

# DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO ELÉTRICO COM IMPLEMENTAÇÃO EM ARDUINO PARA AUTOMATIZAR UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA UTILIZANDO PASTILHAS *PELTIER*

Anderson José Luiz Santana, andersonseng.mec@gmail.com

Jonas Costa dos Santos, jonascosta9100@gmail.com

Ricardo Carrasco Carpio (orientador), ricardo.carpio@ifmg.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

*Campus Avançado Arcos*

## RESUMO

O surgimento dos refrigeradores marcou uma evolução tecnológica significativa ao ampliar a preservação de produtos perecíveis, uma busca que remonta a tempos anteriores ao século XX. Impulsionada pelos avanços tecnológicos, esta área teve um impacto notável no progresso humano, que se esforça por criar dispositivos automatizados para integrar as atividades diárias, satisfazendo necessidades fundamentais. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo compreender de forma abrangente os sistemas automatizados e a aplicação de conceitos como eletricidade, transferência de calor e tecnologia de resfriamento utilizando pastilhas *Peltier*. Este sistema utiliza uma placa Arduino como controlador, que desempenha um papel fundamental de regular e controlar o processo de resfriamento. A capacidade de desligamento oportuno, conforme determinado pelo usuário, constitui um elemento-chave, minimizando o desgaste dos componentes e, conseqüentemente, prolongando a vida útil do sistema. A execução do projeto exigiu cálculos analíticos para o desenvolvimento do protótipo. Ao final do projeto, foi realizado um teste do código desenvolvido nos componentes, que foram interligados e montados dentro de uma caixa isolada termicamente. Constatou-se que a pastilha *Peltier* não atende aos requisitos do sistema de refrigeração proposto. No entanto, a lógica de programação desenvolvida demonstrou potencial aplicado ao sistema de refrigeração por compressão, oferecendo um controle preciso que pode minimizar gastos desnecessários.

**Palavras-chave:** Refrigeração, Sistemas Automatizados, Efeito *Peltier*, Mini Refrigerador, Programação C ++.

## ABSTRACT

The advent of refrigerators marked a significant technological evolution by enhancing the preservation of perishable goods, a quest that dates back to times before the 20th century. Driven by technological advancements, this field has had a notable impact on human progress, which strives to create automated devices to integrate daily activities, meeting fundamental needs. In this context, the present work aims to comprehensively understand automated systems and the application of concepts such as electricity, heat transfer, and cooling technology using *Peltier* modules. This system employs an Arduino board as a controller, which plays a crucial role in regulating and controlling the cooling process. The ability to shut down promptly, as determined by the user, is a key element, minimizing component wear and, consequently, extending the system's lifespan. The execution of the project required analytical calculations for the development of the prototype. At the end of the project, a test was conducted on the code developed for the components, which were interconnected and assembled inside a thermally insulated box. It was found that the *Peltier* module did not meet the requirements of the proposed cooling system. However, the developed programming logic demonstrated potential when applied to compression cooling systems, offering precise control that can minimize unnecessary expenses.

**Keywords:** Refrigeration, Automated Systems, *Peltier* Effect, Prototype, Programming.

**Data de Submissão:** 22/08/23

**Data de Aprovação:** 03/09/2023

**DOI:** 10.31695/IJASRE.2023.9.9.3

**E-ISSN:** 2454-8006

## 1. INTRODUÇÃO

A busca pela otimização e rápida realização de tarefas por meio da automação tem ganhado cada vez mais destaque na sociedade contemporânea. A iniciação das atividades que visam poupar esforço na execução de tarefas generalizou-se, e a automatização dos sistemas ganhou notoriedade no século XX, impulsionada pela necessidade de aumentar a produção

poupando tempo. Esta evolução deu origem a computadores e controladores programáveis capazes de processar grandes quantidades de dados em frações de segundos. A modernização do processo produtivo, em consonância com as tecnologias informatizadas, marcou esta transformação.

