ao fim de 5 horas foi de 14°C. No entanto, a eficiência deste pode ser aumentada através do aumento do número de células Peltier utilizadas e com isso fazer com que atinja temperaturas ainda mais baixas.



Figura 2.14. Protótipo de um refrigerador utilizando células de Peltier para a refrigeração e abastecido por energia solar (Rokde *et al.*, 2017).

2.3. Nota conclusiva

Existem, atualmente, vários métodos de conservação de alimentos que contribuem para a sua preservação e qualidade ao longo da cadeia de transporte. Com efeito, o método mais utilizado e que preserva uma maior qualidade dos alimentos é refrigeração, uma vez que consegue preservar a textura, o sabor, o cheiro e a aparência contribuindo assim para a preservação da “frescura” dos produtos. Por outro lado, a congelação apesar de abranger um largo espectro de alimentos que podem ser conservados utilizando este método, nem todos os alimentos podem ser conservados deste modo. Por exemplo, no caso de frutas o facto de serem congelados altera a sua textura e sabor. Outro processo descrito foi a conservação utilizando embalagens assépticas que, apesar de poder ser utilizado para conservar diversos alimentos, implica em alguns casos a alteração da textura e qualidade nutricional dos alimentos e devido a isto uma alteração também da aparência e sabor do alimento não preservando, assim, a “frescura” dos alimentos. Com efeito, o quarto método de conservação descrito neste capítulo foi a secagem, que apesar de conseguir remover o crescimento de microrganismos, reações enzimáticas ou quaisquer outras reações deteriorantes, implica como o próprio nome diz uma secagem do alimento e com isso uma alteração do aspeto, textura e sabor do alimento, alterando assim a qualidade destes. Por fim, o último método descrito foi a pasteurização, isto é, a utilização de temperaturas altas durante um período de tempo de forma a abrandar, atrasar ou até mesmo parar a deterioração dos alimentos assegurando ao produto um tempo de vida aceitável. No entanto, este método apenas pode ser utilizado a um pequeno leque de alimentos como leite, sumos e algumas bebidas com teor alcoólico.

Na segunda parte deste capítulo foi abordado o efeito que irá ser utilizado na nova abordagem que irá ser feita à conservação de produtos em embalagens secundárias/terciária. Com efeito, no início foi definido em que consistia o efeito de Peltier bem como o seu princípio de funcionamento que consiste na utilização de corrente num circuito fechado de forma a que haja uma absorção de temperatura de um dos lados da célula e emissão de calor do lado oposto. Deste modo, após a definição do conceito e do princípio de funcionamento, foram apresentadas diversas aplicações deste efeito, desde aplicação para melhorar o desempenho de LEDs, passando pela utilização para desinfetar máscaras contra o SARS-COV-2, até ao desenvolvimento de um frigorífico abastecido por energia solar de forma a ser utilizado em zonas rurais.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais

Para a realização deste projeto é necessário primeiramente apresentar todo o material necessário para a sua elaboração. Assim, apresenta-se neste ponto todo o material necessário e de seguida as devidas características técnicas, ou seja, as dimensões, alcance, tolerâncias, entre outros. Deste modo, o material necessário consiste em:

- Embalagens secundárias;
- Embalagem terciária;
- Baterias;
- Medidor de temperatura;
- Multímetro;
- Células Peltier.
- Fruta (laranjas, tangerinas e toranjas)

3.1.1. Características técnicas de cada material

Com efeito, conforme descrito acima, neste ponto são caracterizados todos os materiais necessários para a elaboração do projeto. Assim, iniciando pela mesma ordem as embalagens secundárias, que são utilizadas para o transporte de alimentos e tendo em conta a sustentabilidade podem ser utilizadas as embalagens RPC da IFCO, por exemplo a Green Lite CH6416 (Figura 3.1) com as características descritas na Tabela 3.1.



Figura 3.1. Embalagem Green Lite CH6416 (IFCO).

Tabela 3.1. Características da embalagem Green Lite CH6416 (IFCO).

Característica	Valor
Dimensão externa (m)	0.600×0.400×0.164
Dimensão interna (m)	0.568×0.366×0.156
Peso (Kg)	1.510
Capacidade máxima (kg)	12
Intervalo de temperatura capaz de suportar	-10°C até 60°C
Material	Polipropileno p/ produtos alimentares

Deste modo, a embalagem terciária que constitui o material onde as embalagens secundárias irão ser colocadas e tendo em conta novamente a sustentabilidade podem ser utilizadas paletes da empresa INKA, mais propriamente paletes de plástico compactado que são construídas através da utilização de plástico reciclado, um exemplo pode ser IKP1878 PEE (Figura 3.2), com as características apresentadas na Tabela 3.2.

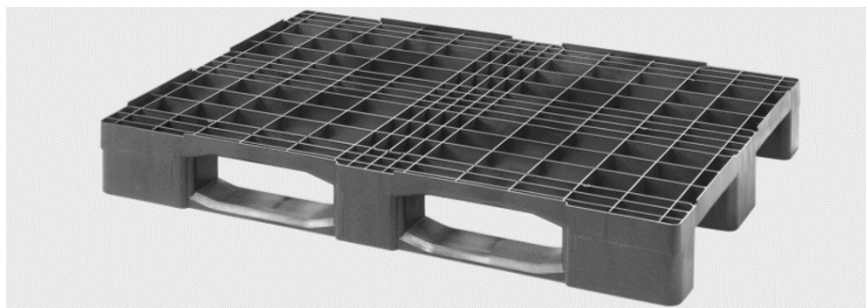


Figura 3.2. Pallet IKP1878 PEE (INKA).

Tabela 3.2. Características IKP1878 PEE (INKA).

Característica	Valor
Dimensão (m)	0.800×1.200×0.150
Peso (kg)	11,5
Capacidade carga dinâmica (Kg)	1000-2500
Capacidade de carga estática (Kg)	8000

As baterias devem possuir as características descritas na Tabela 3.3., de forma que a possam ser incorporadas na embalagem terciária, ocupando o mínimo espaço possível. Um exemplo de uma bateria que pode ser utilizada é apresentada na Figura 3.3.

Tabela 3.3. Características necessárias para a bateria.

Característica	Valor
Dimensões máximas (m)	0.378×0.075×0.140
Tensão Nominal (V)	12
Constituição química	LiFePO4
Vida em ciclos	>2000
Peso (kg)	6
Temperatura de operação (°C)	Carregamento: 0 a 45 Descarregamento: -20 a 60



Figura 3.3. Bateria com as características presentes na Tabela 3.3. (Novoxy Power Technology Limited).

O sistema de monitorização de temperatura Fluke 51 K/J thermometer é utilizado para fazer o controlo das temperaturas superficiais nos dois primeiros testes preliminares, quer em ambas as partes das células Peltier, quer da temperatura dos alimentos utilizados nos ensaios. O sistema de monitorização utilizado (Figura 3.4) possui as características presentes na Tabela 3.4.



Figura 3.4. Medidor de temperatura Fluke 51 K/J thermometer (Fluke).

Tabela 3.4. Características medidor de temperatura Fluke 51 K/J thermometer (Fluke).

Característica	Alcance
Tipo J (ferro-constantan)	-200°C até 760°C ±2.2°C
Tipo K (crômio-alumel)	-200°C até 1370°C ±2.2°C

O sistema de monitorização de temperatura utilizado nos restantes testes é o PCE-T 1200. O sistema de monitorização utilizado (Figura 3.5) possui as características presentes na Tabela 3.5.



Figura 3.5. Medidor de temperatura PCE-T 1200 (PCE Instruments).

Tabela 3.5. Características do medidor de temperatura PCE-T 1200 (PCE Instruments).

Característica	Alcance
Tipo J (ferro-constantan)	-50,1 até -100°C ± (0.4%+1°C) -50 até +999,9°C ± (0.4%+0.5°C) +1000 até +1300°C ± (0.4%+1°C)
Tipo K (crômio-alumel)	--50,1 até -100°C ± (0.4%+1°C) -50 até +999,9°C ± (0.4%+0.5°C) +1000 até +1150°C ± (0.4%+1°C)
Tipo T (platina-ródio)	-50,1 até -100°C ± (0.4%+1°C) -50 até +400°C ± (0.4%+0.5°C)
Tipo E (crômio-constantan)	-50,1 até -100°C ± (0.4%+1°C) -50 até +900°C ± (0.4%+0.5°C)
Tipo R (ródio-platina)	0 até +1700°C ± (0.5%+3°C)
Tipo S (ródio-platina)	0 até +1500°C ± (0.5%+3°C)

Também é utilizado um multímetro Hewlett-Packard E2373A Multimeter (Figura 3.6), de forma a medir o valor de tensão e de corrente nas células Peltier utilizadas no ensaio. As suas características encontram-se apresentadas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Características do multímetro Hewlett-Packard E2373A Multimeter (Agilent Technologies).

Característica	Alcance
Tensão DC	até 1000V
Tensão AC	até 750V
Corrente DC	até 10A
Corrente AC	até 10A
Resistência	300Ω até 30MΩ



Figura 3.6. Multímetro Hewlett-Packard E2373A Multimeter (Agilent Technologies).

As células Peltier, conforme apresentada na Figura 3.7, servem como já foi descrito no subcapítulo 2.2 para diminuir e/ou manter a temperatura dos alimentos utilizados no ensaio. Neste ensaio foram utilizados dois tipos de células Peltier cujas características se encontram na Tabela 3.7.



Figura 3.7. Célula Peltier 12706 da botnroll (botnroll) (esquerda) e Célula Peltier 12706 da VLC Components S.I.(VLC Components s.I.)(direita).

Tabela 3.7. Características da célula Peltier 12706 da botnroll (botnroll) (a) e da célula Peltier 12706 da VLC Components S.I. (VLC Components s.I.) (b).

Característica	Valor (a)	Valor (b)
Tensão (V)	12	12
Tensão máxima (V)	15,2	15,4
Corrente máxima (A)	5	6
Potência máxima (W)	60	91,2
Temperatura máxima (°C)	225	68
Dimensões (mm)	40×40×3,8	40×40×3,4

3.2. Métodos

3.2.1. Caracterização do ambiente externo

Na realização dos testes é necessário tomar em consideração as temperaturas quer do ambiente em redor, ou seja, a temperatura ambiente da sala, quer da temperatura no interior de um camião frigorífico, cuja temperatura segundo a Tabela 3.8 da cenex para o caso das laranjas, tangerinas e toranjas (alimento que irá ser utilizado nos testes), se encontra dentro do parâmetro de alimentos refrigerados a temperaturas altas, é de 8°C (cenex, 2021).

Tabela 3.8. Temperaturas de conservação por alimento em camiões frigoríficos (cenex, 2021).

Alimento	Temperatura °C
Frutas e vegetais refrigerados a temperaturas altas	8
Carne e comidas pré-preparadas refrigeradas	3
Peixe fresco (em gelo)	2
Frutas e vegetais refrigerados a temperaturas baixas	1
Carne congelada	-10
Gelo e gelados	-25

3.2.2. Posicionamento da bateria e das células de Peltier

Começando pela bateria, o posicionamento desta deve ser feito num local onde haja o mínimo de desperdício de espaço útil de colocação das embalagens secundárias. Por esse motivo foi observado que a bateria que possuísse as dimensões máximas referidas anteriormente, podia ser colocada na base da europaleta, conforme apresentado na Figura 3.8. Esta será protegida de ambos os lados por duas chapas de metal de dimensões máximas de 500×78×5 mm de forma que os garfos dos empilhadores não danifiquem as baterias.

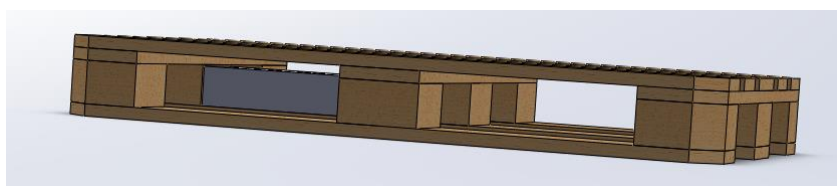


Figura 3.8. Paleta com o posicionamento da bateria (cinzento).

