GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO
CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL NEWTON FREIRE MAIA
CURSO TÉCNICO EM SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL

A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS NA CONSTRUÇÃO DE REFRIGERADORES PELTIER

PINHAIS
2024

GABRIEL NOVAIS SILQUEIRA

A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS NA CONSTRUÇÃO DE REFRIGERADORES PELTIER

Trabalho de Conclusão de Curso entregue ao Curso Técnico Sistemas de Energia Renovável do Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Sistemas de Energia Renovável.

Orientador: Prof. Esp. José Airton Gonçalves de Lima.
Co-orientadora: Profa. Dra. Marcelle Michelotti Bettoni.

PINHAIS

2024

GABRIEL NOVAIS SILQUEIRA

A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS NA CONSTRUÇÃO DE REFRIGERADORES PELTIER

Trabalho de Conclusão de Curso entregue ao Curso Técnico Sistemas de Energia Renovável do Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Sistemas de Energia Renovável.

Orientador: Prof. Esp. José Airton Gonçalves de Lima.
Co-orientadora: Profa. Dra. Marcelle Michelotti Bettoni.

Pinhais, 21 de Outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. José Airton Gonçalves de Lima
Engenheiro Eletricista, Esp. em Engenharia de Produção
Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia

Profa. Marcelle Michelotti Bettoni
Engenheira Agrônoma, Dra. em Agronomia
Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia

Prof. José Lauro Strapasson
Lic. em Física, Dr. em Física
Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, por iluminar meus caminhos, renovar minhas esperanças, me orientar no caminho certo e por sempre me fazer acreditar em um futuro melhor.

Um agradecimento especial aos professores Marcelle, José Airton e Victor Verissimo e por me orientarem, serem uma esperança e nunca duvidarem de mim.

Aos meus familiares, Vilmara, Roziel, Gabrielly, tio Paulo e vó Vilma por confiar em mim e gastarem o tempo para me auxiliar economicamente com todo o projeto.

Aos meus amigos do 3°SER: Andrey, Otávio, Guilherme, Tiago, Alexandre, Artur, Rafaela, Eduarda, Tauany, Ana Clara, Helen, Estêvão e Emily; 4°MA: Freitas, Kauã e Ainoa; 3°AGRO C: Vinícius Alves e 4°SER: Luna. Pois valorizo muito os nossos laços criados e sou grato pelo apoio mesmo que de forma simples com o projeto.

E finalmente ao colégio Newton Freire Maia por proporcionar um curso de qualidade e aprendizado, onde vivi os maiores e melhores desafios, permitindo que eu fizesse amigos para a vida toda.

“Ó Senhor, Senhor nosso, quão admirável
é o teu nome sobre toda a terra!”
(SALMOS 8:9)

“É pela a ação que conseguimos melhor encontrar
o Deus que se encontra em nós”
(MAIA, Newton Freire)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação de resíduos eletrônicos na construção de um refrigerador utilizando a tecnologia *Peltier*. O estudo abrange a análise dos efeitos termoelétricos, o funcionamento do módulo, sua forma de refrigeração, além de investigar a viabilidade e a sustentabilidade do uso desses resíduos na montagem de um protótipo. A metodologia foi estruturada em seis etapas: obtenção dos materiais, preparação, montagem do refrigerador, instalação do sistema elétrico, realização de testes e análise dos resultados. Os testes avaliaram a viabilidade econômica e ambiental do protótipo, evidenciando que a reciclagem de resíduos eletrônicos para refrigeração *Peltier* é uma solução acessível e eficaz, contribuindo para a otimização de recursos. Ressalta-se a importância de futuras pesquisas para melhorar o desempenho dos módulos e expandir suas aplicações em sistemas de refrigeração de baixo custo. Assim, este trabalho serve como modelo para o desenvolvimento de refrigeradores sustentáveis, destacando que a inovação na gestão de recursos é fundamental para minimizar impactos ambientais.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos. Tecnologia Sustentável. Protótipo.

ABSTRACT

The aim of this work is to demonstrate the application of electronic waste in the construction of a refrigerator using Peltier technology. The study covers the analysis of thermoelectric effects, how the module works, how it is cooled, as well as investigating the feasibility and sustainability of using this waste to build a prototype. The methodology was structured in six stages: obtaining the materials, preparing and assembling the cooler, installing the electrical system, carrying out tests and analyzing the results. The tests evaluated the economic and environmental viability of the prototype, showing that recycling electronic waste for Peltier refrigeration is an affordable and effective solution, contributing to the optimization of resources. The importance of future research to improve the performance of the modules and expand their applications in low-cost refrigeration systems is highlighted. Thus, this work serves as a model for the development of sustainable refrigerators, highlighting that innovation in resource management is fundamental to minimizing environmental impacts.