Neste contexto, o presente trabalho tem como foco a automação de um sistema de refrigeração termoelétrico, utilizando uma placa Arduino Uno R4 para controlar tanto o sistema de refrigeração baseado em *Peltier* como o sistema de refrigeração associado. A automação deste projeto tem como objetivo proporcionar comodidade e conforto ao usuário do refrigerador. Esta placa incorpora um microcontrolador projetado para projetos eletrônicos automatizados, facilitando a prototipagem e implementação de sistemas interativos.

O Arduino permite a comunicação bidirecional com sistemas eletrônicos conectados, desempenhando um papel fundamental no controle e monitoramento do sistema de refrigeração em questão. Esta abordagem busca atender às demandas contemporâneas de eficiência e praticidade, refletindo a crescente integração da automação e da tecnologia no dia a dia das pessoas. Os avanços no campo da automação, por meio da utilização de microprocessadores e sensores, representam um desenvolvimento que visa tornar as atividades cotidianas, como a refrigeração de alimentos, autônomas e convenientes para os usuários. No cenário atual, a tecnologia está cada vez mais integrada à vida das pessoas, buscando formas de facilitar a interação entre humanos e máquinas.

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um sistema elétrico controlado por um Arduino para monitorar a temperatura de uma geladeira portátil. Os objetivos específicos incluem a compreensão do funcionamento de circuitos elétricos, o estudo dos principais conceitos de funcionamento do Arduino e a criação de um modelo 3D do refrigerador portátil.

Ao atingir os objetivos, pode ser aplicado tanto no sistema de refrigeração *Peltier* quanto em sistemas de refrigeração por compressão, sendo uma forma de poupar energia. Atualmente, geladeiras “inteligentes” possuem tal funcionalidade, mas com valores elevados, o que faz com que nem toda a população tenha acesso a essa tecnologia.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O movimento dos elétrons em circuitos elétricos resulta da diferença de tensão entre dois pontos, onde a corrente elétrica indica a intensidade do fluxo de elétrons. Para compreender de forma simplificada o funcionamento dos circuitos elétricos, é essencial dominar os princípios fundamentais, conforme destacado por Miller e Miller (2014). Tensão é

a “pressão” elétrica que direciona os elétrons através de uma resistência, representada como diferença de potencial ou força eletromotriz (FEM), medida em Volts (V). Corrente elétrica, medida em Amperes (A), a qual representa o fluxo de elétrons em um condutor, com carga elétrica medida em *Coulombs*, equivalente a  $6,28 \times 10^{18}$  elétrons.

A resistência, expressa em Ohms ( $\Omega$ ), é a capacidade que um material condutor tem de se opor ao fluxo de corrente. Quando sujeito a uma diferença de potencial elétrico, um condutor está sujeito a uma corrente elétrica, proveniente do movimento agitado de elétrons livre. A dificuldade na movimentação das cargas é a resistência elétrica, que aumenta com mais colisões. Os resistores, normalmente feitos de materiais dielétricos de alta resistência, limitam o fluxo de cargas, convertendo energia elétrica em calor por meio do efeito *Joule*.

As Leis de Ohm, desenvolvidas pelo físico George Simon Ohm, desempenham papel crucial na compreensão dos circuitos elétricos. A Primeira Lei de Ohm estabelece que a diferença de potencial através de um resistor é diretamente proporcional à corrente elétrica que flui nele. Esta relação entre tensão, corrente e resistência é expressa matematicamente. A Segunda Lei de Ohm descreve que a resistência elétrica de um material condutor é influenciada por seu comprimento, área e resistividade. Isso significa que a resistência é determinada pelas características específicas do material.

Os circuitos elétricos podem ser dispostos em série, adicionando tensões, ou em paralelo, adicionando correntes. A determinação de tensão, corrente e resistência pode ser aplicada usando as Leis de Ohm. A corrente que passa por um condutor com resistência gera aquecimento (efeito *Joule*), convertendo energia elétrica em energia térmica. Isso é representado como potência dissipada, medida em *Watts*.