Com efeito, para as células Peltier é necessário primeiramente saber o número de células necessárias através da potência necessária que pode ser determinada pela Equação 3.1, considerando que a embalagem secundária está fechada por possuir outra embalagem a cobrir a sua parte superior. Então o valor da área, Ar , pode ser calculado através da Equação 3.2, sendo que as perdas como carga passiva por radiação e condução foram desconsideradas de forma a simplificar os cálculos e por serem desprezáveis.

$$Q_{convec} = h \times Ar \times (T_{amb} - T_f) \quad (3.1)$$

$$Ar = 2 \times A_1 + 2 \times A_2 + 2 \times A_3 \quad (3.2)$$

Calculando o A_r através da Equação 3.2 e com as dimensões da embalagem secundária referida em 3.1.1:

$$A_r = 2 \times (0.6 \times 0.4) + 2 \times (0.4 \times 0.164) + 2 \times (0.6 \times 0.164) \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow A_r = 0.808 \text{ m}^2$$

Calculando agora o valor da carga térmica de convecção através da Equação 3.1 e sendo o valor de h é de $21.7 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (Danvic) para uma placa horizontal a uma pressão de 1 atm, o T_{amb} é de 25°C e T_f é de 8°C conforme apresentado em cenex (2021), então o valor da potência térmica necessária é de:

$$Q_{convec} = 21.7 \times 0.808 \times (25 - 8) \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow Q_{convec} = 298.07 \text{ W}$$

As Células Peltier terão de possuir no seu conjunto um valor a rondar 300 W. Tendo em conta as características das células apresentas na seção 3.1.1, podem-se utilizar 2 células Peltier 12706 da VLC Components S.I. e 2 células Peltier 12706 da botnroll que, utilizando a Equação 3.3, podemos calcular a potência exata que estas células irão fornecer.

$$P_{Necessária} = 2 \times P_{Célula \text{ botnroll}} + 2 \times P_{Célula \text{ VLC}} \quad (3.3)$$

Substituindo agora os valores na Equação 3.3:

$$\Leftrightarrow P_{Necessária} = 2 \times 60 + 2 \times 91,2 \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow P_{Necessária} = 302.4 \text{ W}$$

Deste modo, novamente utilizando a tabela das células presente seção 3.1.1, pode-se observar que as células da botnroll necessitam de 5 A cada uma e que as células da VLC Components SI de 6 A cada uma. Então, através da Equação 3.4, é possível calcular qual a intensidade de corrente necessária para funcionar durante 60 minutos numa embalagem secundária:

$$I = 2 \times I_{botnroll} + 2 \times I_{VLC} \quad (3.4)$$

Substituindo agora os valores na Equação 3.4:

$$\begin{aligned} I &= 2 \times 5 + 2 \times 6 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow I = 22 \text{ A} \end{aligned}$$

Sabendo que o sistema é composto por 12 embalagens secundárias, é possível calcular qual a intensidade de corrente necessária para alimentar o sistema durante 60 minutos através da Equação 3.5.

$$I_{Total} = N_{embalagens} \times I \quad (3.5)$$

Substituindo os valores na Equação 3.5:

$$\begin{aligned} I &= 12 \times 22 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow I = 264 \text{ A} \end{aligned}$$

Com efeito, para alimentar o sistema é necessária uma fonte de alimentação com 264 A. Em relação à colocação das células Peltier, esta deverá ser feita nas zonas laterais superiores uma vez que, conforme apresentado por Leungtongkum *et al.* (2023) e tendo

em conta as características das embalagens secundárias utilizadas, as células posicionadas nestas zonas apresentam um melhor desempenho na diminuição da temperatura. Assim a colocação deve ser feita conforme apresentado na Figura 3.9.



Figura 3.9. Embalagem secundária com o posicionamento das células Peltier nas zonas laterais.

3.2.3. Conectores entre as células Peltier

As células Peltier devem estar conectadas entre si num circuito fechado e em série por cada embalagem secundária. Para realizar as conexões entre si podem ser utilizados, por exemplo, os conectores da marca WAGO, mais propriamente o modelo 221-2401 (Figura 3.10)



Figura 3.10. Conetor WAGO 221-2401 (WAGO).

No entanto, para as conexões entre a embalagem secundária e a embalagem terciária e de forma a simplificar a sua conexão, podem ser utilizados conectores, por exemplo os modelos 890-112 e 890-103 (Figura 3.11) da WAGO, em que o utilizador apenas necessita de encaixar os conectores um no outro sem a necessidade de qualquer ferramenta.



Figura 3.11. Conetor WAGO 890-112 (esquerda) (WAGO) e conetor WAGO 890-103 (direita) (WAGO).

3.2.4. Caracterização do posicionamento dos sensores de temperatura

De forma a melhor localizar o posicionamento dos sensores de temperatura que irão fornecer as temperaturas em determinadas embalagens secundárias, foi realizado primeiramente um esquema tridimensional (Figura 3.12) em Solidworks da embalagem terciária com as 12 embalagens secundárias. Deste modo, o desenvolvimento deste esquema permite utilizar as respetivas vistas de forma a identificar cada uma das colunas de embalagens secundárias (Figura 3.13), bem como o seu posicionamento em relação à porta da câmara. Deste modo, o passo seguinte residiu em separar por linhas as embalagens secundárias em relação à sua altura, por exemplo, a embalagem que se encontra na coluna 1 e na segunda linha é representada por M1. Assim, na Figura 3.14 é possível ver cada uma das embalagens secundárias com essa mesma caracterização.

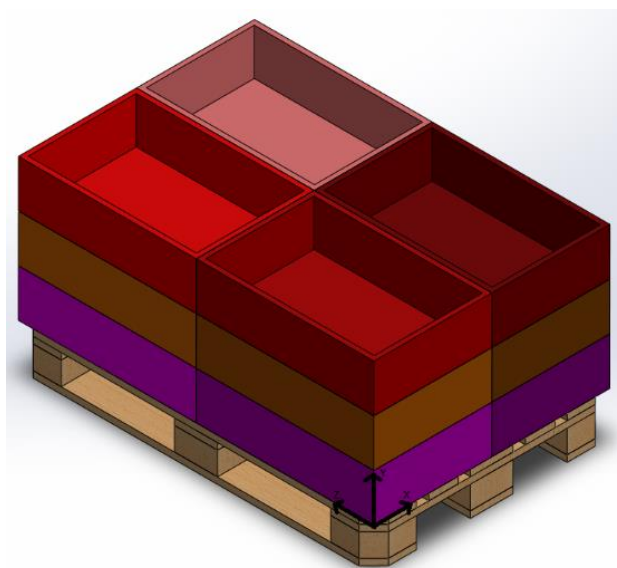


Figura 3.12. Esquema tridimensional da embalagem terciária com as 12 embalagens secundárias.

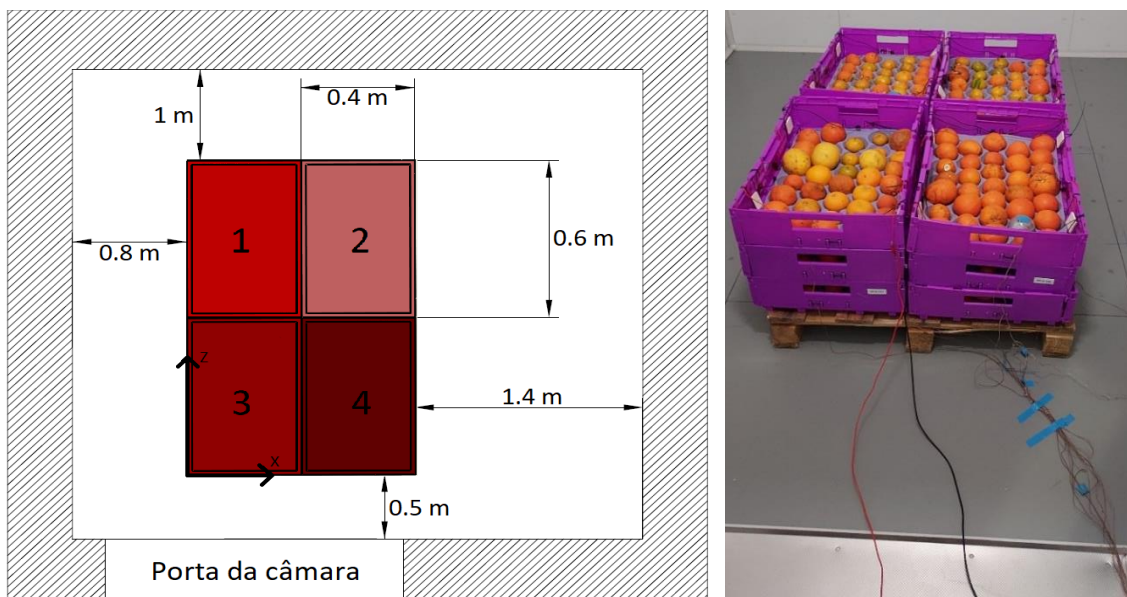


Figura 3.13. Vista superior do esquema tridimensional com a representação de cada uma das colunas de embalagens, bem como do seu posicionamento dentro da câmara de refrigeração ($V = 21.06 \text{ m}^3$, com $H = 2.6 \text{ m}$) (esquerda) e o sistema Peltier dentro da câmara de refrigeração (direita).

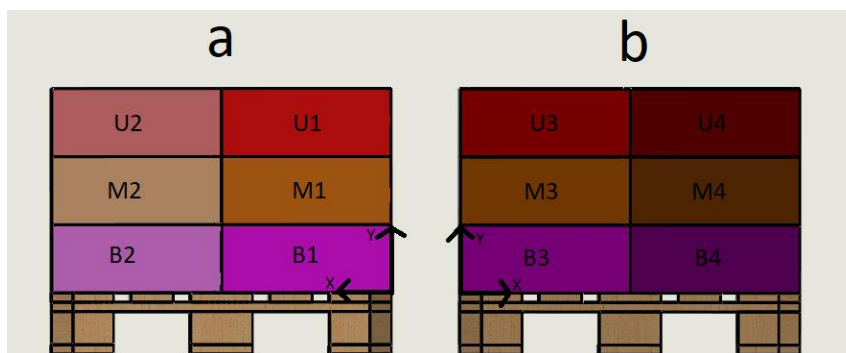


Figura 3.14. Caracterização do posicionamento de cada uma das embalagens secundárias na vista posterior (a) e na vista frontal (b).

Com efeito, na Figura 3.15 é apresentado posicionamento (x, y, z) (metros) de cada um dos sensores presentes nas caixas M1, U1, M4, B1, M3, U4, M2 e B4, que de forma a facilitar a sua identificação ficaram com a mesma denominação da embalagem onde se encontram.

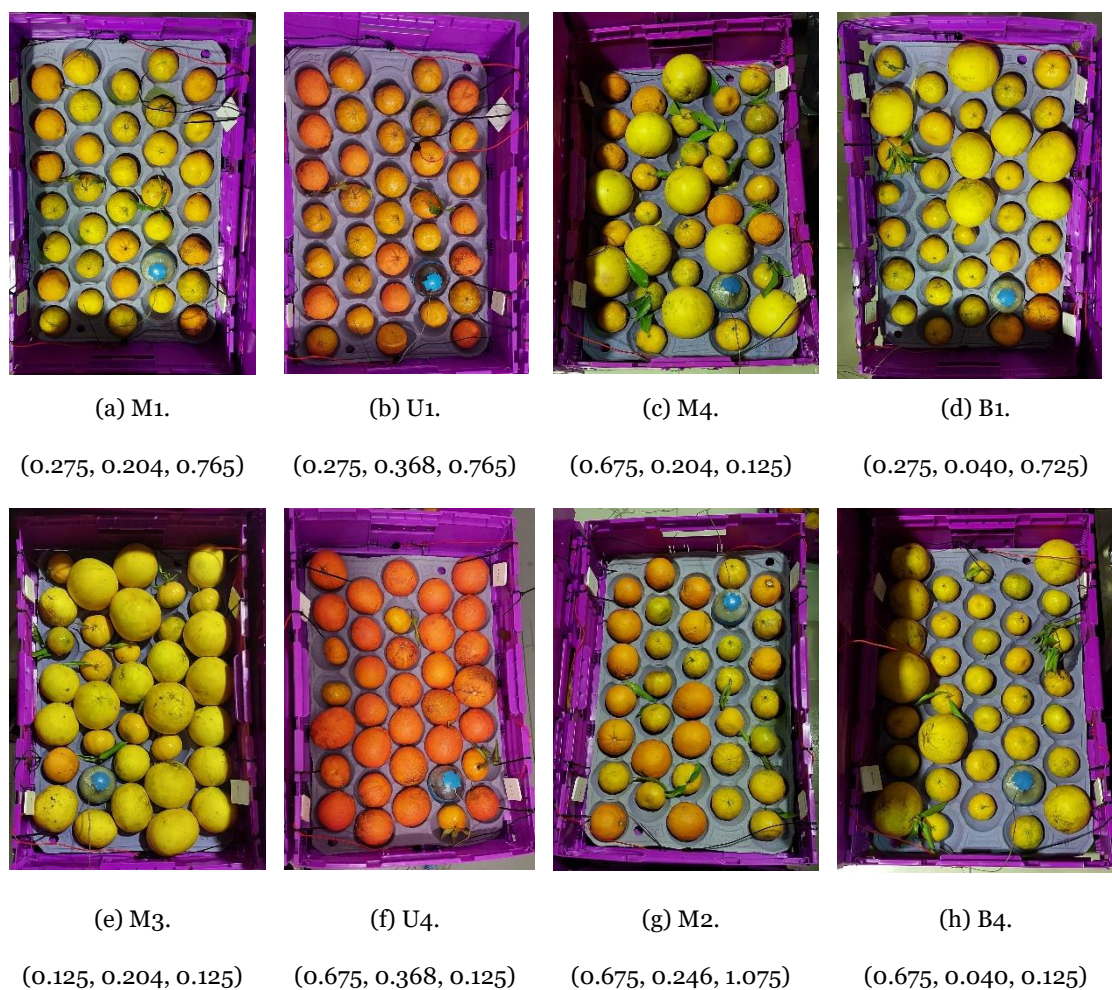


Figura 3.15. Posicionamento dos sensores: (a) M1; (b) U1; (c) M4; (d) B1; (e) M3; (f) U4; (g) M2; (h) B4.

