

Projeto e Desenvolvimento de um Mini Frigorífico e uma App de registo da sua temperatura com recurso a Microcontrolador Arduino

Beatriz Resende¹, José Magalhães², Alberto Peixoto Pinto², Carolina Costa¹, Inês Ferreira¹, João Aroso¹, Christopher Sá²

¹ Alunos do Instituto Superior de Engenharia, Politécnico do Porto, Porto, Portugal
1241197@isep.ipp.pt, 1241084@isep.ipp.pt, 1241072@isep.ipp.pt, 1240763@isep.ipp.pt

² Professores do Instituto Superior de Engenharia, Politécnico do Porto, Porto, Portugal
jdm@isep.ipp.pt, cas@isep.ipp.pt, apo@isep.ipp.pt

Resumo. Este trabalho descreve uma atividade de aprendizagem com a realização de um projeto sobre a criação de um sistema de refrigeração termoelétrica portátil, fundamentado no efeito Peltier, por um grupo de alunos de Engenharia de Sistemas do Instituto Superior de Engenharia do Porto. O estudo visa o desenvolvimento de um protótipo de mini-frigorífico controlado eletronicamente e por telemóvel, capaz de arrefecer bebidas de lata autonomamente. A metodologia adotada iniciou pela modelação 3D do protótipo e simulação dos seus circuitos elétricos em ambiente virtual (Tinkercad), passando depois para a construção do mesmo em XPS incluindo o microcontrolador Arduino e sensores de temperatura e distância. Adicionalmente, foi desenvolvida uma App de monitorização remota no MIT App Inventor para via Bluetooth ser capaz de adquirir e visualizar os valores da temperatura em tempo real. Os ensaios experimentais comprovaram a eficiência do sistema, registando-se um decréscimo de temperatura de 5°C numa bebida de lata de 33 cL em aproximadamente 6 minutos. O trabalho valida a aplicação de módulos termoelétricos em sistemas de refrigeração compactos e demonstra a integração funcional entre princípios termodinâmicos e sistemas embebidos de controlo. A metodologia de aprendizagem utilizada foi a Project Based Learning (PBL) que aplica a componente prática de *hands-on* em princípios de engenharia e o reforça as competências dos alunos para o trabalho em equipa.

Palavras-chave: Refrigeração Termoelétrica; Efeito Peltier; Monitorização Remota; Prototipagem Eletrónica; Arduino; MIT app Inventor.

1 ENQUADRAMENTO e OBJETIVOS

A refrigeração é um processo fundamental em diversas aplicações industriais e domésticas, essencial para a conservação de alimentos, manutenção de ambientes climatizados e funcionamento de equipamentos eletrónicos. Em particular, os sistemas de refrigeração termoelétrica de pequena escala podem ser usados para manter fresco bebidas ou transporte medicamentos. Nesse âmbito, na unidade curricular (UC) de Laboratórios

de Engenharia I (LENG1), curso de licenciatura de Engenharia de Sistemas (LES) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), ano letivo 2024/25, foi pedido aos alunos do 1º que realizassem um protótipo de um mini frigorífico portátil que fosse capaz de manter bebidas de lata frescas. O objetivo principal do projeto foi desenvolver um protótipo com capacidade entre 2 e 5 litros. Especificamente, pretendeu-se:

- Conceber e simular o sistema em ambiente virtual (Tinkercad);
- Implementar fisicamente o protótipo com integração de componentes eletrónicos na plataforma Arduino;
- Desenvolver um sistema de monitorização remota via Bluetooth;
- Validar experimentalmente a eficiência térmica do sistema.

O protótipo de um mini frigorífico, de design compacto, tem cerca de 3,4 litros e foi desenhado tridimensionalmente à escala, com o auxílio do software Tinkercad, permitindo a sua pré-visualização, seleção dos materiais necessários à sua construção e o dimensionamento dos circuitos elétricos.