De acordo com Markus *et al.* (2018), fontes eletrônicas, que convertem corrente alternada em corrente contínua, são frequentemente utilizadas em circuitos elétricos, substituindo baterias e células. No entanto, como afirma Alexander *et al.* (2013), conexões incorretas podem levar a curtos-circuitos, resultando em corrente excessiva e possíveis danos. Portanto, circuitos de proteção são implementados para evitar tais falhas.

A automação, conforme Groover (2014), engloba uma gama de tecnologias que minimizam a intervenção humana nos processos através de critérios pré-determinados, otimizando a eficiência. Esta abordagem é aplicada em vários setores, oferecendo economia de mão de obra e custos e melhorando a qualidade do produto. Sensores são empregados para detectar estímulos, convertendo informações em sinais compreensíveis para outros dispositivos.

Dispositivos como relés também desempenham papel crucial, permitindo a abertura e fechamento de circuitos elétricos, controlando o fluxo de corrente. A atividade do relé é acionada por uma corrente menor que a do circuito principal, proporcionando segurança ao sistema. Adicionalmente, segundo McRoberts (2018), a plataforma Arduino, tem como objetivo criar dispositivos de baixo custo e simplificar o controle de componentes eletrônicos por meio de programação C++.

As placas *Protoboard* são utilizadas para fixar e interligar componentes. Essas placas possuem furos e linhas para conexões de componentes, sendo uma ferramenta essencial na construção de circuitos eletrônicos.

De acordo com Cunha (2019), a Pastilha *Peltier* são dispositivos de estado sólido que permitem a refrigeração e aquecimento através da aplicação de corrente contínua, tornando-os uma alternativa promissora para sistemas térmicos convencionais. No entanto, sua eficiência energética é comprometida pela dissipação de calor causada pelo efeito *Joule* e pela não-linearidade em seu comportamento. Nesse contexto, a automação com estratégias de controle adaptativo se mostra fundamental para otimizar o desempenho desses sistemas, garantindo um controle preciso e eficiente da temperatura em aplicações específicas, como câmaras térmicas.

### 3. METODOLOGIA

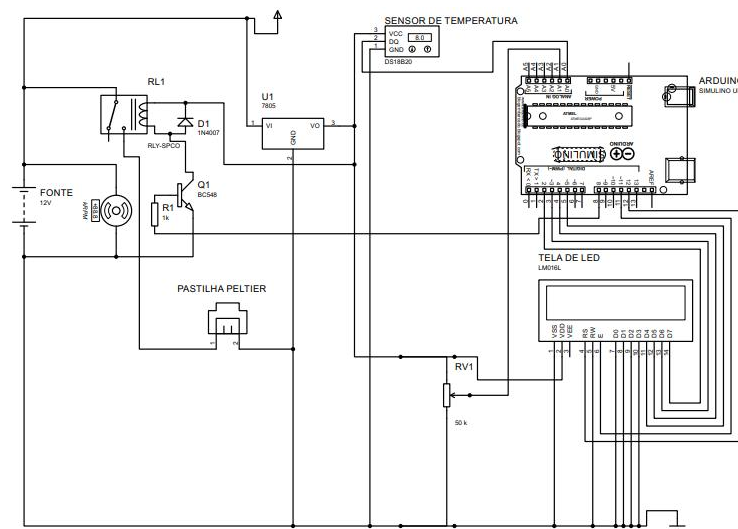
Nesta etapa o foco será o desenvolvimento de um circuito elétrico com integração da placa Arduino para automatizar um sistema de refrigeração utilizando tecnologia *Peltier*. A proposta é, otimizar o processo de resfriamento pelo controle das pastilhas *Peltier*, coordenados pelo Arduino. A metodologia abrangeu pesquisa, programação, *design*, testes e avaliações. A abordagem automatizada demonstrou resultados promissores no controle de temperatura, indicando a viabilidade desta solução para aplicações práticas. Também foram definidas características técnicas de alimentação do circuito para garantir o bom funcionamento de todo o sistema.