3.2.5. Testes preliminares a realizar e seus objetivos

Os testes preliminares servem para analisar o comportamento inicial quer das células Peltier nas embalagens secundárias, quer das próprias variações térmicas que as embalagens secundárias sofrem quando se encontram dispostas em conjunto na embalagem terciária. Deste modo, existem três testes preliminares que foram realizados realizar:

- 1º Teste: Comparação da variação de temperatura nas embalagens secundárias quando possuem massa térmica entre as células Peltier (lado dissipador) e a parede interna das embalagens secundárias, e quando não a possuem.
- 2º Teste: Com uma temperatura ambiente, qual a variação térmica que as células Peltier conseguem provocar? Qual o normal comportamento das células Peltier?

- 3º Teste: Com uma temperatura de 2°C quer do ambiente de conservação, quer da fruta dentro de uma câmara frigorífica, qual a variação da temperatura sem a utilização do sistema Peltier (teste de referência), a partir do momento em que se desliga o sistema de refrigeração da câmara e se abre a sua porta, em que a temperatura ambiente é de 15°C durante os primeiros 60 minutos?

3.2.6. Testes e seus objetivos

Por fim, neste ponto são retratados os testes que foram realizados e quais os objetivos que se pretendiam obter em cada um deles, sendo estes baseados nos procedimentos de descarga de um camião de refrigeração (cenex, 2021). Com efeito, os testes realizados são:

- 1º Teste: Com uma temperatura dentro da câmara de refrigeração de 2°C, quer do ambiente quer da fruta utilizada, desliga-se o sistema de refrigeração da câmara e abre-se a sua porta, sendo que a temperatura do ambiente exterior é de 15°C. Qual a variação da temperatura dos alimentos a partir do momento em que se liga o sistema com as células Peltier durante 60 minutos?
- 2º Teste: Com uma temperatura dentro da câmara de refrigeração de 2°C, quer do ambiente quer da fruta utilizada, desliga-se o sistema de refrigeração da câmara e abre-se a sua porta, sendo que a temperatura ambiente exterior é de 15°C. Qual a variação da temperatura dos alimentos a partir do momento em que se liga o sistema com as células Peltier durante 5 minutos e desliga-se em seguida 5 minutos, repetindo este processo durante 60 minutos?
- 3º Teste: Com uma temperatura dentro da câmara de refrigeração de 2°C, quer do ambiente quer da fruta utilizada, desliga-se o sistema de refrigeração da câmara e abre-se a sua porta, sendo que a temperatura ambiente exterior é de 15°C. Qual a variação da temperatura dos alimentos a partir do momento em que se liga o sistema com as células Peltier durante 7,5 minutos e desliga-se em seguida 2,5 minutos, repetindo este processo durante 60 minutos?

3.3. Nota conclusiva

Este capítulo foi dividido em dois pontos, sendo o primeiro relativo aos materiais, sendo realizada a descrição dos principais elementos fundamentais para a realização do protótipo bem como a descrição das características que alguns dos elementos devem possuir, de forma a satisfazer as necessidades do protótipo e dos testes que são propostos na segunda metade deste capítulo.

Com efeito, a segunda metade deste capítulo inicia-se com a caracterização da temperatura do ambiente externo, que para o caso de transporte da fruta utilizada é de 8°C. Em seguida é feita a caracterização da localização quer das baterias quer das células Peltier, bem como a caracterização de como a conexão entre as células e entre as células e a bateria deve ser feita. Posteriormente foi realizada a caracterização do posicionamento de cada uma das embalagens secundárias em relação à porta da câmara frigorífica e a sua altura em relação a embalagem terciária, bem como do posicionamento dos sensores de temperatura nas embalagens secundárias. Por fim, são descritos os testes preliminares necessários e os principais testes que irão ser realizados.

4. Protótipo Experimental e Testes

4.1. Montagem do Protótipo

Para a montagem deste protótipo experimental foram utilizados materiais descritos no Capítulo de Materiais e Métodos. Deste modo, para as embalagens secundárias foram utilizadas 12 embalagens, que possuem as mesmas dimensões que as embalagens da IFCO descritas na seção 3.1.1, iguais à embalagem presente na Figura 4.1. No seu interior foram colocadas as células Peltier da botnroll e da VLC Components-S.I. (Figura 3.7), conforme apresentado na Figura 4.2.



Figura 4.1. Embalagem secundária utilizada.



Figura 4.2. Posicionamento da célula Peltier.

Com efeito, após a colocação das células conforme apresentado em Posicionamento da bateria e das células de Peltier, as células Peltier ficaram dispostas em cada caixa conforme apresentado na Figura 4.3. Quando colocadas as 12 embalagens secundárias na embalagem terciária, estas ficaram dispostas conforme apresentado na Figura 4.4.



Figura 4.3. Embalagem secundária com as células Peltier colocadas.



Figura 4.4. Disposição das 12 embalagens secundárias na embalagem terciária.

Por fim, foram colocados nas embalagens secundárias os alvéolos (Figura 4.5), para posteriormente receber as frutas referidas no subcapítulo 3.1, que ficaram dispostas nas caixas conforme apresentado na Figura 4.6.



Figura 4.5. Embalagens secundárias com alvéolos.



Figura 4.6. Embalagens secundárias com alguma da fruta utilizada.

As células Peltier na mesma embalagem bem como as conexões destas entre as diversas embalagens secundárias encontram-se ligadas em série, tendo sido feita essa mesma conexão por uniões conforme apresentado na Figura 4.7. Quanto à alimentação do circuito, este foi realizado utilizando 3 baterias da Ultracell (Figura 4.8) que se encontram ligadas entre si em paralelo de forma a manter a mesma tensão de 12 V, mas aumentando a corrente disponível para o circuito. Esta ligação encontra-se presente na Figura 4.9.

No entanto, para o terceiro teste preliminar (teste de referência em que o sistema composto por células Peltier se encontra desativado) e para os restantes testes principais foram introduzidas mais duas baterias, representadas na Figura 4.10, de forma a garantir o normal funcionamento do sistema durante 60 minutos, estando representado esse mesmo sistema na Figura 4.11. É importante salientar que as baterias não são as que seriam integradas num protótipo final. Serviram somente para a realização dos ensaios.



Figura 4.7. Uniões utilizadas para conetar quer as células Peltier entre si na mesma embalagem secundária quer entre as células de embalagens secundárias diferentes.



Figura 4.8. Bateria Ultracell utilizada.



Figura 4.9. Sistema de alimentação utilizado para os 2 primeiros testes preliminares.

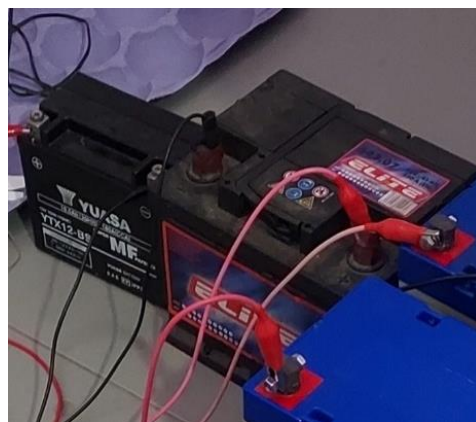


Figura 4.10. Baterias acrescentadas ao sistema para garantir o pleno funcionamento do sistema.

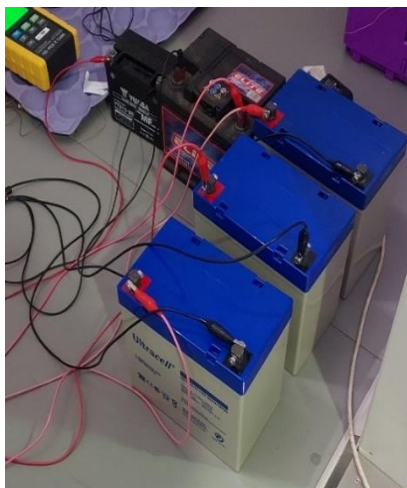


Figura 4.11. Sistema de alimentação utilizado para o terceiro teste preliminar e para os 3 testes.

4.2. Testes

O primeiro teste preliminar (constituído por 3 ensaios) consiste em averiguar se a utilização de massa térmica entre as células Peltier (lado dissipador) e a parede interna das embalagens secundárias, permite que a temperatura do lado radiador das células bem como a temperatura dos alimentos no meio da embalagem sejam mais baixas, do que sem a utilização dessa massa térmica. Assim, foram realizados três ensaios em que uma das colunas possuía massa térmica e outra coluna não a possuía, conforme apresentado na Figura 4.12.



Figura 4.12. Primeiro teste preliminar.

Por outro lado, o segundo teste preliminar (constituído por 3 ensaios) serviu para averiguar o normal comportamento das células Peltier a uma temperatura ambiente e com isso traçar a curva característica desse mesmo comportamento. Na Figura 4.13 pode-se observar esse mesmo teste.



Figura 4.13. Segundo teste preliminar.

Como ambos os testes foram realizados durante 20 minutos, o sistema de alimentação utilizado foi o que se encontra representado na Figura 4.9. Deste modo, para o terceiro teste preliminar (teste de referência em que o sistema de células de Peltier se encontra desativado) e para os três testes (cada um constituído por 3 ensaios) foi utilizada uma câmara de refrigeração que se encontra representada na Figura 4.14.

A embalagem terciária com 12 embalagens secundárias com a fruta apresentada na Figura 4.6, e que se encontra representada na Figura 4.15 foi colocada nesta câmara climática. Assim, para estes testes com duração de 60 minutos cada, foi utilizado o sistema de alimentação representado na Figura 4.11, de forma a garantir o normal funcionamento do sistema durante esse intervalo de tempo. É importante novamente salientar que as baterias não são as que seriam integradas num protótipo final, tendo apenas servido para a realização dos ensaios.



Figura 4.14. Câmara de refrigeração utilizada.



Figura 4.15. Embalagem terciária dentro da câmara de refrigeração com 12 embalagens secundárias preenchidas com fruta.

4.3. Nota conclusiva

Este capítulo iniciou-se com a descrição da montagem das embalagens secundárias e com o posicionamento das células Peltier nestas. Foi também apresentada a colocação dos alvéolos nas embalagens bem como da fruta utilizada. Em seguida foi apresentada a componente elétrica do sistema através da utilização de uniões entre células e qual a fonte de alimentação utilizada para os testes preliminares e para os testes principais.

A segunda parte deste capítulo, iniciou-se com a apresentação do primeiro teste preliminar para averiguar se a utilização de massa térmica permitia um melhor desempenho. Posteriormente foi apresentado o segundo teste preliminar que serviu para observar qual o normal comportamento do sistema à temperatura ambiente. Por fim, foi apresentada a câmara de refrigeração, local que serviu para a realização do terceiro teste preliminar (teste de referência em que o sistema composto por células de Peltier se encontra desativado) e dos 3 testes principais. Qualquer um destes testes experimentais foi constituído por 3 ensaios para assegurar a repetibilidade dos resultados.

5. Análise e Discussão de Resultados

5.1. Teste Preliminar – Influência da massa térmica

O primeiro teste preliminar serviu para averiguar se a utilização de massa térmica permitiria uma melhor dissipação do calor das células Peltier. Assim, a análise dos resultados deste teste preliminar inicia-se com a Figura 5.1 onde é possível ver a variação da temperatura (valor médio dos 3 ensaios) das superfícies ao longo do período do ensaio e os respetivos desvios-padrão. Deste modo, a linha azul corresponde à variação da temperatura da superfície sem a utilização de massa térmica, e a linha laranja corresponde à variação da temperatura da superfície com a utilização de massa térmica. Com efeito, é possível observar que apesar de possuírem no momento inicial a mesma temperatura média e desvios-padrão, com o decorrer do tempo dos ensaios, as superfícies que não possuíam massa térmica tiveram uma tendência de diminuição constante, tendo alcançado uma temperatura média final de $15,3^{\circ}\text{C}$, correspondendo a uma diminuição de aproximadamente $1,1^{\circ}\text{C}$. Por outro lado, com a utilização de massa térmica, existiu uma descida constante nos primeiros 6 minutos, seguida de uma estabilização até aos 14 minutos, tendo nesse momento incrementado $0,1^{\circ}\text{C}$. Este aumento pode ser justificado devido ao facto de que o material das embalagens secundárias (polipropileno) possui uma condutividade térmica baixa e por isso prejudicar a dissipação de calor do lado dissipador das células Peltier. Dos 14 minutos até ao fim do período de ensaio (20 minutos), voltou-se a observar uma descida constante tendo alcançado no final do tempo de ensaio uma temperatura de $15,7^{\circ}\text{C}$, (descida de $0,7^{\circ}\text{C}$).