Baseado na plataforma eletrónica Arduino construiu-se o protótipo, montaram-se os componentes eletrónicos e criou-se a App de monitorização de todo sistema por telemóvel via Bluetooth. Na App usou-se programação em código C++ na IDE do Arduino e programou-se por blocos na MIT app Inventor para design e comunicação do sistema com o telemóvel. A última fase foi o teste do sistema de refrigeração e a realização de uma prova de funcionamento perante os professores e colegas.

Este trabalho destaca a importância da integração de diversas áreas do conhecimento de engenharia de sistemas para a resolução de problemas práticos e a criação de soluções inovadoras. O projeto apresentou uma abordagem abrangente e multidisciplinar, reforçando o papel da engenharia no desenvolvimento de sistemas tecnológicos modernos e sustentáveis.

2 Referencial Teórico

Efeito Peltier/Seebeck e Refrigeração Termoelétrica.

O efeito Peltier consiste na criação de um gradiente de temperatura entre dois diferentes materiais ou semicondutores, chamados de termopar, quando estes são submetidos a uma tensão elétrica em circuito fechado (Fig. 1 B) [1].

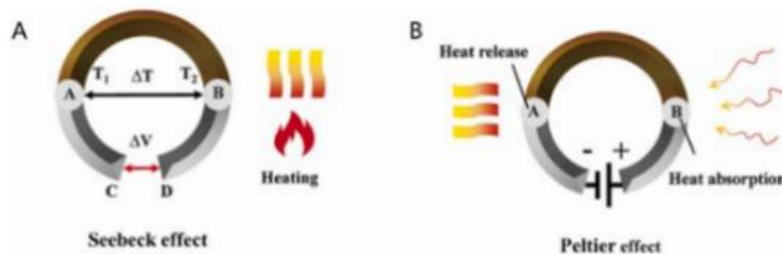


Fig. 1. Efeito Peltier-Seebeck (T_1 e T_2 valores de temperatura)

O efeito Seebeck (Fig. 1 A) é o reverso do Peltier, ou seja, quando se aplica uma diferença de temperatura entre diferentes materiais gera-se uma diferença de potencial (ΔV) que pode ser mensurada. Este efeito é usado em aplicações de geração de energia termoelétrica (TE) (Fig. 2 C) enquanto o efeito de Peltier usa-se na refrigeração TE, ilustrada na Fig. 2 D. Os dois efeitos são considerados como um só e denominado de efeito Peltier-Seebeck ou efeito termoelétrico.

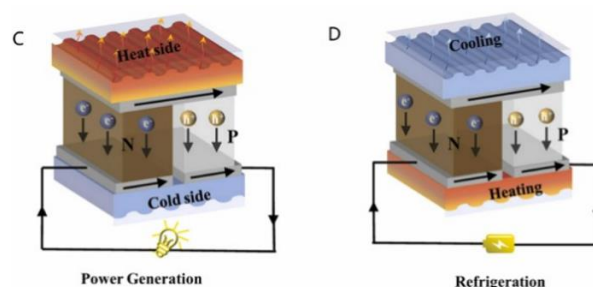


Fig. 2. Geração de energia (C) ou Refrigeração (D) por efeito termoelétrico [1].

Os sistemas de refrigeração convencionais com recurso a bomba de calor (compressor e válvula de expansão) apresentam limitações em aplicações de pequena dimensão, daí que no contexto deste trabalho a refrigeração termoelétrica surgiu como uma alternativa viável. As vantagens da refrigeração termoelétrica incluem a ausência de compressor, controlo preciso de temperatura e maior durabilidade [2].

Na refrigeração de pequena dimensão podem ser usados os módulos Peltier ou pastilhas termoelétricas (Fig.3) e que são pequenas unidades que contêm uma série de semicondutores agrupados em pares, para operarem como bombas de calor com espessura de alguns milímetros e de forma quadrada. Esses módulos são pequenos cubos de telureto de bismuto ensanduichados por de placas cerâmicas [3].