#### 3.1 Princípio de Funcionamento do Circuito Elétrico

Na Figura 1 é apresentado o diagrama elétrico completo do sistema automatizado. Para atingir o objetivo deste trabalho, o foco está na definição do princípio de funcionamento do circuito elétrico. A coordenação de todos os elementos do circuito é confiada ao Arduino

através da programação C++. O sistema de controle empregado no código desenvolvido foi o sistema Proporcional Integral Derivativo (PID). Neste contexto, um sensor de temperatura é colocado dentro de um refrigerador portátil. O Arduino interpreta os dados deste sensor, verificando se a temperatura interna está abaixo da temperatura alvo pré-definida. Quando esta condição for atendida, o sistema desativa a pastilha *Peltier* e reduz a velocidade do ventilador, o que dissipa o calor gerado pelo lado quente da pastilha *Peltier*. A temperatura alvo é regulada manualmente pelo usuário através de um potenciômetro e é exibida junto com a temperatura interna no *display*. Por outro lado, caso a leitura do sensor indique temperatura superior à configuração definida pelo usuário, o circuito aciona a pastilha *Peltier*, desativando-o somente quando a temperatura interna do refrigerador estiver 5°C abaixo da configuração definida pelo usuário. Para esclarecer ao usuário o estado da pastilha *Peltier*, dois LEDs são incorporados ao sistema: o LED azul indica desativação e o LED vermelho indica ativação da pastilha *Peltier*.

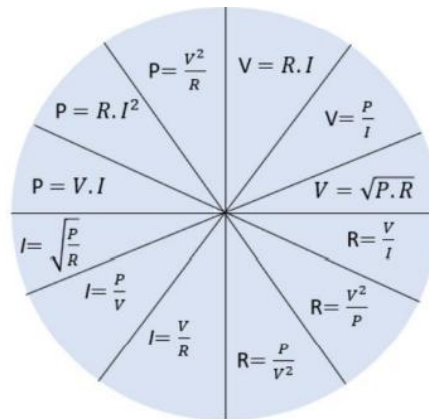
Figura 1 - Circuito elétrico



Fonte: Própria autoria, 2023.

A Figura 2 ilustra as equações utilizadas para o cálculo de todo o circuito elétrico, de acordo com as Leis de Ohm. Com base no circuito apresentado e de acordo com as especificações técnicas dos componentes, foi realizado o cálculo elétrico de todo o sistema, sendo que, através destes cálculos foi obtido características técnicas para todo o circuito desenvolvido.