No entanto, é necessário também realçar que apesar de, por norma, a variação da temperatura das superfícies com a utilização de massa térmica apresentar desvios padrão mais reduzidos, a partir dos 10 minutos (inclusive), estes correspondem a temperaturas mais altas do que a variação da temperatura das superfícies sem utilização de massa térmica. Assim, no final do período de ensaio, o desvio padrão mais baixo da temperatura

(15,6°C) da variação de temperatura das superfícies com massa térmica corresponde ao desvio padrão mais elevado da temperatura da variação de temperatura nas superfícies sem massa térmica.

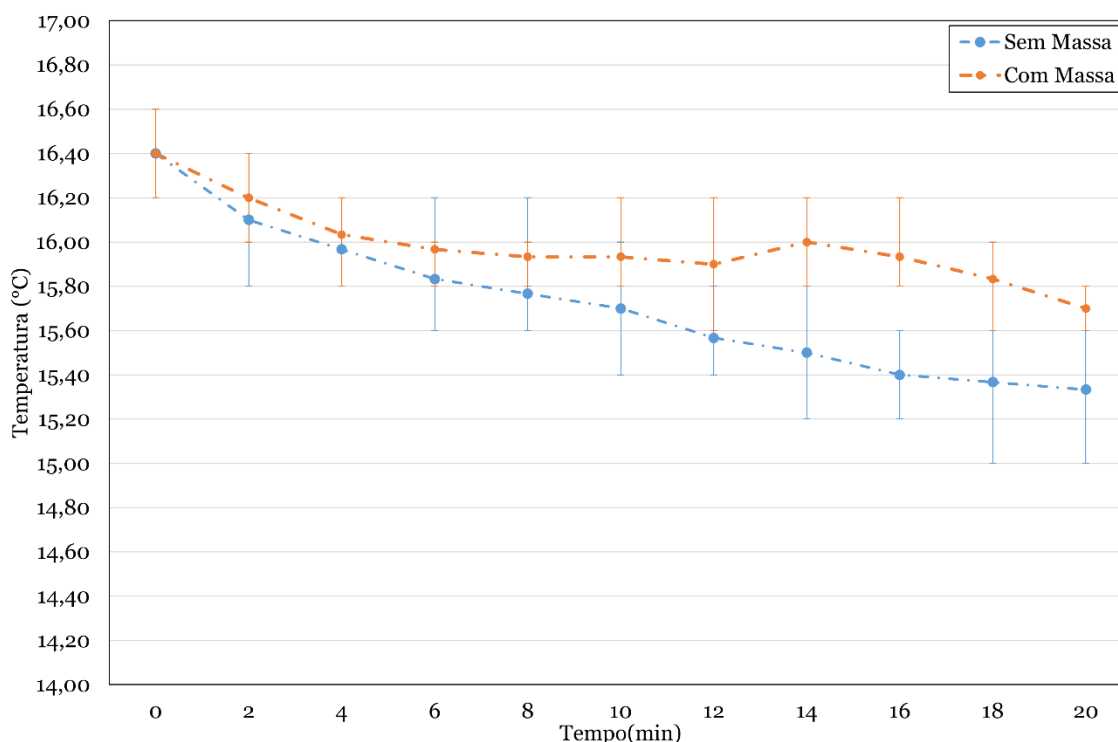


Figura 5.1. Variação da temperatura (média de 3 ensaios) das superfícies da embalagem secundária e respectivos desvios-padrão sem a utilização de massa térmica (—) e com a utilização de massa térmica (---), para uma temperatura ambiente de 16,9°C.

Apesar da importância da variação da temperatura das superfícies, é necessário também, analisar a variação da temperatura (valor médio de 3 ensaios) no meio das embalagens secundárias, de forma a averiguar qual a influência nesta localização da utilização ou não de massa térmica. Na Figura 5.2 é possível observar a variação de temperatura do ar onde a linha azul corresponde à variação da temperatura no meio da embalagem secundária sem a utilização de massa térmica, e a linha laranja corresponde à variação da temperatura no meio da embalagem secundária com massa térmica. É possível observar que apesar de existir uma descida de temperatura até aos 18 minutos e uma estabilização deste momento até ao final do ensaio (20 minutos), essa mesma descida não foi constante em todos os intervalos de tempo, podendo ser observada a diminuição de temperatura de forma mais acentuada (aproximadamente 0,5°C) no intervalo de tempo dos 0 até aos 4 minutos, seguida de uma diminuição muito menos acentuada (aproximadamente 0,2°C) entre os 4 e os 8 minutos, seguida de uma descida constante

entre os 8 e os 18 minutos de $0,6^{\circ}\text{C}$, tendo-se alcançado uma temperatura média final de aproximadamente $15,3^{\circ}\text{C}$, correspondente a uma descida de aproximadamente $1,1^{\circ}\text{C}$.

A variação da temperatura do ar (valor médio de 3 ensaios) no meio da embalagem secundária com utilização de massa térmica, pode ser caracterizado por três intervalos de tempo de estabilização entre os 2 e os 4 minutos ($16,2^{\circ}\text{C}$), entre os 8 e os 14 minutos ($15,9^{\circ}\text{C}$) e entre os 16 e os 18 minutos ($15,8^{\circ}$), tendo alcançado uma temperatura final de aproximadamente $15,7^{\circ}\text{C}$ correspondente a uma descida de $0,7^{\circ}\text{C}$. Assim, estes períodos de estabilização foram influenciados pelo comportamento da variação de temperatura na superfície, conforme observado e discutido na análise da Figura 5.1. Em relação aos desvios-padrão, e de forma idêntica à variação da temperatura das superfícies, apesar de iniciarem com temperaturas e desvios-padrão iguais, ao fim de 4 minutos o gráfico relativo à não utilização de massa térmica apresenta intervalos de temperaturas máximas e temperaturas mínimas menores. No entanto, ao contrário dos valores de temperatura nas superfícies, os desvios-padrão da temperatura final não se sobrepõem, havendo uma diferença de $0,2^{\circ}\text{C}$ entre a temperatura mínima com a utilização de massa térmica e a temperatura máxima sem a utilização de massa térmica.

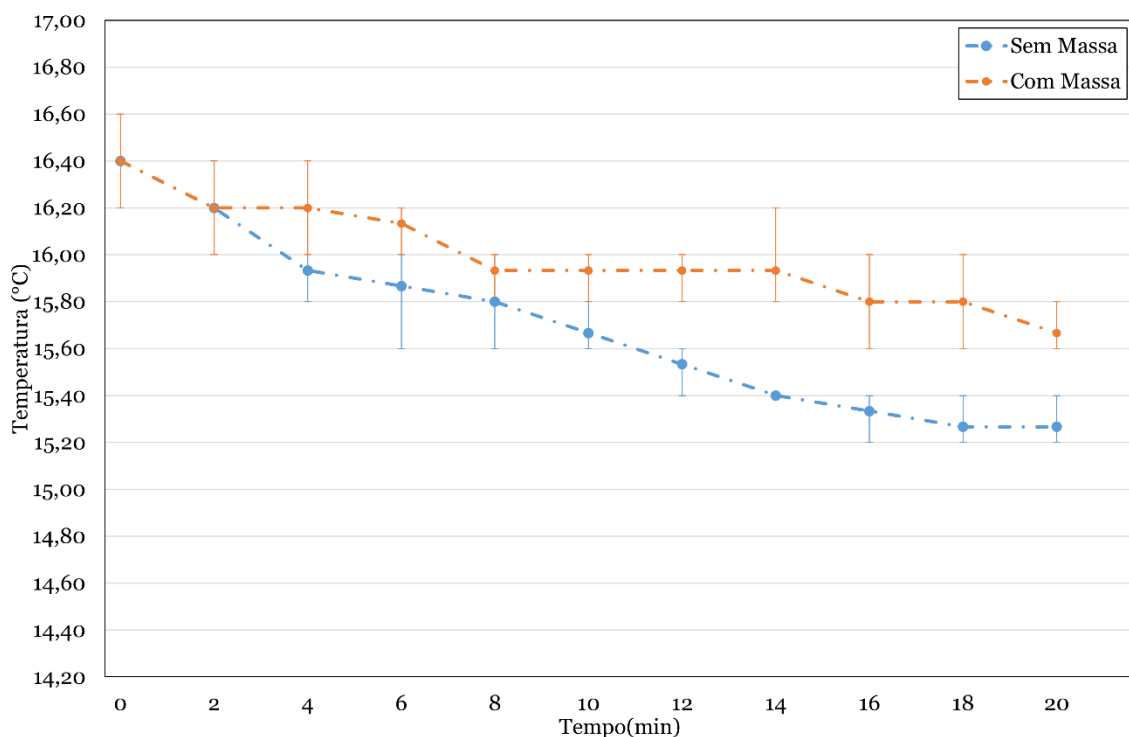


Figura 5.2. Variação da temperatura (média de 3 ensaios) no meio da embalagem secundária e respetivos desvios-padrão sem a utilização de massa térmica (---) e com a utilização de massa térmica (---), para uma temperatura ambiente média de $16,9^{\circ}\text{C}$.

Através destes gráficos é possível constatar que a utilização de massa térmica neste protótipo experimental não constitui qualquer vantagem, uma vez que, a utilização de massa térmica apenas permitiu uma descida da temperatura superficial das embalagens de 0,7°C, enquanto que a não utilização de massa térmica permitiu uma descida de 1,1°C.

5.2. Teste Preliminar - Desempenho térmico das células de Peltier

O segundo teste preliminar serviu para averiguar qual o desempenho térmico das células Peltier a uma temperatura ambiente e com isso traçar uma curva característica. Assim, como no primeiro teste preliminar, neste segundo teste preliminar também foi feita a separação entre a variação da temperatura nas superfícies e a variação da temperatura do ar no meio das embalagens secundárias (valores médios de 3 ensaios). Com efeito, na Figura 5.3 é possível observar a variação da temperatura na superfície que é caracterizada por uma descida constante em todo o tempo de ensaio, tendo-se registado uma diminuição de aproximadamente 1°C. Esta diferença é idêntica à obtida na variação da temperatura das superfícies da embalagem secundária sem a massa térmica (ver Figura 5.1). Por outro lado, os desvios-padrão obtidos neste segundo teste preliminar possuem intervalos de valores mais amplos do que os desvios-padrão da variação da temperatura das superfícies da embalagem secundária sem a massa térmica.

Analisando agora a variação da temperatura do ar no meio da embalagem secundária exposta na Figura 5.3, é possível observar que esta é caracterizada, tal como na variação da temperatura do ar no meio da embalagem secundária sem massa térmica, por uma descida gradual da temperatura marcada por períodos de descida mais acentuada entre os 0 e os 4 minutos, entre os 6 e os 10 minutos, entre os 12 e os 14 minutos e entre os 16 e os 20 minutos. São também identificáveis períodos de estabilização, entre os 4 e os 6 minutos, entre os 10 e os 12 minutos e entre os 14 e os 16 minutos. Em relação ao desvio-padrão, este foi caracterizado por variações, em média, menores do que os relativos à temperatura da superfície, mas maiores do que os desvios-padrão obtidos na variação da temperatura no meio da embalagem secundária sem massa térmica.

Através destes gráficos é possível, em primeiro lugar, traçar a curva característica do comportamento das células Peltier a uma temperatura ambiente. Em segundo lugar, foi possível constatar que a variação da temperatura ambiente de 16,9°C no primeiro teste

preliminar para $17,7^{\circ}\text{C}$ neste segundo teste preliminar refletiu-se num aumento dos intervalos de temperatura dos desvios-padrão.

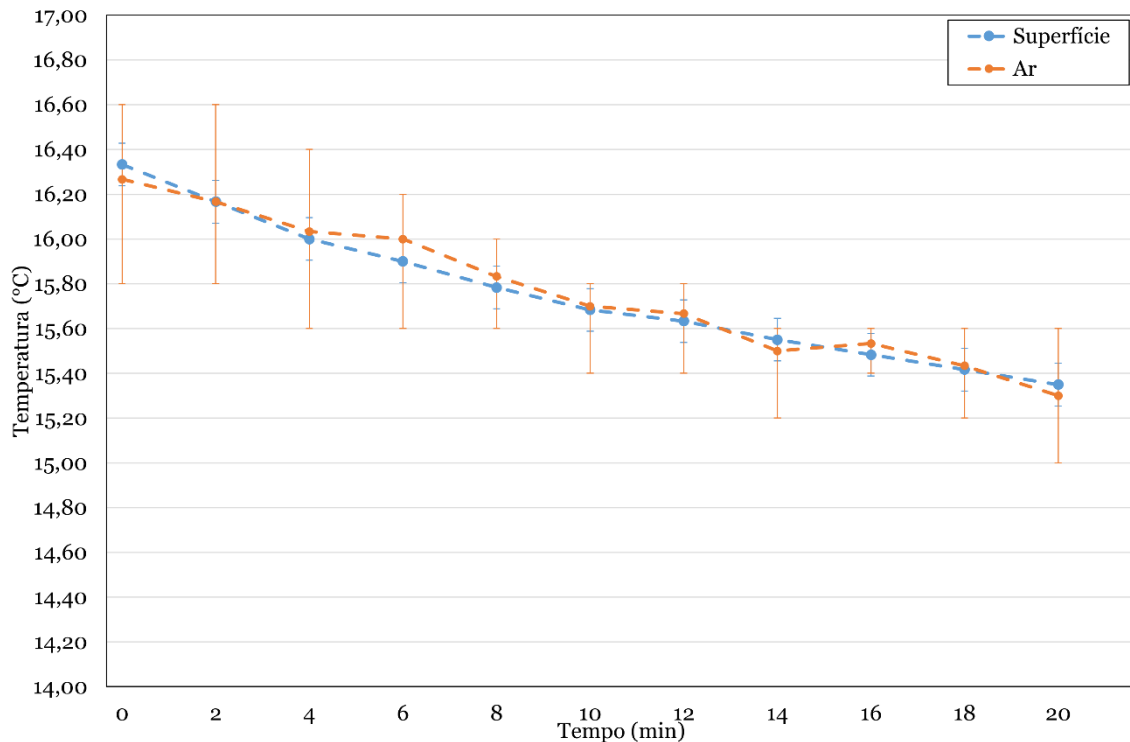


Figura 5.3. Variação da temperatura (média de 3 ensaios) na superfície (--) e do ar (--) no meio da embalagem secundária e respetivo desvio-padrão, para uma temperatura ambiente de $17,7^{\circ}\text{C}$.