Keywords: Waste Management. Sustainable Technology. Prototype.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Efeito Seebeck..... 13
Figura 2- Imagem da Tabela Periódica bloco D (grupo 3 ao 12)..... 14
Figura 3- Efeito Peltier..... 16
Figura 4- Funcionamento da pastilha Peltier..... 16
Figura 5- Tipos de dimensão da pastilha Peltier..... 17
Figura 6- Exemplificação da refrigeração Peltier..... 18
Figura 7- Ponto de coleta de lixo eletrônico da IBB..... 21
Figura 8- DMT RECICLAGEM e um Cooler dissipador..... 26
Figura 9- Resíduos eletrônicos para sistema de alimentação na rede elétrica..... 26
Figura 10- Uma bateria descartada de sistema de alarme e uma nova..... 27
Figura 11- Pastilhas Peltier TEC1-12706..... 27
Figura 12- Distribuidora de isopor..... 28
Figura 13- Dissipadores de alumínio..... 28
Figura 14- Materiais reunidos..... 29
Figura 15- Cortes dos fios..... 30
Figura 17- Cortes da caixa de isopor..... 31
Figura 18- O refrigerador..... 32
Figura 19- Junção das partes..... 32
Figura 20- Ligação elétrica na rede..... 33
Figura 21- Ligação elétrica na bateria..... 34
Figura 22- Diagrama elétrico de ligação na rede (Cade_Simu)..... 35
Figura 23- Diagrama para ligação elétrica na bateria (Cade_Simu)..... 36
Figura 25- Teste de continuidade (A) e tensão (B) com multímetro..... 39
Figura 26- Resultado estético final do protótipo..... 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades de uma célula Peltier..... 17
Tabela 2 - Componentes utilizados no protótipo.....25
Tabela 3 - Comparação entre a temperatura inicial do refrigerador e a temperatura final após as três horas.....37
Tabela 4 - Resultados do teste de potência realizado com multimetro..... 38
Tabela 5 – Comparação do valor gasto para a construção do protótipo a partir de material reciclado e valor estimado..... 40
Tabela 6 - Ciclo de vida e reaproveitamentos dos materiais utilizados..... 42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 10
2. OBJETIVOS..... 12
2.1. OBJETIVO GERAL..... 12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 12
3. REVISÃO DE LITERATURA..... 12
3.1. OS EFEITOS TERMOELÉTRICOS..... 13
3.1.1 O efeito Seebeck..... 13
3.1.2 Condutores metálicos..... 14
3.1.3 Efeito Peltier..... 15
3.1.4 Efeito Thompson..... 15
3.2. A PASTILHA PELTIER..... 15
3.3. A REFRIGERAÇÃO PELTIER..... 18
3.4. RESÍDUOS ELETRÔNICOS..... 19
3.5. ESTUDO DE VIABILIDADE..... 21
3.5.1. Viabilidade potencial..... 21
3.5.2. Viabilidade econômica..... 22
3.5.3. Viabilidade ambiental..... 22
3.6. SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SUSTENTÁVEIS..... 23
4. MATERIAIS E MÉTODOS..... 23
4.1. OBTENÇÃO DOS MATERIAIS..... 24
4.2. PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS..... 29
4.3. MONTAGEM DO REFRIGERADOR..... 31
4.4. SISTEMA ELÉTRICO..... 33
4.5. OPERAÇÃO DO SISTEMA..... 34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 37
5.1. ANÁLISES REFRIGERAÇÃO..... 37
5.2. ANÁLISE POTENCIAL..... 38
5.3. ANÁLISE ECONÔMICA..... 39
5.4. ANÁLISE AMBIENTAL..... 41
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 44
REFERÊNCIAS..... 45

1. INTRODUÇÃO

O primeiro efeito termoelétrico foi descoberto em 1821 por um físico Estoniano chamado Thomas Johann Seebeck, no processo foi observado um fenômeno utilizando a diferença de temperatura entre dois semicondutores elétricos de materiais distintos que produziram uma tensão proporcionando corrente elétrica, batizado assim de efeito *Seebeck*. Treze anos depois (1834), o físico Jean Charles Athanase Peltier fez o efeito contrário, submetidos a uma tensão elétrica em um circuito fechado foi produzido um gradiente de temperatura em duas junções de dois semicondutores de materiais diferentes (MOURA, 2010).

Na atualidade o efeito *Peltier* é o mais utilizado, aplicado a refrigeração eletrônica, portátil, sensores e aquecimento. Pode-se verificá-la normalmente em bebedouros de água e em coolers móveis (mini frigobar). A aplicação e utilização desse efeito enfrenta alguns desafios, como o alto custo dos materiais novos, normalmente baixa eficiência, custo benefício negativo e limitação de temperatura. Consequentemente, essa fonte de eletricidade se torna substituível por outros meios (MISTERAMP, 2021).

Os Resíduos sólidos são um problema crescente que a sociedade vem enfrentando a muitos anos, cada vez mais multiplicando-se a sua produção por conta do crescimento exponencial de cidades e a criação de tipos variados de produtos. Essa problemática criou uma norma de separação e classificação do lixo além de proporcionar o encontro de recursos valiosos que normalmente seriam descartados, sendo esse o princípio da reciclagem, reutilizar materiais que serão descartados para outra aplicação. Nascendo assim a classificação de resíduos eletrônicos que abrange qualquer material eletrônico que foi descartado, incluindo aqueles que podem ser reciclados ou reaproveitados. Portanto, os resíduos eletrônicos podem incluir lixo eletrônico, mas também podem incluir componentes que ainda têm valor ou podem ser reutilizados (PEREIRA, 2019).

Algumas problemáticas da refrigeração *Peltier* podem ser supridas com a utilização de resíduos eletrônicos, pois materiais bons condutores de temperatura, equipamentos eletrônicos e outros encontram-se nesse meio, anulando parte dos desafios de sua utilização e promovendo a sustentabilidade.