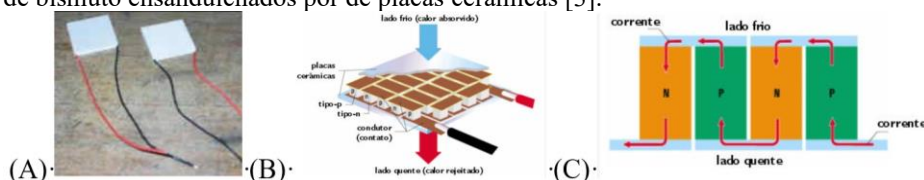


Fig. 3. Módulo Peltier: (A) aspeto comercial; (B) modelo; (C) Esquema [3].

Essa série de semicondutores é soldada entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série (Fig. 3 C) e termicamente em paralelo. Quando uma corrente contínua passa por um ou mais pares, há uma redução na temperatura da junta (“lado frio”) resultando em uma absorção do calor do ambiente, atendendo à 2ª lei da termodinâmica que justifica que o calor flui naturalmente do corpo mais quente para o mais frio. Este calor é transferido pela movimentação de eletrões na pastilha, e é proporcional à corrente e ao número de pares de elementos tipo-n e tipo-p [4].

O rendimento termodinâmico de um módulo Peltier ou eficiência energética de um refrigerador pode ser quantificado pelo Coeficiente de Performance (COP), dada pela

relação $COP = Q_c/W$, onde Q_c é o calor removido do lado frio e W é a potência elétrica que lhe é fornecida [2][4]. Em sistemas Peltier, o COP típico varia entre 0,3 e 0,7, podendo atingir valores próximos de 1 em configurações que otimizam a dissipação de calor com dissipadores [4].

Aplicações com Microcontroladores para Monitorização e Controlo.

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrónica de código aberto, baseada em microcontrolador, que permite a criação de projetos interativos de forma acessível e intuitiva. Esta plataforma foi concebida e desenvolvida por Massimo Banzi e alguns colegas com o objetivo de facilitar a todos o acesso à tecnologia de microcontroladores[5].

A integração de microcontroladores em sistemas de refrigeração permite controlo preciso e monitorização em tempo real [6]. A comunicação em Bluetooth oferece uma solução de baixo custo para transmissão de dados sem fios, amplamente utilizada em aplicações IoT (Internet das Coisas). É possível encontrar diversos trabalhos [7] [8] que utilizam Arduino para controle de módulos Peltier com algoritmos PID e integração aplicações para telemóvel via App Inventor ou frameworks IoT.

Plataformas de desenvolvimento visual como MIT App Inventor permitem a criação rápida de interfaces de utilizador para monitorização de sistemas embebidos através de programação por blocos, democratizando o acesso sem fios à tecnologia de prototipagem [9].

3 MATERIAIS e METODOLOGIA

3.1 Componentes do Sistema

De seguida apresentam-se os principais componentes usados na construção do protótipo do mini frigorífico (Fig. 4) e as suas respetivas funcionalidades:

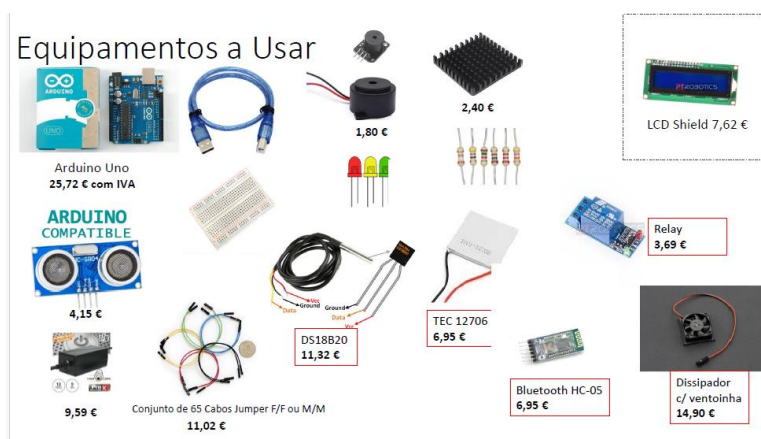


Fig. 4. Componentes principais integrados no protótipo

- O Módulo ou placa de Peltier (TEC-12706) alimentado por uma fonte externa de 12v foi o componente de base para o sistema de refrigeração e é responsável pela geração de um diferencial de temperatura.
- O controlo de todos os componentes e sensores do protótipo foi usado o Arduino Uno.
- O sensor de distância ultrassónico (HC - SR04) permitiu detetar a presença e determinar a altura do objeto no interior do mini frigorífico.
- O sensor de temperatura (DS18B20) serviu para medir a temperatura do líquido no interior da lata de bebida.
- A placa Bluetooth (HC-05) permitiu a transmissão em tempo real de dados captados pelos sensores para a aplicação construída para telemóvel.
- O dispositivo sonoro, Buzzer, foi usado e ativado pelo Arduino para produzir diferentes sons pré-definidos conforme a ação ou alarme pretendido.
- A fonte de alimentação externa de 12V serviu a placa de Peltier,
- O relay (SRD-05VDC-SL-C) usou-se como interruptor *on/off* da placa.
- O dissipador com Ventoinha (Air cooler AMD socket AM2/AM3) esteve em contacto com a parte quente da placa Peltier.
- A pequena ventoinha junto à face da placa virada para o interior do frigorífico permitiu a uniformização da temperatura do ar frio no sistema de refrigeração interior.
- Alguns leds foram usados para controlo visual do sistema.
- As placas de XPS foram usadas na construção das paredes do refrigerador e a cortiça usada como isolante entre o XPS e a face quente do módulo Peltier.
- A madeira foi usada como estrutura para suportar o dissipador de calor e a ventoinha.
- A pasta térmica usou-se entre o dissipador e a placa de Peltier para melhorar a condução térmica entre essas superfícies.
- A fita cola alumínio serviu para evitar perdas de frio e a goma EVA para revestimento e isolamento do frigorífico.
- Os ímanes foram usados como fecho para a abertura de porta do frigorífico.

3.2 Metodologia

Descrevem-se de seguida as fases de implementação e realização do protótipo.

Fase de Conceção Virtual.

O desenvolvimento do protótipo iniciou-se com o desenho e a modelação virtual 3D em Tinkercad, assim como a sua simulação e a criação dos circuitos elétricos (Fig. 5)

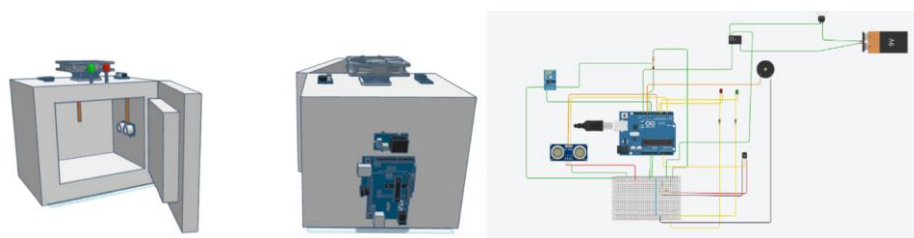


Fig. 5. Modelo 3D do protótipo em Tinkercad

Este Modelo permitiu:

- Visualização prévia da disposição dos componentes eletrónicos internos;
- Validação e simulação do circuito elétrico antes da implementação física;
- Otimização do isolamento térmico e dimensionamento dos compartimentos;
- Identificação de potenciais problemas de compatibilidade.

Fases de Construção Física.

Em seguida identificam-se os passos de construção protótipo físico do mini frigorífico.