5.3. Testes de influência da operação das células de Peltier

Os resultados do terceiro teste preliminar (teste de referência onde as células de Peltier se encontram desativadas) e os testes de influência da operação das células de Peltier foram analisados em conjunto de forma a melhor observar e comparar as variações médias de temperatura ao longo de todo o período do ensaio (60 minutos) e os respetivos desvios-padrão. Com efeito, esta subsecção dividiu-se em 3 fases. A primeira fase reside na análise das características os valores da temperatura (valor médio de 3 ensaios) e respetivo desvio-padrão dos testes em relação ao terceiro teste preliminar (referência). O segundo ponto consiste em analisar os resultados da variação das temperaturas perante diferentes modalidades de operação das células de Peltier em relação à referência. Por fim, o terceiro ponto serve para analisar os pontos críticos do sistema em relação aos valores de referência.

5.3.1. Comparação da modalidade de operação das células de Peltier

Na Figura 5.4 é possível observar os 3 testes e o teste de referência (Células de Peltier desativadas), onde nos primeiros 26 minutos é possível observar um comportamento idêntico e valores bastante próximos, (aproximadamente $2,2^{\circ}\text{C}$, das temperaturas (valor médio de 3 ensaios) medidas nos três testes experimentais com diferentes modalidades de operação das células de Peltier.

Por outro lado, é possível observar que, em termos de variação de temperatura, a curva de relativa ao teste dos 60 minutos ligados (60L), apresenta dos 26 minutos até ao fim do período do ensaio (60 minutos) uma tendência de aproximação ao teste de referência. O desvio-padrão desta medida começou essa mesma tendência aos 11 minutos, chegando mesmo a ultrapassar o desvio-padrão do teste de referência aos 23 minutos, acentuando essa diferença até ao fim do ensaio. Este comportamento demonstra que alguns dos sensores utilizados registaram valores de temperatura mais elevados do que os sensores do teste de referência, possivelmente devido a inexistência de qualquer forma de dissipar calor nas células Peltier. Assim, como estas estiveram em funcionamento contínuo durante todo o tempo do ensaio, existiu uma tendência de equilíbrio térmico em ambos os lados das células Peltier, o que provocou uma transferência de calor destas, que juntamente com a temperatura ambiente, auxiliou num aumento da temperatura.

Analisando o comportamento das curvas características, quer do teste de 5 minutos ligado e 5 minutos desligado (5L_5D), quer do teste de 7,5 minutos ligado e 2,5 minutos desligado (7,5L_2,5D), estas tiveram um comportamento idêntico durante os primeiros 40 minutos do ensaio. Depois deste tempo, o declive da variação da temperatura foi mais acentuado na curva do teste 5L_5D do que do teste 7,5L_2,5D. É possível observar que, apesar de terem temperaturas iniciais ligeiramente mais elevadas do que as do teste de referência, ao fim de 12 minutos encontram-se a temperaturas abaixo das medidas no teste de referência. Deste modo, ambos os testes terminaram com temperaturas mais baixas (3°C e $2,8^{\circ}\text{C}$, respetivamente) do que no teste de referência ($3,2^{\circ}\text{C}$). Em termos de desvio padrão e como estes 2 testes possuíam no início do ensaio temperaturas mais elevadas do que as do teste de referência, também o seu desvio padrão foi mais elevado durante os primeiros 7 minutos, tendo invertido nesse momento e mantendo-se sempre abaixo do desvio-padrão do teste de referência até ao fim do teste.

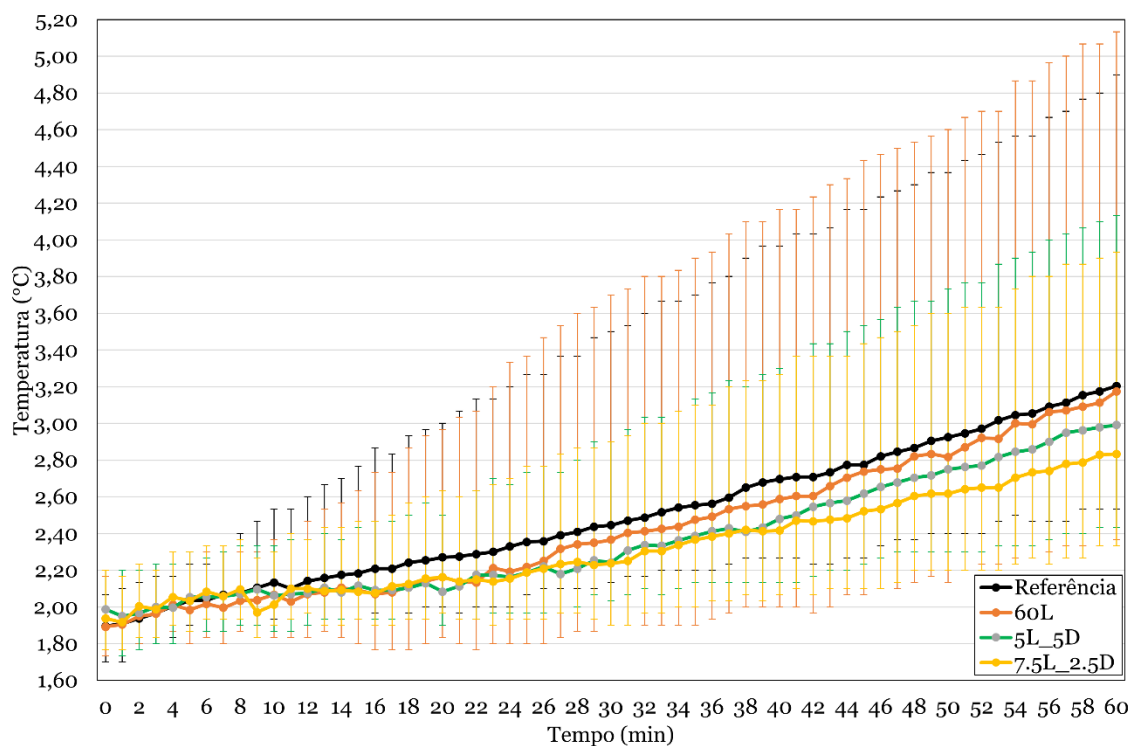


Figura 5.4. Variação da temperatura (média de 3 ensaios) dos três testes em relação a variação de temperatura (média de 3 ensaios) do teste de referência, para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.

5.3.2. Comparativo entre o Teste 7,5L_2,5D e o de Referência

Com base na Figura 5.4 é possível concluir que o teste que apresentou melhores resultados quer em temperatura quer no intervalo de variação (menor desvio-padrão), em relação ao teste de referência (células Peltier desativadas) foi o teste com as células de Peltier operarem num ciclo em que permanecerem 7,5 minutos ligadas e 2,5 minutos desligadas (7,5L_2,5D). Assim, na Figura 5.5 é possível observar a variação comparativa da temperatura superficial (média de 3 ensaios) entre este teste e o teste de referência. Pode observar-se que, como foi constatado anteriormente, apesar deste teste ter-se iniciado com uma temperatura ligeiramente mais elevada do que a temperatura do teste de referência, terminou com uma temperatura final de aproximadamente 0,4°C mais baixa do que do teste de referência, correspondendo a uma diminuição de 12,5%.

Durante os primeiros 12 minutos é possível observar um comportamento similar entre ambas as curvas características dos testes, possivelmente pela existência de inércia térmica. Após esse período, facilmente se observa uma subida praticamente constante da temperatura durante todo o tempo restante para o caso do teste de referência e uma subida menos acentuada para o caso do teste 7,5L_2,5D. Esta última apresenta mais

intervalos de tempo de estabilização de temperatura, como seja no intervalo dos 28 aos 31 minutos e no intervalo de tempo entre os 41 e os 44 minutos.

Deste modo, ao analisar os valores do desvios-padrão de temperatura é possível constatar que, assim como a variação de temperatura, também estes iniciam com intervalos de temperatura superiores aos medidos no teste de referência, mas conseguem inverter essa posição aos 9 minutos. Essa mesma diferença é acentuada durante o decorrer do tempo de ensaio, apresentando, no fim do ensaio, uma diferença de temperatura máxima de aproximadamente 1°C em relação ao teste de referência (aproximadamente 3,9°C para o teste 7,5L_2,5D e aproximadamente 4,9°C para o teste de referência). Em relação à temperatura mínima, essa diferença é menor sendo de 0,2°C (aproximadamente 2,3°C para o teste 7,5L_2,5D e aproximadamente 2,5°C para o de referência).

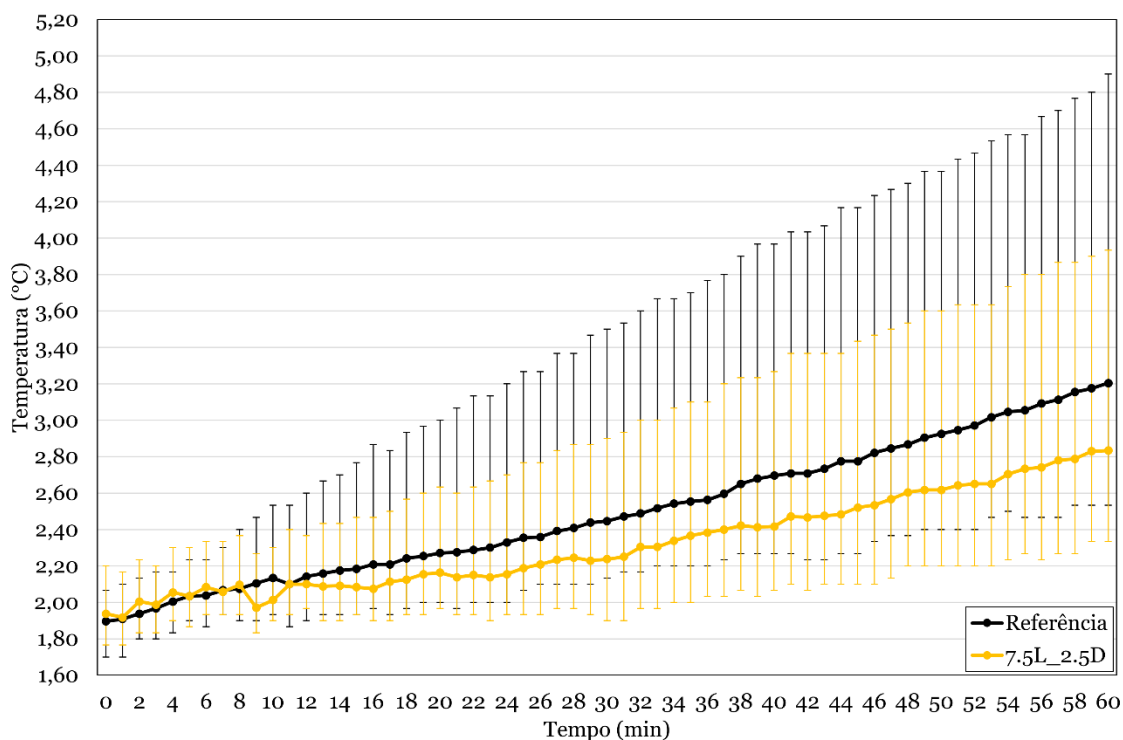


Figura 5.5. Variação de temperatura (média de 3 ensaios) do teste 7,5L_2,5D em relação a variação de temperatura (média de 3 ensaios) do teste de referência, para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.

5.3.3. Comparativo dos pontos críticos

Após analisar a curva característica da variação da temperatura (média de 3 ensaios) do teste de operação das células de Peltier 7,5 minutos ligadas e 2,5 minutos desligadas

(7,5L_2,5D), em relação à variação de temperatura (média de 3 ensaios) do teste de referência (células de Peltier desativadas durante o tempo de teste), é necessário realizar também uma análise dos pontos críticos do sistema.