Figura 2 - Circuito elétrico

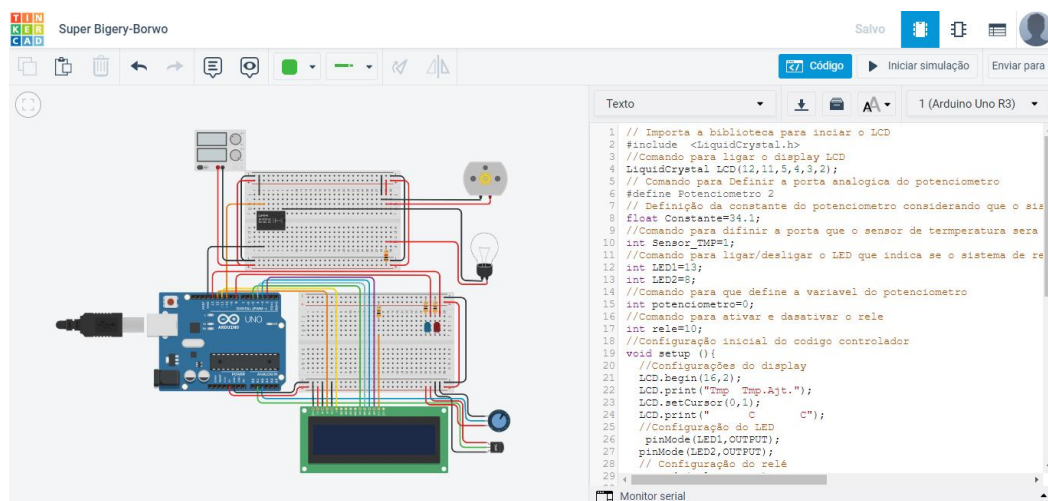


Fonte: EMBRASUL, 2022.

### 3.2 A programação do Arduino

Conforme ilustrado na Figura 3, utilizou-se o *software Tinkercad*, uma plataforma online gratuita que facilita a tradução da linguagem de programação Arduino para código de máquina, além de possibilitar a simulação de sistemas eletrônicos. A compilação é geralmente realizada por meio de um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), um *software* que conta com um compilador embutido, utilizado para transferir o código desenvolvido para o Arduino.

Figura 3 - Ambiente de simulação *Tinkercad*



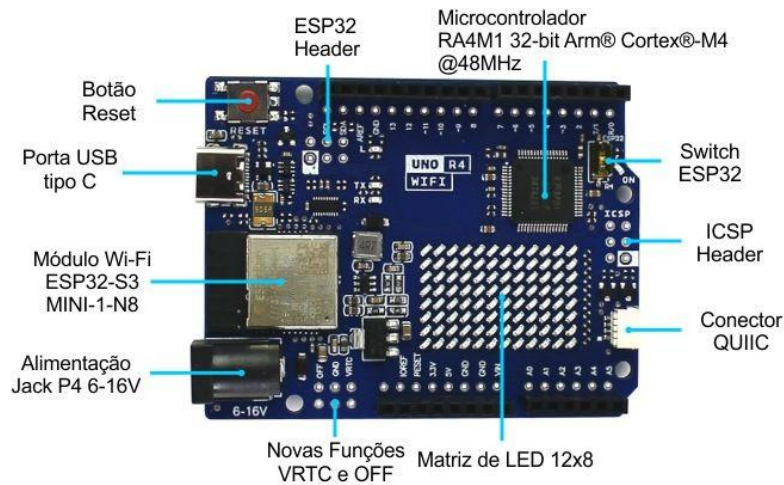
Fonte: Própria autoria, 2023.

### 3.3 Peltier

Na Figura 4, é apresentada a pastilha *Peltier* a ser utilizada no projeto. Já a Figura 5 exibe as especificações técnicas das pastilhas *Peltier*, que estão codificadas em uma de suas



Figura 6 - Especificação do Arduino

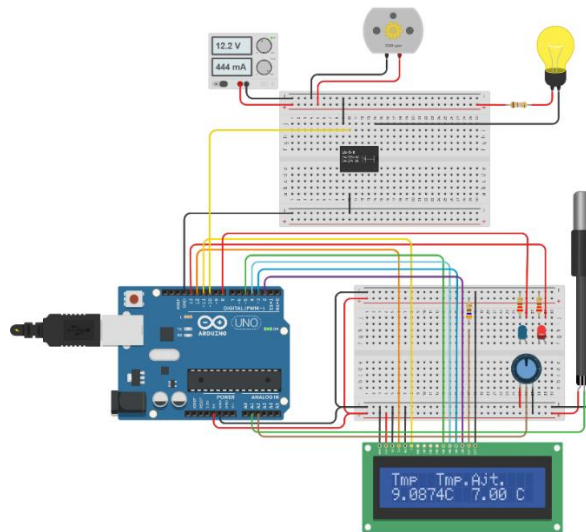


Fonte: ANDUINO, 2024.