Corte e preparação da estrutura: Realização de cortes em placa de XPS (poliestireno expandido) de acordo com as dimensões especificadas (3,4L) (Fig. 6 A);

Testes individuais: Validação de funcionamento de cada componente (Fig. 6) antes da integração no circuito completo (Fig. 7);

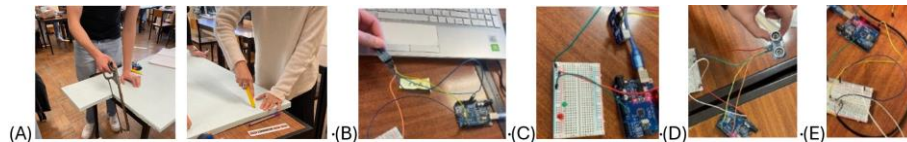


Fig. 6. Cortes (A) e Teste de sensores: Bluetooth (B), Leds(C); Distância (D) e Temperatura (E)

Montagem do circuito: Conexão de todos os componentes (Fig. 7);



Fig. 7. Circuito total

Integração térmica: Aplicação de pasta térmica entre o módulo Peltier e os dissipadores, vedação com fita alumínio e Goma EVA da estrutura do refrigerador.

Desenvolvimento do Firmware.

Para o controlo e operar todos os componentes do protótipo do mini frigorífico de forma integrativa desenvolveu-se código C++ na IDE do Arduino para:

- **Leitura de temperatura no interior frigorífico:** inclusão das bibliotecas OneWire e DallasTemperature para comunicação com o sensor DS18B20 via protocolo 1-Wire (Fig. 8). Foi definido o pino digital 2 do Arduino como porta de comunicação deste sensor;

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Definição do pino de dados para o sensor DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 2 // Sensor conectado ao pino digital 2

// Instâncias para comunicação com o sensor
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

Fig. 8. Código de configuração para sensor de temperatura

- **Controlo do relé:** Optou-se por manter o relé continuamente ativo (ligado) para funcionamento contínuo da placa Peltier, pois testes comparativos demonstraram maior eficiência relativamente ao funcionamento intermitente (on/off);
- **Deteção de objetos:** A leitura de distância com o sensor HC-SR04 determina a presença/ausência de objetos (limiar: 12 cm de altura) e liga o led vermelho na ausência de objeto (lata de bebida) ou verde na sua presença (Fig. 9);

```
// Controle dos LEDs baseado na distância
if (distance >= 12) {
  digitalWrite(ledRed, HIGH);
  digitalWrite(ledGreen, LOW);
} else {
  digitalWrite(ledRed, LOW);
  digitalWrite(ledGreen, HIGH);
}
```

Fig. 9. Código de aviso visual presença/ausência de objetos no interior frigorífico

- **Indicadores de estado:** LED vermelho se frigorífico vazio ou verde se presente;
- **Alerta sonoro:** Emissão de som a 2000 Hz durante 5 segundos quando detetada variação de temperatura $\geq 5^{\circ}\text{C}$ no interior do frigorífico (Fig. 10);

```
// Controle do buzzer baseado na temperatura
if (delta_temp == 5) { // Verifica se  $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ 
  tone(buzzer, 2000); // Toca com 2000 Hz
  delay(500); // Aguarda 500 ms
  noTone(buzzer); // Para o som
} else {
  noTone(buzzer); // Garante que o som está parado
}
```

Fig. 10. Código de aviso sonoro

Desenvolvimento da Aplicação de Monitorização em Telemóvel.

Desenvolveu-se uma aplicação móvel (App) em MIT App Inventor (Fig. 11) para comunicação via Bluetooth com as seguintes funcionalidades:

- Receção de dados de temperatura em tempo real via Bluetooth;
- Visualização de valores instantâneos de temperatura, hora e rendimento;
- Geração de gráficos temporais de variação de temperatura no interior frigorífico;
- Interface intuitiva para interação do utilizador

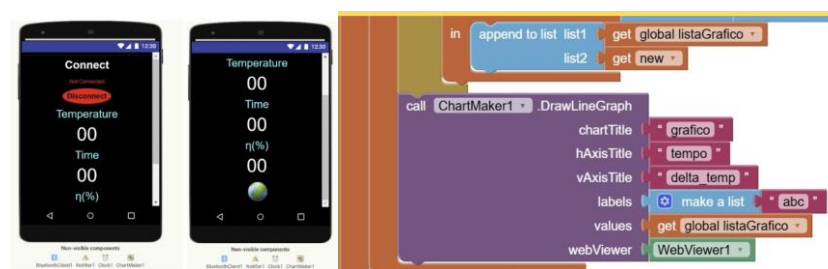


Fig. 11. Wireframe da aplicação para telemóvel

Testes experimentais e Protótipo final.