Assim, da variação de temperatura medida por cada um dos sensores utilizados, foi possível observar que para além da sua posição em altura, também a sua posição em relação à porta da câmara de refrigeração (local mais próximo com o ambiente exterior a uma temperatura do ar mais elevada), influencia a variação térmica dos alimentos.

Deste modo, as embalagens secundárias que se encontram nas posições mais altas em relação à embalagem terciária (embalagens U1 a U4) sofrem uma maior variação térmica, enquanto que as embalagens secundárias que se encontram mais perto da embalagem terciária (embalagens B1 a B4) são as que sofrem menor variação. Assim, na Figura 5.6 e na Figura 5.7 são apresentadas, respetivamente, as variações de temperatura em U1 e U4 em relação ao teste de referência, sendo o sensor U4 mais crítico visto que é o que se encontra mais perto da porta da câmara de refrigeração.

Com efeito, iniciando pelo sensor U1 (Figura 5.6), que se encontra mais afastado da porta da câmara de refrigeração, é possível observar que durante os primeiros 45 minutos do teste, ambas as curvas características apresentam um comportamento idêntico. Após esse instante, a curva do teste de referência afasta-se da curva do teste 7,5L_2,5D, terminando com uma temperatura final de aproximadamente 4°C comparativamente à temperatura final de 3,7°C do teste 7,5L_2,5D. Assim, ao ser traçada uma linha de tendência linear em ambas as curvas é possível observar que a linha de tendência do teste de referência apresenta um declive de valor 0,033 (ou seja +0,033°C/h) enquanto que a linha de tendência do teste 7,5L_2,5D apresenta um declive de valor 0,0298 (ou seja +0,029°C/h), o que se traduz numa diminuição de aproximadamente 9%, ou seja, no final de 60 horas de teste, representa uma temperatura mais baixa em aproximadamente 0,5°C.

Analisando o desvio-padrão de ambas as curvas características, é possível constatar que o desvio-padrão relativo ao teste 7,5L_2,5D possui na grande maioria das vezes a temperatura mínima mais baixa, tendo na temperatura final uma diferença de aproximadamente 0,2°C em relação ao valor do teste de referência. Por outro lado, o valor de temperatura máxima até aos 47 minutos (inclusive) foi na sua maioria do teste 7,5L_2,5D, sendo que após este instante e por consequência do aumento da diferença do declive entre ambas as curvas características, houve uma inversão de posição, tendo o desvio-padrão da temperatura no teste de referência atingido valores de temperatura

mais elevados, terminando com uma diferença de temperatura de aproximadamente 0,3°C em relação ao teste 7,5L_2,5D.

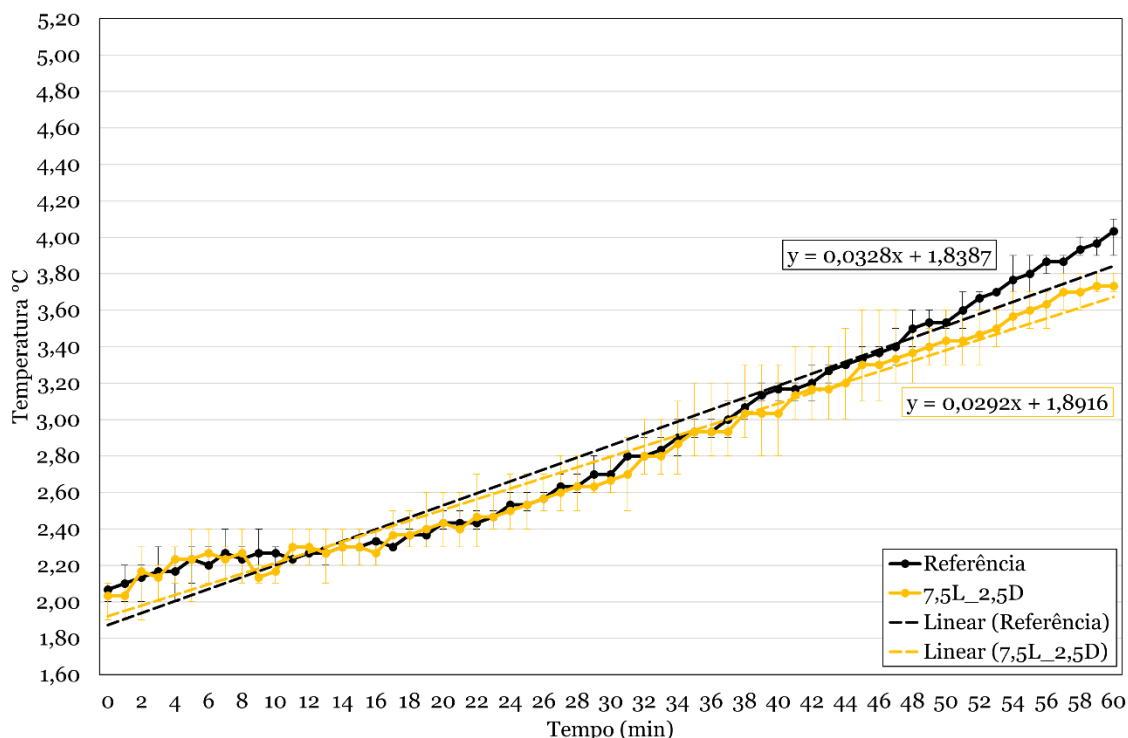


Figura 5.6. Variação de temperatura do U1 (média de 3 ensaios) do teste 7,5L_2,5D em relação a variação de temperatura do U1 do teste de referência (média de 3 ensaios), para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.

Considerando o sensor U4 (Figura 5.7), que se encontra mais perto da porta da câmara de refrigeração e por isso será o ponto mais crítico de todos, é possível observar que, apesar do sensor U4 do teste 7,5L_2,5D ter iniciado com uma temperatura inicial de 0,3°C acima do valor da temperatura do teste de referência, ao fim de 8 minutos do ensaio já se encontrava a medir uma temperatura mais baixa do que a medida no teste de referência. Assim, o sensor U4 do teste 7,5L_2,5D obteve uma temperatura final de 3,9°C e 4,9°C no teste de referência, ou seja, uma diferença de 1°C. Deste modo, ao analisar as linhas de tendência linear obtidas é possível observar que existiu uma diminuição do declive de 0,0482 °C/h (teste de referência) para um declive de 0,0305 °C/h (teste 7,5L_2,5D), o que se traduz numa diminuição de aproximadamente 37%.

O desvio-padrão de ambas as curvas características permite constatar que assim como na variação de temperatura, no desvio padrão também o U4 do teste 7,5L_2,5D iniciou com variações mais elevadas de temperatura do que no teste de referência até aos 9

minutos (exclusive). Estas variações foram-se tornando cada vez menores em relação ao desvio-padrão do teste de referência. Esta tendência de afastamento entre ambas as curvas traduziu-se numa diferença de temperaturas mínimas de $0,7^{\circ}\text{C}$ (aproximadamente $3,9^{\circ}\text{C}$ no teste 7,5L_2,5D e $4,6^{\circ}\text{C}$ no teste de referência) e numa diferença de temperaturas máximas de $1,1^{\circ}\text{C}$ (aproximadamente $5,1^{\circ}\text{C}$ no teste de referência e de 4°C no teste 7,5L_2,5D).

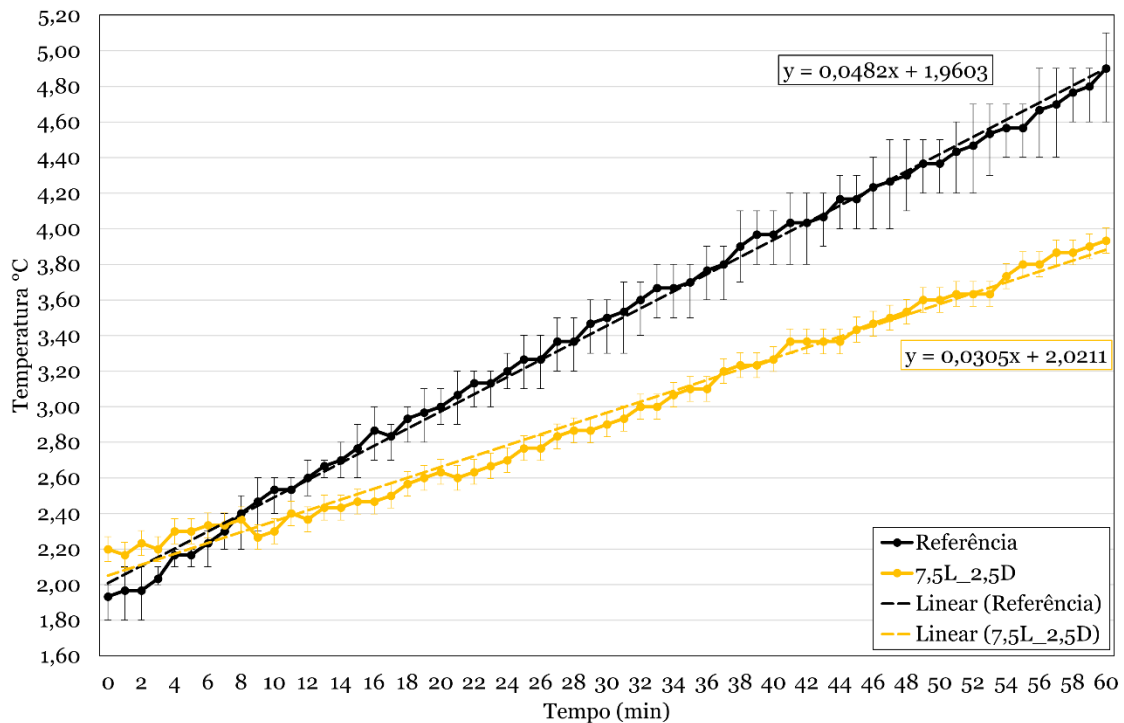


Figura 5.7. Variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor U4 do teste 7,5L_2,5D em relação a variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor U4 do teste de referência, para uma temperatura média ambiente de $15,3^{\circ}\text{C}$.

Por outro lado, os locais com menor influência presentes neste teste são as embalagens que se encontram na posição B1 a B4. Assim, na Figura 5.8 e na Figura 5.9 são apresentadas, respetivamente, as curvas das variações de temperatura no sensor B1 e no sensor B4 em relação ao sensor do teste de referência, sendo o primeiro o ponto menos crítico, visto que é o que se encontra mais afastado da porta da câmara de refrigeração. Para o sensor B1 (Figura 5.8) que se encontra mais afastado da porta da câmara de refrigeração, é possível observar que, durante os primeiros 37 minutos ambas as curvas características dos testes possuem um comportamento idêntico. A partir desse instante, existe um incremento do declive da temperatura média no teste de referência o que se traduziu numa temperatura final de aproximadamente $2,4^{\circ}\text{C}$ para o sensor B1 do teste

7,5L_2,5D e de aproximadamente 2,5°C para o teste de referência, ou seja, uma diferença de 0,1°C.

A análise às linhas de tendência de ambas as curvas é possível constatar que existe uma diminuição da inclinação de 0,0094 °C/h (teste de referência) para uma inclinação de 0,0053 °C/h (teste 7,5L_2,5D), o que representa uma diminuição de 43,6%. A análise ao desvio padrão de ambas as curvas permite observar que, assim como na curva característica, existe um comportamento idêntico em ambos os testes, existindo uma alternância entre estes de possuírem os valores máximos e mínimos. No entanto, a partir do minuto 38, existe uma supremacia do teste de referência em relação ao teste 7,5L_2,5D, o que se traduz numa diferença entre as temperaturas máximas e mínimas entre ambos os testes de 0,2°C para as temperaturas.