#### 4 RESULTADOS

Por meio da construção do código dentro do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino, foi facilitada a codificação para criação do circuito elétrico com seus componentes. A representação abrangente do circuito elétrico é mostrada na Figura 7, onde a pastilha *Peltier* é indicado pela lâmpada e o refrigerador é indicado pelo motor. Os componentes restantes são ilustrados com precisão. Após simulação dentro do ambiente *Tinkercad*, foi verificado que o circuito atinge os objetivos traçados neste projeto. Com base nisso, foi realizada uma modelagem tridimensional (3D) do circuito implementado no refrigerador portátil para determinar seu arranjo ideal. A representação do refrigerador portátil com o circuito elétrico incorporado é destacada na Figura 8.

Figura 7 - Representação do circuito elétrico



Fonte: Própria autoria, 2023.

Figura 8 - Refrigerador portátil



Fonte: Própria autoria, 2023.

Para garantir o bom funcionamento do circuito elétrico, é imprescindível avaliar qual fonte de alimentação se enquadrará nos critérios operacionais. Com base nas especificações técnicas dos componentes do sistema de refrigeração, foi possível forma-se valores de tensão, corrente, resistência e potência que permitiriam o bom funcionamento. Sob essas suposições, o circuito elétrico deve incorporar um regulador de tensão para o Arduino. Neste contexto, considerando que o circuito está configurado em paralelo, é possível determinar corrente, potência e tensão necessárias da fonte de alimentação para garantir o funcionamento ininterrupto do sistema. A procedência destes valores foi baseada nos princípios da Lei de Ohm descritos no tópico 2. Na Tabela 1 se encontram as características técnicas dos componentes, enquanto na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos, com

os parâmetros de entrada para os cálculos extraídos das especificações técnicas dos componentes.

Tabela 1 - Características técnicas do componente

Componente	Tensão (V)	Corrente (A)	Resistência ( $\Omega$ )	Potência (W)
Arduino UNO R4	7	1	7	7
LED	12	0,2	60	2,4
Relé 12 V	12	5,4	2,45	64,8

Fonte: Própria autoria, 2023.

Tabela 2 - Tabela de instruções para o circuito elétrico

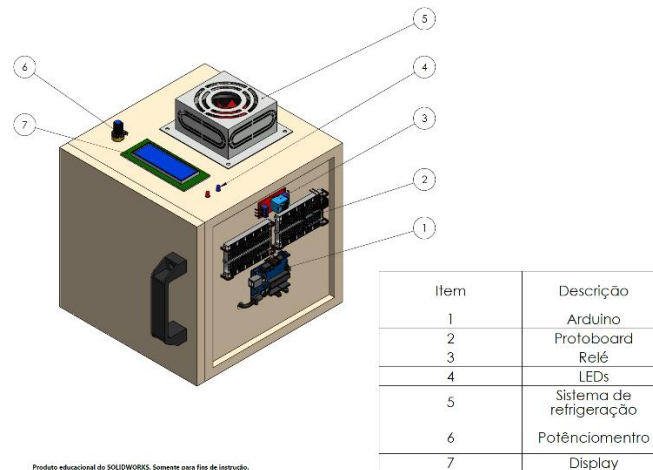
Resultados	Valor
Resistência total	1,7 $\Omega$
Corrente	7 A
Tensão	12 V
Potência	77 W

Fonte: Própria autoria, 2023.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a fonte precisa ser capaz de fornecer corrente de 7 amperes, potência de 77 *Watts* e tensão de 12 volts, de modo a alimentar adequadamente o circuito elétrico. Os cálculos realizados para o circuito elétrico abrangem o fornecimento de energia na pastilha *Peltier*, utilizado como componente de refrigeração no projeto. Porém, esta pastilha demonstrou uma variação de temperatura entre 12 e 18 graus Celsius. Considerando que a temperatura ideal para conservar os alimentos de forma que não fiquem congelados e possam ser saboreados com prazer é em torno de 5 °C, a pastilha *Peltier* não atendeu a esse critério dentro do recipiente. Dado que o circuito projetado pode suportar uma potência maior da fonte de alimentação, é viável automatizar um sistema de refrigeração baseado em compressão, que é notavelmente mais eficiente que o resfriamento baseado em *Peltier*.