O funcionamento do protótipo final (Fig. 12) foi testado no dia 28 de janeiro de 2025 numa prova prática seguindo o seguinte protocolo:

- Verificação prévia de bom funcionamento de todos os componentes e da App;
- Medição e registo da temperatura inicial do ambiente;
- Colocação do sensor de temperatura no interior da lata de coca cola e ativação do sistema de refrigeração;
- Monitorização contínua da temperatura até atingir variação de 5°C;
- Registo temporal e análise dos dados obtidos.



Fig. 12. Protótipo final do mini frigorífico

4 Resultados

A prova teste de verificação do funcionamento (com cronómetro e termopar) do protótipo demonstrou que o sistema alcança uma redução de temperatura de 5°C em aproximadamente 6 minutos, reduzindo a temperatura do líquido na lata de 24°C para 19°C. Este resultado valida a eficiência operacional do protótipo.

Os valores de temperatura do líquido ao longo do tempo recebidos pelo Arduino estão indicados no gráfico (Fig. 13). O gráfico mostra uma queda progressiva dos valores de temperatura, indicando que o mini frigorífico está a arrefecer. As pequenas variações de temperatura seguidas de estabilidade sugerem um funcionamento intermitente do sistema de refrigeração.

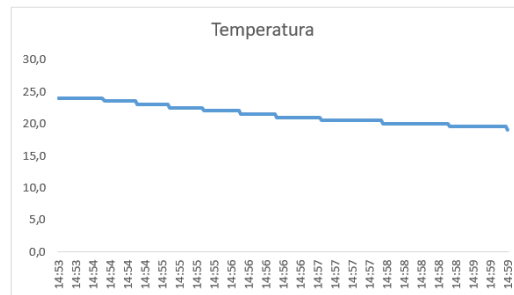


Fig. 13. Gráfico de temperatura líquido ao longo do tempo (Ox horas: minutos; Oy °C)

A figura (Fig.13) mostra que o intervalo de variação (negativa) da temperatura do líquido aumenta gradualmente ao longo do tempo, assim como a diferença entre as temperaturas inicial e final corresponde a 5°C, evidenciando um padrão de arrefecimento por etapas devido à leitura das amostras de forma discreta.

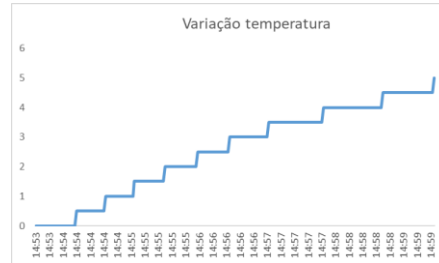


Fig. 14. Variação temperatura do líquido em função do tempo (Ox horas: minutos; Oy °C)

A tendência da evolução temporal da temperatura (Fig. 14) mostra que o sistema não diminui linearmente, sem quedas abruptas, o que demonstra que não houve interferências externas significativas, garantindo um arrefecimento estável e eficiente.

O rendimento do arrefecimento (η) do sistema foi monitorizado ao longo tempo, onde $\eta = P_L/W$, em que P_L é a potência de arrefecimento e W a potência elétrica fornecida ao sistema (máximo de 60 W). Esta potência de arrefecimento é a quantidade de calor que se consegue remover do líquido por unidade de tempo (leituras em intervalos de tempo fixo), expressa em Watts. A quantidade de calor removida (Q) é dada pela expressão $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$, onde m é a massa do líquido (em kg), c_p o calor específico do líquido (em J/kg·K) e ΔT a variação de temperatura (em °C ou K).