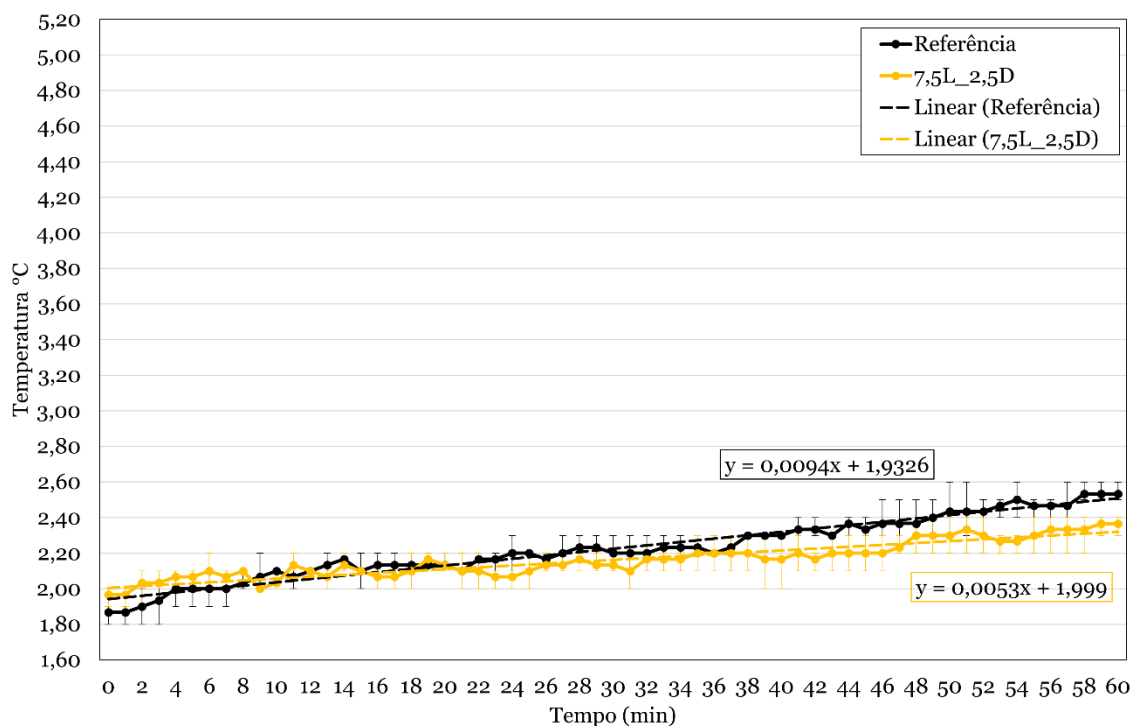


Figura 5.8. Variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor B1 no teste 7,5L_2,5D em relação a variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor B1 no teste de referência, para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.

Por outro lado, analisando agora as medições de temperatura pelo sensor B4 (Figura 5.9) que se encontra mais perto da porta da câmara de refrigeração, é possível observar que ao contrário dos valores medidos pelo sensor B1, as curvas características apenas possuem comportamento idêntico até ao minuto 9. Nesse instante, existe um incremento

da reta de tendência linear de variação da temperatura do teste de referência face à reta de tendência linear do teste 7,5L_2,5D, tendo alcançado uma temperatura final de aproximadamente 2,6°C relativamente a 2,4°C no teste 7,5L_2,5D, ou seja, uma diferença de 0,2°C. Assim, a análise às linhas de tendência linear de ambas as curvas características, é possível constatar que, existiu uma diminuição do declive de 0,0104 °C/h (teste de referência) para 0,0067 °C/h (teste 7,5L_2,5D), o que se traduz numa diminuição de aproximadamente 35,6%. O desvio padrão da temperatura de ambas as curvas apresenta um comportamento idêntico em ambos os testes até aos 9 minutos, existindo uma alternância entre estes de possuírem os valores máximos e mínimos. No entanto, a partir do minuto 10, existe uma supremacia absoluta do teste de referência em relação ao teste 7,5L_2,5D, o que se traduziu numa diferença entre as temperaturas máximas e mínimas entre ambos os testes de 0,2°C para ambas as temperaturas.

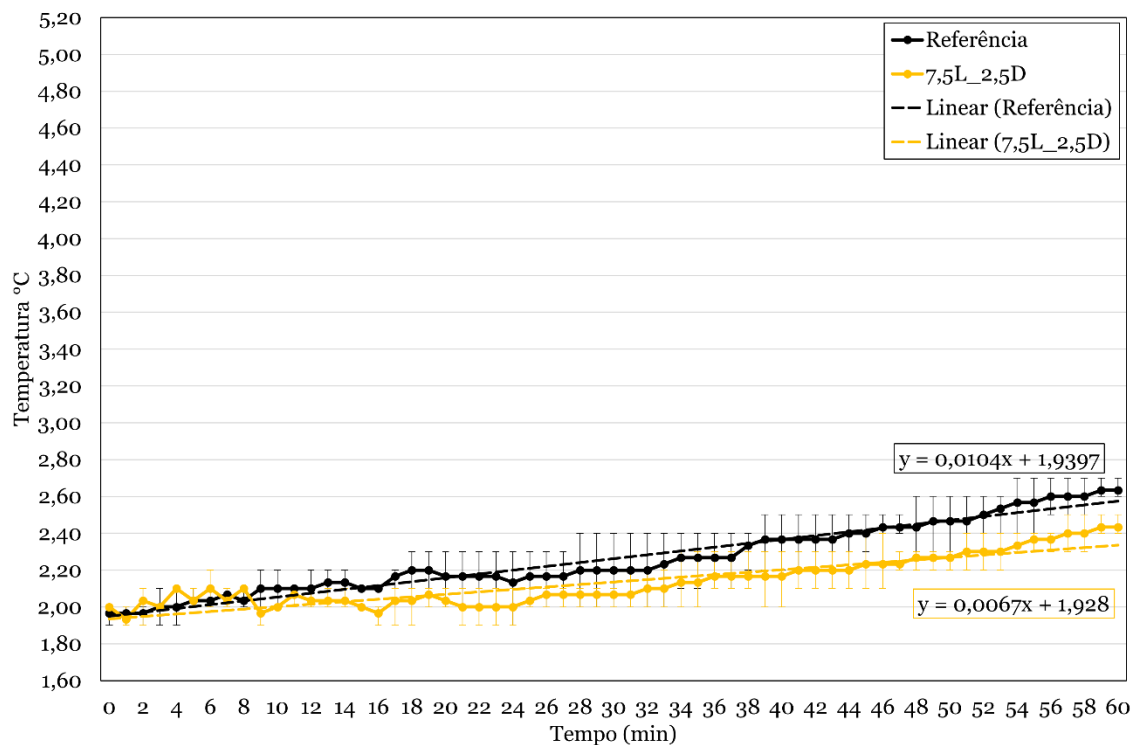


Figura 5.9. Variação de temperatura (média de 3 ensaios) do B4 no teste 7,5L_2,5D em relação à variação de temperatura (média de 3 ensaios) do sensor B4 no teste de referência, para uma temperatura média ambiente de 15,3°C.

5.4. Nota Conclusiva

Após a execução dos testes e da análise dos resultados obtidos, é possível realizar várias conclusões. Assim, relativamente ao primeiro teste preliminar é possível concluir que a

utilização de massa térmica no sistema desenvolvido não permite um melhor desempenho térmico. A comparação dos resultados obtidos nos ensaios com e sem a utilização de massa térmica, permite constatar que, apesar de ambos ensaios se terem iniciado com temperatura de 16,4°C, o ensaio sem a utilização de massa térmica conseguiu reduzir a temperatura para aproximadamente 15,3°C (redução de 1,1°C). Por outro lado, o ensaio com a utilização de massa térmica apenas conseguiu realizar uma redução de temperatura para 15,7°C (redução de 0,7°C), o que corresponde a uma descida de 6,7% para o primeiro e de 4,3% para o segundo.

Em relação ao segundo teste preliminar, este permitiu-nos aferir qual é o normal desempenho da célula Peltier a uma temperatura ambiente no sistema utilizado. Assim, através dos dados retirados foi possível primeiramente construir a curva característica do sistema e em segundo, comparando com os resultados obtidos no primeiro teste preliminar para a não utilização de massa térmica, que a variação da temperatura ambiente de 16,9°C no primeiro teste preliminar para 17,7°C no segundo teste preliminar, refletiu-se num aumento dos desvios-padrão da temperatura em ambos os testes, mas não na diferença média de temperaturas.

O terceiro teste preliminar (teste de referência em que o sistema de células de Peltier se encontra desativado) e os 3 testes principais permitiram retirar e construir as curvas de variação da temperatura de referência, do teste as células de Peltier 60 minutos ligadas (60L), do teste 5 minutos ligadas e 5 minutos desligadas (5L_5D) e do teste com 7,5 minutos ligadas e 2,5 minutos desligadas (7,5L_2,5D). Deste modo, analisando comparativamente a variação da temperatura nestas três curvas com a de referência, foi possível concluir que o sistema não poderia estar ligado de forma contínua durante todo o tempo de ensaio, já que a sua tendência ao fim de alguns minutos é de se aproximar e até mesmo ultrapassar em algum dos sensores a temperatura do teste de referência.

Excluindo então o teste de 60L, foram analisados os dois testes restantes que, apesar de possuírem um comportamento idêntico, o teste 7,5L_2,5D apresentou uma temperatura final mais baixa (aproximadamente 2,8°C) do que o teste de referência (3,2°C), correspondendo a uma redução de 12,5%.

Em seguida foram analisados os pontos críticos, onde se constatou que para além da influência da altura na embalagem terciária na variação de temperatura, também a sua distância em relação à porta da câmara de refrigeração, influencia. Deste modo, a diferença percentual entre os dois pontos mais críticos foi de 27,7% e a dos dois menos críticos foi de apenas 8%.

6. Conclusões

6.1. Conclusões gerais

Com o contínuo aumento do número de habitantes no planeta, têm surgido, nos últimos anos, uma crescente preocupação na existência de alimentos suficientes para todos e uma tentativa da redução do impacte ambiental causado pelo desperdício e perdas alimentar. Assim, existe uma preocupação em reduzir quer as perdas quer os desperdícios alimentares através de tecnologias, técnicas, procedimentos e métodos, para que os alimentos consigam ter um prazo de validade mais alargado conservando os seus nutrientes.

De forma a melhor abordar e desenvolver esta solução tecnológica de integração de células de Peltier em embalagens secundárias disposta numa palete (embalagem terciária) que aloja a fonte de energia, foi necessário, primeiramente fazer uma investigação dos métodos atualmente utilizados para a conservação dos alimentos no armazém do produtor, nos centros de distribuição, nos armazéns e nas prateleiras dos retalhistas e nos meios de transporte utilizados. Em seguida foi feita uma investigação do efeito de Peltier e das aplicações que este possui no nosso quotidiano.

O desenvolvimento deste trabalho enquadra-se nessa mesma preocupação e procura trazer inovação e contributo para a otimização deste sistema e para o desenvolvimento de trabalhos futuros nesta área. Deste modo, o sistema desenvolvido consiste na utilização do efeito de Peltier através da integração de células Peltier no design das embalagens usualmente utilizadas para o transporte e armazenamento de alimentos de forma a minimizar o consumo de energia e a variação de temperatura durante o transporte refrigerado.

De forma a simular o real comportamento da variação de temperatura, foram utilizados, nas embalagens secundárias, durante todos os ensaios dos testes preliminares e principais, alvéolos e fruta (nomeadamente laranjas, tangerinas e toranjas) que

permitiram obter resultados mais fidedignos do funcionamento do sistema em condições reais, nomeadamente no transporte refrigerado.

Após todo o processo necessário para a construção do protótipo experimental através da investigação, desenvolvimento e sua montagem, foi possível a execução dos testes pretendidos. Através dos resultados obtidos experimentalmente, foi possível a constatar o comportamento do sistema desenvolvido em cada um dos testes.

No primeiro teste preliminar, realizado a uma temperatura ambiente de $16,9^{\circ}\text{C}$, foi possível concluir que a utilização de massa térmica entre as células Peltier (lado dissipador) e a parede interna das embalagens secundárias, não constitui uma vantagem para o desempenho térmico do protótipo experimental desenvolvido, tendo apenas diminuído a temperatura quer das superfícies quer da temperatura do ar no meio da embalagem secundária aproximadamente $0,7^{\circ}\text{C}$, enquanto que no caso da não utilização de massa térmica existiu uma diminuição de aproximadamente $1,1^{\circ}\text{C}$.

Por outro lado, o segundo teste preliminar permitiu retirar duas conclusões do desempenho do protótipo experimental. Primeiramente foi possível obter a reta linear característica do desempenho do sistema para uma temperatura ambiente de $17,7^{\circ}\text{C}$. A outra conclusão que se pode retirar deste teste, foi que o aumento da temperatura ambiente de $16,9^{\circ}\text{C}$ no primeiro teste preliminar para $17,7^{\circ}\text{C}$ no segundo teste preliminar, apesar de não ter afetado a diferença entre a temperatura média final e a temperatura média inicial, fez com que existisse um aumento dos do desvio-padrão da temperatura.

Através do terceiro teste preliminar (teste de referência em que o sistema de células de Peltier se encontra desativado) e dos três testes principais foi possível concluir que as células Peltier no protótipo experimental não podem estar em funcionamento contínuo, uma vez que apesar de apresentarem nos primeiros minutos um bom desempenho térmico, este degrada-se após algum tempo e começa a apresentar uma tendência de incremento de temperatura, aproximando-se da reta linear de referência, sendo que no caso do desvio-padrão da temperatura ultrapassa, mesmo, o desvio-padrão da temperatura para o teste de referência.

Por outro lado, o teste de 5L_5D permitiu concluir que o funcionamento alternado entre estar em funcionamento ou não, apresenta resultados mais promissores apresentando uma reta característica com uma temperatura final $0,2^{\circ}\text{C}$ abaixo do que a temperatura

final de referência (3,2°C para o teste de referência e 3°C para o teste 5L_5D), ou seja, uma redução de 6,25%.