Este estudo explora como a reciclagem de resíduos eletrônicos é uma fonte de recursos para a construção de refrigeradores que utilizam a tecnologia do efeito *Peltier*, assim como seus resultados potencial, ambiental e econômico.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização de resíduos eletrônicos reciclados na refrigeração *Peltier* e sua viabilidade potencial, ambiental e econômica.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ➔ Construir um protótipo funcional utilizando resíduos eletrônicos reciclados.
- ➔ Avaliar a eficiência térmica, econômica e ambiental do protótipo em comparação a sistemas comerciais.
- ➔ Proporcionar ideais para projetos futuros.
- ➔ Servir como referência de auxílio e inspiração para outros na elaboração de suas iniciativas.
- ➔ Explicitar a possibilidade da sustentabilidade em projetos elétricos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A utilização de resíduos eletrônicos em sistemas de refrigeração Peltier é uma solução inovadora que une eficiência térmica com sustentabilidade. Para compreender melhor o contexto e os fundamentos que embasam essa proposta, é necessário analisar os efeitos termoelétricos para compreensão dos módulos Peltier, os resíduos eletrônicos, a sustentabilidade, além de estudos de viabilidade que avaliam a aplicabilidade e eficácia desses sistemas. Logo, através de pesquisas em artigos científicos, dissertações de mestrados, trabalhos de conclusão de curso, livros e vídeos, é realizada a descrição dos conceitos abordados na presente revisão de literatura. Esta análise visa proporcionar uma compreensão aprofundada dos temas relevantes, contextualizando-os dentro do panorama existente.

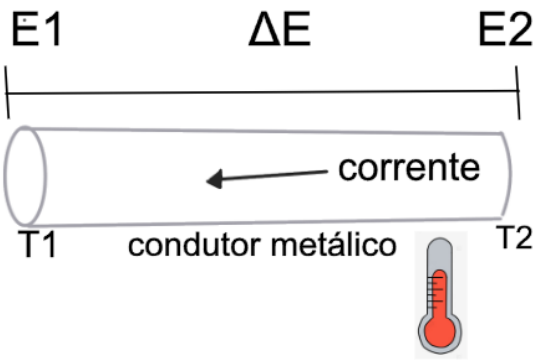
3.1. OS EFEITOS TERMOELÉTRICOS

Os efeitos termoelétricos são fenômenos que permitem a conversão direta de calor em eletricidade ou a transferência de calor mediante a aplicação de uma corrente elétrica.

3.1.1 O efeito *Seebeck*

O efeito *Seebeck* descoberto por Thomas Johann Seebeck é a diferença de temperatura entre dois condutores de materiais distintos que gera uma tensão elétrica como exemplifica a Figura 1.

Figura 1- Efeito *Seebeck.*



Fonte: O autor, 2024.

Esse efeito pode ser representado por meio de uma fórmula matemática qual o coeficiente termodinâmico de *Seebeck* S ou α é fruto da divisão da diferença de potencial elétrico ΔE pela variação de temperatura $\Delta T = T2 - T1$ (MORAES, 2014).

$$S = \frac{\Delta E}{\Delta T} \quad (1)$$

3.1.2 Condutores metálicos

Um condutor metálico é um sólido que transmite corrente elétrica de maneira eficiente, graças à sua estrutura atômica que permite a movimentação livre de elétrons. Essa propriedade resulta em baixa resistência elétrica, facilitando a passagem de eletricidade pelo material, dureza, altos pontos de fusão e elevada condução de calor, tornando-o essencial em diversas aplicações tecnológicas e industriais. Os melhores condutores metálicos de eletricidade são a prata e o cobre. E os metais que apresentam maior potencial de condutividade térmica são o alumínio e o cobre. Conforme mostra a Figura 2, os condutores com menos resistência são representados na tabela periódica pelo bloco D (MOURA, 2010; BATISTA, 2021).

Figura 2- Imagem da Tabela Periódica bloco D (grupo 3 ao 12).

Fonte: BATISTA, 2021.

3.1.3 Efeito *Peltier*

Compreender o esse condutor, fomenta no efeito *Peltier* que foi descoberto por Jean Charles Athanase Peltier em 1834, treze anos após o efeito Seebeck e seu funcionamento tem efeito contrário ao de *Seebeck*. O físico percebeu que quando pequenas correntes elétricas atravessam a junção de dois metais diferentes numa direção, à junção[1] esfria, absorvendo energia por calor do meio em que se encontra e quando é invertida a direção da corrente, a junção aquece o meio em que se encontra, como demonstra a Figura 3.

Esse efeito pode ser representado por meio da fórmula matemática qual o calor (q) é igual ao calor dissipado ou absorvido (π) multiplicado pela corrente elétrica que percorre o sistema (I) sendo representado por:

$$q = \pi \, . \, I \tag{2}$$

3.1.4 Efeito *Thompson*

Em 1855, Lord Kelvin explicou como dois efeitos termodinâmicos estão conectados e previu um terceiro, chamado efeito *Thompson.* A partir dessa teoria, foi possível mostrar que os coeficientes *Seebeck* e *Peltier* estão relacionados entre si, sendo representados por uma fórmula matemática qual a quantidade de calor (q) é igual ao coeficiente Seebeck (α) multiplicada pela corrente submetida no sistema (I) e pela temperatura absoluta no sistema (T) (MOURA, 2010; BATISTA, 2021).