O rendimento do arrefecimento do sistema, conforme se pode visualizar na Fig. 15, cresceu de forma constante ao longo do tempo, mas não aumenta de forma completamente linear.

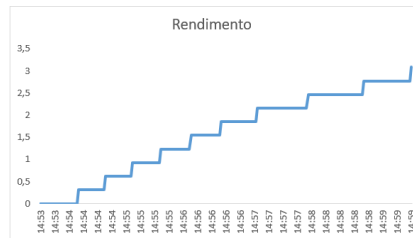


Fig. 15. Rendimento em função do tempo (eixo Ox horas: minutos, eixo Oy rendimento)

Esta figura (Fig. 15) mostra que a eficiência do sistema aumenta de forma progressiva e por fases, atingindo desempenho ideal após aproximadamente 6 minutos de operação. Este comportamento sugere que o sistema requer um período de estabilização inicial para otimizar a dissipação térmica.

5 Conclusões

A integração de conceitos teóricos de termodinâmica com tecnologias práticas de prototipagem eletrônica resultou num protótipo operacional que cumpriu os objetivos estabelecidos.

A placa Peltier foi uma solução tecnicamente viável para refrigerar bebidas de pequena dimensão, a integração de sensores e sistemas de controlo permitiu operação autónoma e a monitorização em tempo real dos valores de temperatura e, por fim, o protótipo diminui a temperatura com uma velocidade de arrefecimento de $0,83^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Importante será referir que a integração de um dissipador com ventoinha no lado quente da placa Peltier foi determinante para o sucesso do sistema, assim como o uso de um dissipador interno com ventoinha ativa para a homogeneização da temperatura no interior do refrigerador.

A App realizada no MIT App Inventor forneceu uma interface acessível para monitorização da temperatura em tempo real, com visualização gráfica dos seus valores, o que permitiu identificar padrões de funcionamento.

O projeto ilustrou a importância da abordagem multidisciplinar na engenharia, combinando os princípios da física, design estrutural, eletrónica e desenvolvimento de software. A metodologia de aprendizagem adotada, desde a conceção virtual, simulação até à validação experimental, demonstra-se adequada para desenvolvimento de sistemas em contexto educacional. A experiência adquirida pelos alunos reforçou a relevância da aprendizagem prática na consolidação de conhecimentos teóricos e no desenvolvimento de competências de resolução de problemas, essenciais para a formação de engenheiros competentes e inovadores.

Como sugestão final refere-se o aumento da velocidade de refrigeração com o uso de mais placas Peltier e o desenvolvimento da App com mais funcionalidades avançadas de análise de dados.

Referências

1. Q. Sun, C. Du e G. Chen, "Thermoelectric materials and devices Applications in enhancing building," *Advanced Nanocomposites*, vol. 2, pp. 15-31, 2025
2. D. M. Rowe, *Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano*. CRC Press, 2006.
3. Portal de refrigeração, [Online] Available: https://refrigeracao.net/topicos/refrigeracao_eletronica
4. H. A. Mahmood et al., "Improving the Performance of Thermoelectric Systems for Air Conditioning Using Different Configurations," *Fluid and Heat Management Technology*, 2025. DOI: 10.32604/fhmt.2025.066075
5. Arduino. *About Arduino*. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/about/>, last accessed 2025/10/24
6. S. Monk, *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. McGraw-Hill, 2013.
7. A. Santana et al., "Development of an Electrical circuit with Arduino implementation to automate a Peltier Thermoelectric cooling system," *IJASRE*, vol. 9, no. 9, 2023. DOI: 10.31695/IJASRE.2023.9.9.3
8. M. M. Martínez Valencia, "Temperature Control and Monitoring with Peltier Cells," *IEEE Student Project Report*, UPC, 2024. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu>
9. Wolber, D., Abelson, H., Spertus, E., & Looney, L. (2011). *App Inventor: Create Your Own Android Apps*. O'Reilly Media