No entanto, o teste 7,5L_2,5D foi o que apresentou melhores resultados com uma temperatura final mais baixa (aproximadamente 2,8°C) do que no teste de referência (3,2°), traduzindo-se numa redução da temperatura de 12,5%. Assim, seguidamente foram analisados os pontos críticos, onde se pode concluir a influência da altura em relação à embalagem terciária na variação de temperatura. Foi também possível concluir que, o posicionamento em relação à porta da câmara de refrigeração influencia essa variação. Deste modo, foi possível observar que a diferença percentual entre os dois pontos mais críticos foi de 27,7% e a dos dois menos críticos foi de apenas 8%.

Com efeito, após a discussão e análise dos resultados é possível observar que o sistema desenvolvido apresenta-se como uma solução tecnológica viável através de uma redução média de temperatura, ao fim de 60 minutos, de 12,5%. O sensor localizado na embalagem secundária mais crítica (U4) representou uma redução de 37% (1°C). Esta redução traduz-se numa menor variação térmica que os alimentos sofrem entre períodos durante a cadeia de abastecimento, permitindo que haja uma manutenção da qualidade e viabilidade dos alimentos através da diminuição do desenvolvimento de organismos nocivos.

A manutenção de qualidade e de viabilidade, juntamente com o facto de que o sistema desenvolvido não provocar qualquer poluição durante o seu funcionamento, implica que haja uma maior garantia da segurança alimentar. Assim, esta segurança permite o acesso a alimentos com valor nutricional e na quantidade ideal para que proporcione uma boa qualidade de vida para o consumidor.

No entanto, apesar de todas as vantagens que o sistema desenvolvido representa para a redução do desperdício alimentar, é necessário também realizar uma análise da viabilidade económica. Deste modo devido a conjuntura atual que se traduz numa inflação e numa escassez de alguns materiais, existiu uma subida acentuada do preço dos componentes necessários para a construção deste sistema, fazendo com que esta solução não se apresenta, atualmente, economicamente viável.

6.2. Sugestões de trabalhos futuros

Apesar do desenvolvimento desta dissertação ter permitido a criação e teste de um protótipo experimental funcional e com resultados finais promissores, existem, ainda, alguns aspetos que podem ser abordados em trabalhos futuros:

- O estudo do melhor posicionamento e número de células Peltier em cada uma das embalagens secundárias, de forma a otimizar o sistema e consumo de energia necessária;
- A realização de testes com temperaturas ambientes mais elevadas, de forma a observar o comportamento do sistema em períodos do ano ou locais com essas características;
- O estudo do melhor intervalo de tempo de funcionamento do protótipo experimental, de forma a otimizar o seu desempenho através da redução da variação térmica ainda existente nos pontos mais críticos;
- A introdução de sensores de variação de temperatura de forma a realizar uma otimização do controlo do funcionamento das células de Peltier, do consumo de energia e da variação de temperatura;
- O estudo e desenvolvimento de outras soluções tecnológicas que permitam um maior controlo e otimização do consumo energético e da variação de temperatura.

Referências Bibliográficas

- Abraham James, B., Sonnet T. Eldho, A., & John, K. (2022). Design of a portable device to store and disinfect masks of SARS-CoV-2 virus using Peltier modules. *Materials Today: Proceedings*, 58, 324–329. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.02.212>
- Agilent Technologies. (sem data). *E2373A Operators Manual*. Obtido 12 de Dezembro de 2022, de <https://pt.scribd.com/doc/60776128/E2373-90001>
- Attavane, P., Arjun, G. B., Radhakrishna, R., & Jadav, S. R. (2017). Solar powered portable food warmer and cooler based on peltier effect. *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 1975–1978. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256944>
- Badalan, N., & Svasta, P. (2015). Peltier elements vs. heat sink in cooling of high power LEDs. *2015 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, 124–128. <https://doi.org/10.1109/ISSE.2015.7247975>
- Bangar, S. P., Whiteside, W. S., Ashogbon, A. O., & Kumar, M. (2021). Recent advances in thermoplastic starches for food packaging: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 100743. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100743>
- botnroll. *CÉLULA PELTIER 40X40MM 12V 6A*. Obtido 24 de Junho de 2022, de <https://www.botnroll.com/pt/resistencias/3853-c-lula-peltier-40x40mm-12v-6a.html>
- Casano, G., & Piva, S. (2011). Experimental investigation of the performance of a thermoelectric generator based on Peltier cells. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35(4), 660–669. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2010.12.016>
- Casano, G., & Piva, S. (2017). Experimental investigation of a Peltier cells cooling system for a Switch-Mode Power Supply. *Microelectronics Reliability*, 79, 426–432. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2017.05.042>
- cenex. (2021). *Refrigerated Transport Insights: A ZERO White Paper*. <https://www.cenex.co.uk/app/uploads/2021/04/Refrigerated-Transport-White-Paper.pdf>
- Danvic. *CARGAS TÉRMICAS*. Obtido 5 de Dezembro de 2022, de <http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>

- Deák, T. (2014). Food Technologies: Pasteurization. Em Y. Motarjemi (Ed.), *Encyclopedia of Food Safety* (pp. 219–224). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00257-2>
- Diatta, J., Torresani, E., Maximenko, A., Haines, C., Martin, D., & Olevsky, E. (2021). Peltier effect during spark plasma sintering of boron carbide. *Results in Physics*, 29, 104719. <https://doi.org/10.1016/J.RINP.2021.104719>
- Fluke. 51 K/J THERMOMETER. Obtido 1 de Dezembro de 2022, de https://assets.fluke.com/manuals/51_____omeng0500.pdf
- Freire, L. O., Navarrete, L. M., Corrales, B. P., & Castillo, J. N. (2021). Efficiency in thermoelectric generators based on Peltier cells. *Energy Reports*, 7, 355–361. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2021.08.099>
- Gogou, E., Katsaros, G., Derens, E., Alvarez, G., & Taoukis, P. S. (2015). Cold chain database development and application as a tool for the cold chain management and food quality evaluation. *International Journal of Refrigeration*, 52, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.01.019>
- Götz, A., Wani, A. A., Langowski, H. C., & Wunderlich, J. (2014). Food Technologies: Aseptic Packaging. *Encyclopedia of Food Safety*, 3, 124–134. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00274-2>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). *Global Food Losses and Food Waste- Extent, Causes and Prevention*.
- Halima, A. Ben, Araoud, Z., Canale, L., Charrada, K., & Zissis, G. (2022). Energy efficiency of a LED lighting system using a Peltier module thermal converter. *Case Studies in Thermal Engineering*, 34, 101989. <https://doi.org/10.1016/J.CSITE.2022.101989>
- Hammond, S. T., Brown, J. H., Burger, J. R., Flanagan, T. P., Fristoe, T. S., Mercado-Silva, N., Nekola, J. C., & Okie, J. G. (2015). Food Spoilage, Storage, and Transport: Implications for a Sustainable Future. *BioScience*, 65(8), 758–768. <https://doi.org/10.1093/biosci/bivo81>
- Hongli, Y., & Yongming, W. (2017). Transportation expenses minimal modelling with application to fresh food supply chain. *2017 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, 263–267. <https://doi.org/10.1109/ICEMI.2017.8265786>

-
- IFCO. *Green Lite*. Obtido 28 de Novembro de 2022, de <https://www.ifco.com/wp-content/uploads/IFCO-DS-1019-GREEN-LITE-UK-EN.pdf>
- INKA. *IKP1878 PEE*. Obtido 28 de Novembro de 2022, de <https://www.inkapalet.com/en/products/plastic-pallets/compact-pallets/ikp1878-pee/>
- Iskrenović, P. S., Sretenović, G. B., Krstić, I. B., Obradović, B. M., & Kuraica, M. M. (2019). Thermostat with Peltier element and microcontroller as a driver. *Measurement*, *137*, 470–476. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2019.01.094>
- Ivanov, Y., Watanabe, H., Chikumoto, N., & Yamaguchi, S. (2022). Gas-Cooled Peltier Current Leads for Compact HTS Devices. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, *32*(6), 1–5. <https://doi.org/10.1109/TASC.2022.3151580>
- Jahangir, M., Rehman, M. A. U., Awan, A. B., & Ali, R. H. (2019). Design and Testing of Cooling Jacket using Peltier Plate. *2019 International Conference on Applied and Engineering Mathematics (ICAEM)*, 191–196. <https://doi.org/10.1109/ICAEM.2019.8853654>
- James, S. J., & James, C. (2014a). Food Technologies: Chilling. *Encyclopedia of Food Safety*, *3*, 140–148. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00265-1>
- James, S. J., & James, C. (2014b). Food Technologies: Freezing. Em *Encyclopedia of Food Safety* (Vol. 3, pp. 187–195). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00266-3>
- Law, C. L., Chen, H. H. H., & Mujumdar, A. S. (2014). Food Technologies: Drying. *Encyclopedia of Food Safety*, *3*, 156–167. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00268-7>
- Leungtongkum, T., Laguerre, O., Flick, D., Denis, A., Duret, S., & Chaomuang, N. (2023). Experimental investigation of airflow and heat transfer by natural convection in an insulated box with a Phase Change Material using a Particle Image Velocimetry technique. *Journal of Food Engineering*, *336*, 111207. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111207>
- Li, G. (2021). Development of cold chain logistics transportation system based on 5G network and Internet of things system. *Microprocessors and Microsystems*, *80*, 103565. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103565>
- Lu, S., Gao, Y., Geng, X., & Guan, Y. (2022). Peltier thermoelectric cooler improves both the signal-to-noise ratio and warm-up time of high-power LED induced
-

- fluorescence detector and application to aflatoxins. *Analytica Chimica Acta*, 1192, 339392. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2021.339392>
- Nations, U. (2017). World population prospects: the 2017 revision, key findings and advance tables. *Department of Economics and Social Affairs PD, editor. New York: United Nations*, 46.
- Novoxy Power Technology Limited. (sem data). *Ultra thin 12 volt lifepo4 Battery 12V 50Ah 600wh Lithium li-ion Battery for Solar Street Light*. Obtido 1 de Dezembro de 2022, de https://www.alibaba.com/product-detail/Ultra-thin-12-volt-lifepo4-Battery_60697914037.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.4bb6164dhyERVE
- Östergren, K., Gustavsson, J., Bos-Brouwers, H., Timmermans, T., Hansen, O.-J., Møller, H., Anderson, G., O'Connor, C., Soethoudt, H., Netherlands, T., Quedsted, T., Easteal, S., Politano, A., Bellettato, C., Canali, M., Falasconi, L., Gaiani, S., Vittuari, M., Schneider, F., & Redlingshöfer, B. (2014). *FUSIONS definitional framework for food waste*.
- PCE Instruments. *PCE-T 1200 Multi-Channel Data-Logging Digital Thermometer*. Obtido 5 de Fevereiro de 2023, de https://www.pce-instruments.com/eu/measuring-instruments/test-meters/thermometer-pce-instruments-multi-channel-data-logging-digital-thermometer-pce-t-1200-det_5969587.htm
- Rokde, K., Patle, M., Kalamdar, T., Gulhane, R., & Hiware, R. (2017). Peltier Based Eco-Friendly Smart Refrigerator for Rural Areas. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 7(5), 718–721. <https://doi.org/10.23956/ijarcsse/SV7I5/0224>
- Scherhauser, S., Moates, G., Hartikainen, H., Waldron, K., & Obersteiner, G. (2018). Environmental impacts of food waste in Europe. *Waste Management*, 77, 98–113. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.04.038>
- Slanina, Z., Uhlik, M., & Sladeczek, V. (2018). Cooling Device with Peltier Element for Medical Applications. *IFAC-PapersOnLine*, 51(6), 54–59. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2018.07.129>
- Stellingwerf, H. M., Laporte, G., Cruijssen, F. C. A. M., Kanellopoulos, A., & Bloemhof, J. M. (2018). Quantifying the environmental and economic benefits of cooperation: A case study in temperature-controlled food logistics. *Transportation Research Part*

- D: Transport and Environment*, 65, 178–193.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.08.010>
- Terasaki, I. (2016). Thermal Conductivity and Thermoelectric Power of Semiconductors. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.00771-2>
- VLC Components s.I. *Célula cerâmica Peltier TEC1-12706 12V 60W*. Obtido 24 de Junho de 2022, de <https://soelectroshop.com/pt/celulas-peltier/887-celula-peltier-ceramica-tec1-12706-12v-60w.html>
- WAGO. *Inline splicing connector with lever; for all conductor types; 12 AWG (max.); 2-conductor; transparent housing; white cover; Surrounding air temperature: max 85°C (T85); 4,00 mm²; transparent*. Obtido 3 de Dezembro de 2022, de <https://www.wago.com/global/installation-terminal-blocks-and-connectors/inline-splicing-connector-with-lever/p/221-2401>
- WAGO. *Socket; with strain relief housing; 3-pole; Cod. A; 1,50 mm²; black*. Obtido 1 de Dezembro de 2022, de <https://www.wago.com/global/pluggable-connectors/socket/p/890-103>
- Wang, Y., & Yu, L. ying. (2012). Optimization model of refrigerated food transportation. *ICSSSM12*, 220–224. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2012.6252224>