Na Tabela 3 é apresentado o custo para fabricação do sistema elétrico desenvolvido, é apresentado os valores médios dos componentes e de acordo com atual data de desenvolvimento do presente trabalho. E na Figura 9 é apresentado o desenho com a lista de componentes e locais para implementação.

Figura 9 – Desenho e Lista de material



Fonte: Própria autoria, 2023.

Tabela 3 - Tabela de orçamento do circuito elétrico

Componente	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Arduino R4	1	250,00	250,00
LED	2	0,28	0,56
Relé 12V	1	11,90	11,90
Display LCD	1	28,40	28,40
Resistor 300Ω	3	1,90	5,70
Sensor de temperatura DS 18B20	1	16,37	16,37
Fonte de alimentação 12V	1	49,90	49,90
Fios 4mm	1	12,00	12,00
Fios 2mm	1	3,49	3,49
Total	-	-	378,32

Fonte: Própria autoria, 2023.

## 5 CONCLUSÃO

Ao concluir o projeto, determinou-se que a programação executada atendeu aos requisitos essenciais para o controle do sistema de refrigeração. Entretanto, no caso do sistema de resfriamento baseado em *Peltier*, não foi possível atingir a demanda necessária para resfriar efetivamente o ambiente compacto. Apesar desta limitação, a lógica de programação desenvolvida demonstra potencial quando aplicada a sistemas de refrigeração baseados em compressão. Neste contexto, mostra a capacidade de cumprir critérios de refrigeração para o ambiente e ao mesmo tempo permitir um controle preciso para minimizar gastos desnecessários. Além disso, foi implementado com sucesso um sistema de gerenciamento remoto, possibilitando o controle via internet. Essa melhoria agregou valor significativo ao sistema, tornando-o mais prático e acessível, beneficiando uma ampla gama de usuários. Assim, a programação desenvolvida não se limita apenas às aplicações de refrigeração convencionais, mas também se mostra eficaz em cenários onde o controle de

temperatura é essencial. Essa abordagem não apenas atendeu às demandas iniciais do projeto, mas também abriu novas possibilidades para implementações futuras, destacando-se como uma ferramenta eficiente.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C. M. et al. **Fundamentos de circuitos elétricos**. [S.l.]: AMGH Editora, 2013.

**ARDUINO**. *Arduino Uno R4 WiFi*. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/uno-r4-wifi>. Acesso em: 02 dez. 2024.

CUNHA, Ludmila Helena Telles. Controle Adaptativo aplicado a Sistemas de Refrigeração utilizando Módulos *Peltier*.

ELETRODEX. **Pastilha termoeétrica *Peltier* TEC1-12706**. Disponível em: <https://www.eletrorodex.net/acessorios/placasmodulos/sensores/pastilha-termoeletrica-peltier-tec1-12706>. Acesso em: 22 maio. 2024.

EMBRASUL. **Conheça as 4 grandezas elétricas básicas. 2022**. Disponível em: <https://embrasul.com.br/conheca-as-4-grandezas-eletricas-basicas/>. Acesso em: 22 maio. 2024.

GROOVER, M. **Fundamentos da manufatura moderna: materiais, processos e sistemas**. 2014.

MARKUS, O. et al. **Circuitos Elétricos de Corrente Contínua e Alternada**. [S.l.]: Saraiva Educação S.A., 2018.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. [S.l.]: Novatec Editora, 2018.

MILLER, R.; MILLER, M. R. **Ar-condicionado e refrigeração**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2014.

STEVAN, S. L.; SILVA, R. A. **Automação e instrumentação industrial com Arduino: teoria e projetos**. [S.l.]: Saraiva Educação S.A., 2015.