$$q = \alpha \, . \, I \, . \, T \tag{3}$$

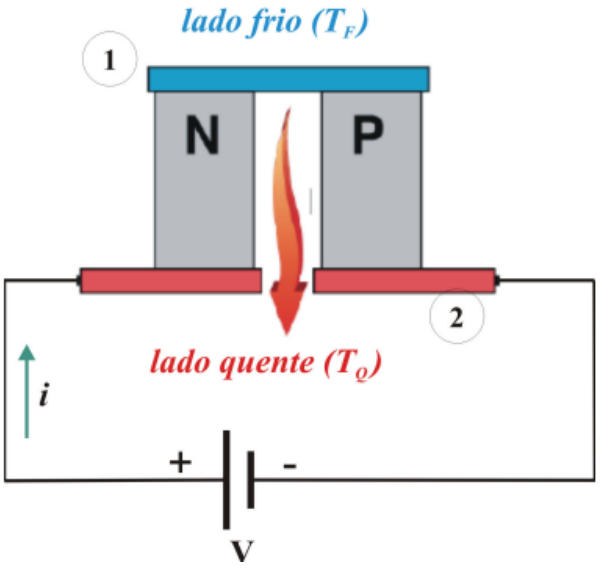
3.2. A PASTILHA *PELTIER*

A pastilha contém a superfície isolante de cerâmica e malha condutora de eletricidade na superfície interna das chapas. Entre essas malhas encontram-se pares de semicondutores de “tipo n” e “tipo p” que proporcionarão o movimento da

[1] Essa junção é chamada de “tipo n” e “tipo p”, que sofre a aplicação de Doping: adição de impurezas químicas elementares com a finalidade de dotá-los de propriedades de semicondução controladas específicas.

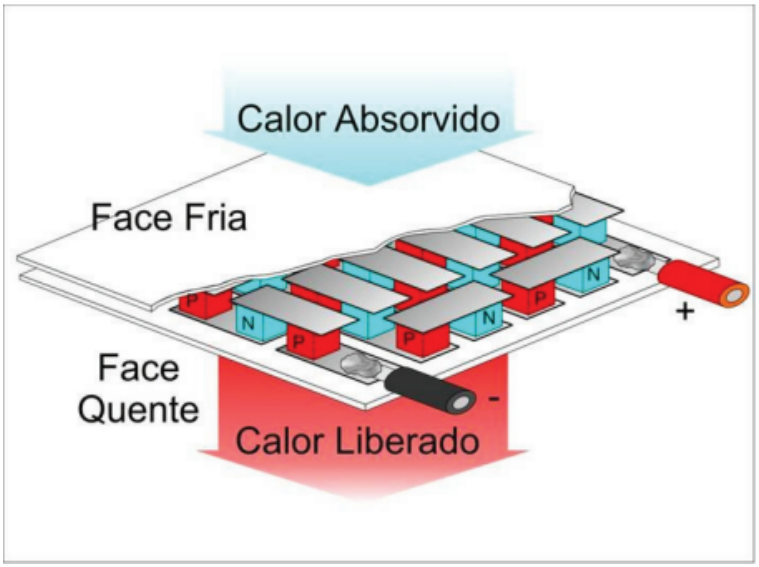
corrente contínua, absorvendo o calor do lado tipo n e dissipando do lado tipo p, apresentado na Figura 4.

Figura 3- Efeito *Peltier.*



Fonte: MOURA, 2010.

Figura 4- Funcionamento da pastilha *Peltier.*

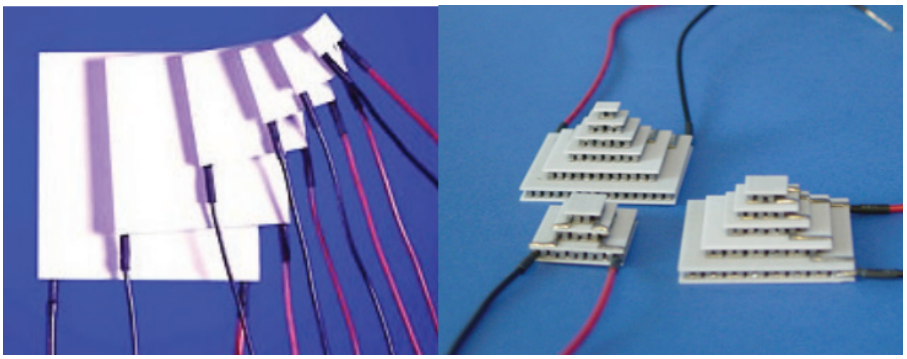


Fonte: MOURA, 2010.

Os módulos estão disponíveis para compra em tamanhos e tensões diferentes e podem ser utilizados individualmente ou agrupados eletricamente em série, paralelo ou série-paralelo. Em algumas aplicações usa-se o módulo de

multi-estágios, isto é, vários módulos termicamente em série para obtenção de um maior ΔT^2, como exemplificado na Figura 5.

Figura 5- Tipos de dimensão da pastilha *Peltier.*



Fonte: MOURA, 2010.

Seus modelos apresentam na superfície o código de especificação, onde variam de “Tec1-12701” á “Tec1-12715”, onde TE significa Termoelétrico; C significa pequeno; 1 é o número de camadas; 127 é o número de pares e os dois últimos dígitos a corrente de trabalho. O lado negativo onde existe a escrita do código ficará frio e o lado positivo que não apresenta nenhuma marca esquentará (MOURA, 2010; MISTER AMP, 2021).

As propriedades do módulo *Peltier* mais comum no mercado são representadas na Tabela 1.

Tabela 1- Propriedades de uma célula *Peltier.*

Hot Side Temperature	**250°C**	**50°C**
Qmax (Watts)	50W	57W
Delta Tmax (˚C)	66°C	75°C
Imax (Amps)	6.4A	6.4A
Vmax (Volts)	14.4V	16.4V
Module Resistance (Ohms)	1.98Ω	2.3Ω

Fonte: Alldatasheet, 2008.

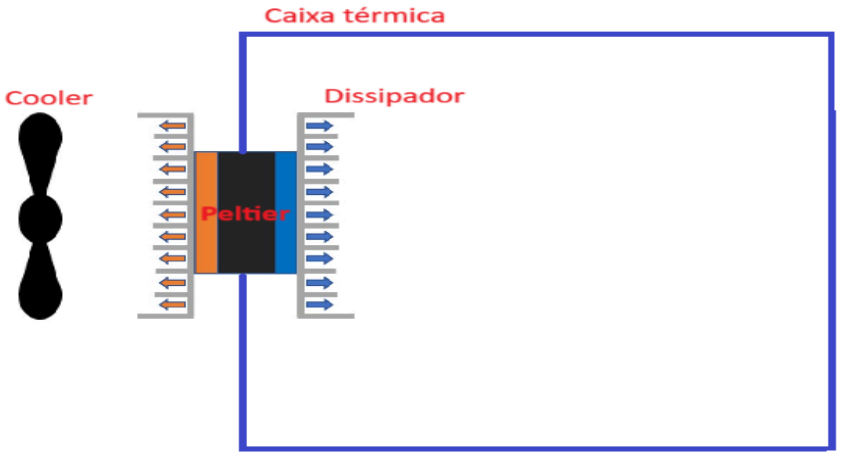
[2] Variação de temperatura.

3.3. A REFRIGERAÇÃO *PELTIER*

A refrigeração *Peltier* se destaca por sua simplicidade e baixo custo em aplicações de pequeno porte, é uma forma de refrigeração utilizada para baixas tensões (12 Volts normalmente) como em automóveis, mini-geladeiras, bebedouros e outros sistemas. Todos esses funcionam de uma forma que o resfriamento ocorra através de dissipadores em ambos os lados de uma pastilha *Peltier*, onde o calor será removido e o frio induzido para dentro. Esse refrigerador *Peltier* (popularmente denominado Geladeira *Peltier*) pode ser obtido no mercado ou construído comprando as peças separadas, sendo esse o meio mais econômico e utilizado, normalmente encontrando-se em automóveis. Sua eletricidade pode vir de uma bateria ou da rede elétrica (FARIAS, 2009; MORAES, 2014).

Sua estrutura utiliza as pastilhas *Peltier* para resfriar dentro de um sistema fechado com uma célula na divisa. Dentro do aparelho, o dissipador atua sozinho na movimentação do frio, enquanto do lado de fora, ele conta com um cooler para dissipar o calor e resfriar a pastilha. A Figura 6 demonstra o modelo de refrigerador.

Figura 6- Exemplificação da refrigeração *Peltier.*



Fonte: O autor, 2024.

A seguir, são descritos os componentes utilizados junto com seu funcionamento.

Cooler: Pequeno motor de baixa tensão e corrente que alimenta um ventilador, esse dispositivo eletrônico pode ser usado em diversos tipos de hardwares eletrônicos com o objetivo de evitar o aquecimento exagerado. Ele

também pode estar acoplado a um dissipador de calor, nomeado de Cooler dissipador.

Dissipador: É um objeto de metal geralmente feito de cobre ou alumínio que busca aumentar uma maior área por onde um fluxo térmico possa correr. Eles garantem a integridade de equipamentos que podem se danificar caso recebam uma grande quantidade de energia térmica.

Sistema fechado: Recipiente projetado para manter a temperatura resfriada ou aquecida, como por exemplo uma caixa de isopor ou caixa de plástico.

Pastilha *Peltier*: Eletrônico mais importante do sistema, pois ele fará a refrigeração do espaço.

Termômetro: Eletrônico adicional que serve para indicar a temperatura interna do projeto.

As vantagens do efeito *Peltier* para a refrigeração são: a desnecessidade de partes mecânicas móveis para refrigeração, aquecimento ou resfriamento dependendo apenas da polaridade da alimentação, dispensa do uso de gases refrigerantes, tecnologia 100% sólida com alta confiabilidade e baixos níveis de ruído, refrigeração pontual[3] e funcionamento em qualquer orientação[4] .

Para a fabricação individual (aplicado em vans, carros e outros) encontram-se alguns desafios, como o custo elevado de novos componentes e a baixa eficiência térmica dos módulos *Peltier* em comparação com sistemas de compressão de vapor que limitam sua aplicação em larga escala. Consequentemente, essa fonte de refrigeração se torna substituível por outros meios (FARIAS, 2009; MOURA, 2010; TIEPPO, 2023).

3.4. RESÍDUOS ELETRÔNICOS

Os resíduos eletrônicos são os materiais eletrônicos que representam 5% de todo o lixo produzido pela humanidade (TJSC, 2023). Vale lembrar que ele é diferente do lixo eletrônico, pois este é qualquer tipo de eletrônico sem utilidade (descartado), mas os resíduos eletrônicos podem ser reciclados e reutilizados. Segundo dados da ONU[5] (2015), 50 milhões de toneladas são jogadas fora

[3] Localizada, com exatidão.
[4] Com/sem gravidade.
[5] Organização das Nações Unidas.

anualmente e entre 60 e 90% destes resíduos eletrônicos são jogados no lixo ou comercializados ilegalmente. Encaixam-se nessa categoria os eletrodomésticos, celulares, computadores, monitores, televisões, câmeras fotográficas, impressoras, fotocopiadoras, entre outros (ONU, 2015).

Esses resíduos eletroeletrônicos podem conter substâncias químicas perigosas à saúde e ao meio ambiente, como chumbo, cádmio, mercúrio, berílio. Por essa razão, o descarte incorreto provoca a contaminação do solo e da água, afetando o ecossistema e a saúde das pessoas. Além disso, o efeito imediato é prejudicar a saúde dos trabalhadores que lidam com o lixo - como os catadores - e também daqueles que acabam tendo contato com o resíduo descartado em terrenos baldios. A exploração das matérias-primas de eletroeletrônicos, como os celulares, causa problemas sociais e ambientais ao redor do mundo.

O descarte de eletroeletrônicos gera a necessidade de buscar mais matérias-primas para suprir o mercado, assim a logística reversa[6] quebra este ciclo prejudicial ao fazer o material voltar ao produtor, permitindo o reaproveitamento. Alguns estados (como Santa Catarina, São Paulo e Rio de Janeiro) e companhias privadas (como ABREE[7] e IBB[8]) antes do descarte realizam uma triagem para reaproveitamento interno dos equipamentos eletrônicos em funcionamento ou para encaminhamento a instituições que utilizem o material em projetos comunitários. No caso do equipamento ser declarado inservível, ele é coletado por meio de serviço especializado e recebe destinação ambientalmente adequada (TJSC, 2023). A figura 7 demonstra um desses pontos de coleta.

No livro "Resíduos Sólidos" Pereira (2019), é discutido a problemática dos resíduos eletrônicos e a importância da reciclagem para a sustentabilidade. O autor enfatiza que, além da recuperação de materiais, a gestão adequada desses resíduos pode gerar novos empregos e estimular a economia circular. Pereira destaca que a integração de sistemas de reciclagem eficazes é essencial para minimizar os impactos ambientais e promover a reutilização de componentes.

---

[6] Retorno de produtos do consumidor ao fabricante.
[7] Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos.
[8] Igreja Batista do Bacacheri.

Figura 7- Ponto de coleta de lixo eletrônico da IBB.

Fonte: O autor (2024).

3.5. ESTUDO DE VIABILIDADE

Um estudo de viabilidade (também chamado de análise ou relatório de viabilidade) tem o objetivo de demonstrar a eficiência do projeto realizado e tirar as conclusões da veracidade da pesquisa, ela é uma forma de avaliar se o plano de projeto pode dar certo ou não. Embora o estudo de viabilidade seja mais comumente realizado antes do início de um projeto, em algumas situações é benéfico conduzir uma análise de viabilidade após a conclusão desse projeto (MARTINS, 2024).

3.5.1. Viabilidade potencial

Esta análise verifica a eficiência do projeto, buscando identificar se ele é prejudicado em termos de potência e funcionamento. Para isso, são considerados a pesquisa dos componentes básicos de um sistema elétrico, como fontes de energia, cabos, interruptores, disjuntores e outros dispositivos. A medição com instrumentos adequados, como multímetros, amperímetros, voltímetros e dispositivos de teste, e a comparação com sistemas semelhantes garantem a segurança e o desempenho eficiente dos sistemas elétricos. Ao seguir procedimentos adequados e utilizar os equipamentos corretos, é possível realizar um diagnóstico preciso.

Os testes de continuidade, corrente e tensão, realizados com um multímetro, são cruciais para verificar se há conexão elétrica adequada em um circuito, permitindo identificar a passagem de corrente ao longo dos fios e conexões e detectar possíveis interrupções ou falhas no sistema (TDGI[9], 2014).

3.5.2. Viabilidade econômica

A viabilidade econômica (também denominada viabilidade financeira) avalia se o projeto é economicamente viável, incluindo uma análise de custo-benefício que observa se os dados financeiros são superavitários ou deficitários, indicando o retorno esperado sobre o investimento e quaisquer riscos financeiros associados. A análise da viabilidade econômica é essencial para entender os custos envolvidos na utilização de materiais reutilizados em comparação com materiais novos. Uma tabela comparativa detalha os preços, evidenciando a economia significativa que pode ser alcançada ao optar por materiais usados. Essa abordagem não apenas reduz os custos totais do projeto, mas também permite uma alocação mais eficiente dos recursos financeiros disponíveis, reforçando a viabilidade financeira da proposta (MARTINS, 2024).

3.5.3. Viabilidade ambiental

Atualmente, as preocupações ambientais estão no centro das discussões globais, tornando imperativo considerar a sustentabilidade em todos os aspectos da vida. O conceito de sustentabilidade em protótipos abrange a criação de soluções que sejam funcionais e inovadoras, mas também ecológicas e conscientes de seu impacto ambiental. Nessa fase, é realizado um estudo sobre a origem dos materiais e a aplicação de métodos que promovam a sustentabilidade.

A avaliação do design para desmontagem considera se o protótipo é concebido com foco na desmontagem e no destino dos materiais utilizados, definindo se serão descartados ou reutilizados. Além disso, a avaliação do ciclo de vida analisa todas as etapas da vida de um produto, desde a extração da matéria-prima até sua eliminação, fornecendo informações sobre os potenciais

[9] Empresa de Tecnologia de Gestão de Imóveis, S.A.

impactos ambientais associados a cada fase e à durabilidade do produto (BOFF, 2017; FASTER CAPITAL, 2024).

3.6. SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO SUSTENTÁVEIS

A sustentabilidade é um conceito central nas discussões atuais sobre tecnologia e inovação, especialmente em relação à gestão de recursos e à minimização dos impactos ambientais. No contexto dos sistemas de refrigeração, a sustentabilidade se torna um fator crucial, considerando a crescente preocupação com o desperdício de recursos naturais e a geração de resíduos eletrônicos. Os sistemas de refrigeração convencionais, que frequentemente utilizam gases refrigerantes, têm sido alvo de críticas devido ao seu potencial de contribuição para o aquecimento global e à degradação ambiental. Segundo o livro “Sustentabilidade” de Leonardo Boff aponta que a tecnologia sustentável deve buscar a eficiência na utilização de recursos e a minimização de resíduos, promovendo práticas que favoreçam a economia circular (BOFF, 2015). E o livro “Refrigeração Industrial" de Wilbert Stoecker também destaca que a inovação em sistemas de refrigeração deve considerar não apenas a eficiência energética, mas também a utilização de materiais que reduzam os impactos ambientais. O autor enfatiza que a integração de tecnologias de refrigeração que utilizam recursos renováveis e a reciclagem de componentes podem transformar a forma como os sistemas de refrigeração são projetados e implementados. Essa abordagem é essencial para atender às demandas de um mercado cada vez mais consciente em relação à sustentabilidade (STOECKER, 2014).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de analisar a viabilidade do uso de resíduos eletrônicos na construção de um refrigerador utilizando a tecnologia *Peltier*. A pesquisa de campo seguiu a divisão nas etapas: Obtenção e preparação dos materiais, montagem do refrigerador, sistema elétrico e operação do sistema. Estruturadas para garantir a obtenção de resultados confiáveis e replicáveis. A seguir, são descritas as etapas e procedimentos utilizados na elaboração do protótipo.

4.1. OBTENÇÃO DOS MATERIAIS

Os componentes principais para a construção do protótipo foram obtidos através de coleta de resíduos eletrônicos em centros de reciclagem, compras na internet, coleta residencial e em lojas especializadas. A tabela 2 apresenta as origens do material e função dentro do protótipo.

Tabela 2 - Componentes utilizados no protótipo.

Componente	Quantidade	Origem	Função no protótipo
Coolers dissipadores	2	CPUs recicladas (DMT)	Dissipação do calor externo.
Dissipadores de calor	2	CPUs recicladas (DMT)	Condução e dissipação do calor gerado pelas pastilhas.
Pastilhas *Peltier* (modelo TEC1-12706)	2	Compradas novas	Efeito termoelétrico para resfriamento.
Caixa térmica de isopor (12L)	1	Distribuidora de isopor	Estrutura isolante térmica para manter o ambiente frio.
Fonte de alimentação (12V, 6A)	1	Reciclada (carregadores)	Alimentação elétrica para as pastilhas e coolers.
Bateria (12V)	1	Reutilizada	Alimentação elétrica para as pastilhas e coolers.
Fios e conectores	-	Dos resíduos eletrônicos	Conexões elétricas entre os componentes.
Termômetro digital	1	Compra	Medição da temperatura interna.
Pasta térmica	-	Compra	Transferência eficiente de calor entre dissipadores e pastilhas.
Ferramentas (alicate, estilete, tesoura, régua, supercola)	-	Ferramentas diversas	Ajustes e fixação dos componentes.

Fonte: O autor, 2024.

O ponto de coleta DMT Reciclagem, localizado em Uberaba, Curitiba-PR foi o lugar escolhido para recolher os resíduos eletrônicos, lá foram obtidos os coolers com dissipadores de calor, como apresenta a figura 8.

Figura 8- DMT RECICLAGEM e um Cooler dissipador.

Fonte: O autor, 2024.

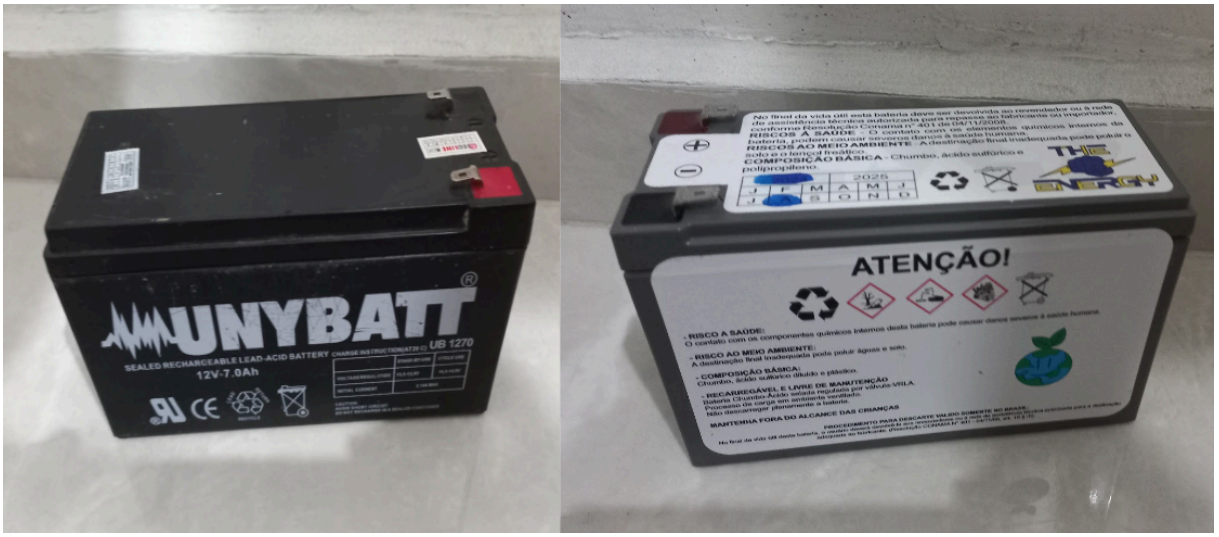
Uma variedade de itens foram obtidos do reaproveitamento do lixo eletrônico residencial armazenados, como na figura 9.

Figura 9- Resíduos eletrônicos para sistema de alimentação na rede elétrica.

Fonte: O autor, 2024.

Para o sistema ligado na bateria foi utilizado uma bateria descartada de um sistema de alarme residencial e outra cedida pelo CEEP, como apresenta a figura 10.

Figura 10- Uma bateria descartada de sistema de alarme e uma nova.



Fonte: O autor, 2024.

A pastilha Peltier foi obtida na internet da loja “PHG Parts”, por conta de sua baixa quantidade no mercado de resíduos. A figura 11 apresenta as unidades.

Figura 11- Pastilhas *Peltier* TEC1-12706.

Fonte: O autor, 2024.

A caixa de isopor pode ser fabricada sem custo utilizando isopores descartados e cola, entretanto, essa aplicação afeta a capacidade de refrigeração,

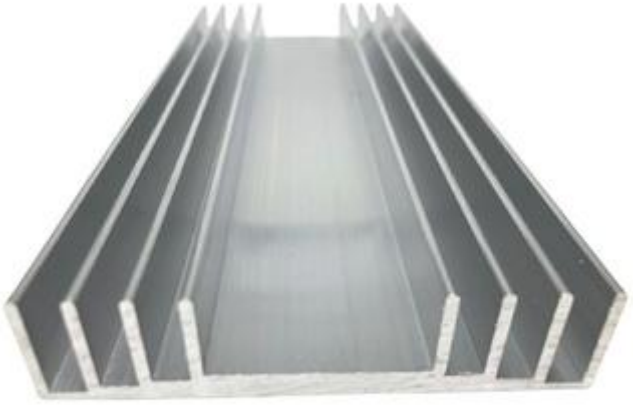
por isso foi obtida uma caixa de isopor nova para o estudo. A figura 12 demonstra a loja especializada que a caixa de isopor foi obtida.

Figura 12- Distribuidora de isopor.

Fonte: Google Maps, 2023.

O dissipador que fica na parte interna do refrigerador por conta de sua indisponibilidade no mercado de resíduos também foi obtido pela internet, na loja Dissipatec. A figura 13 apresenta detalhadamente sua estrutura.

Figura 13- Dissipadores de alumínio.



Fonte: Dissipatec, 2020.

Na figura 14 observa-se os materiais utilizados reunidos para construção do protótipo.

Figura 14- Materiais reunidos.

Fonte: O autor, 2024.

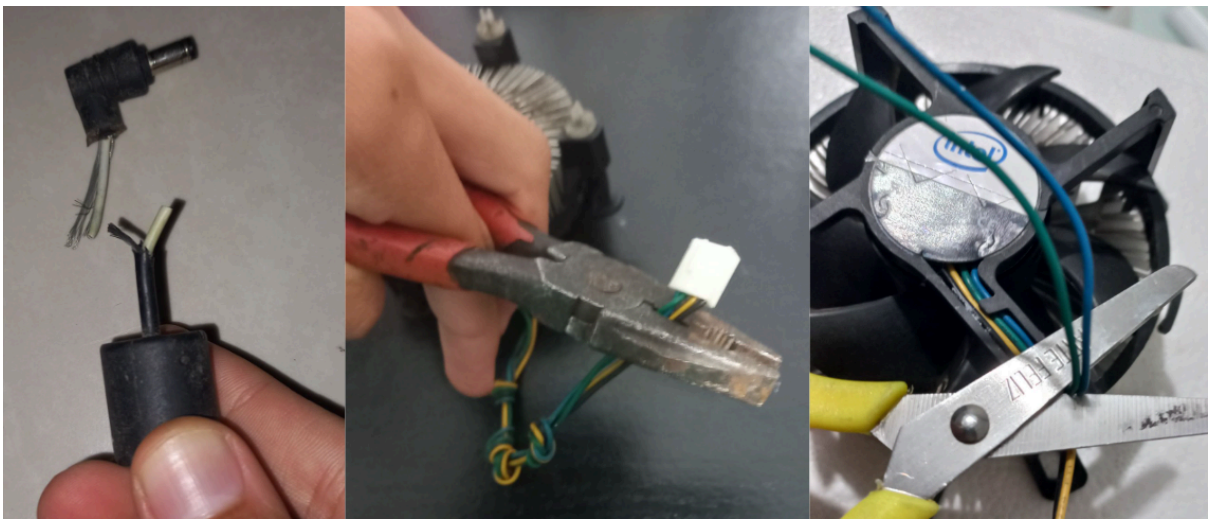
4.2. PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS

Inicialmente, os materiais recolhidos foram preparados para a montagem do protótipo. O processo incluiu a limpeza dos coolers e dissipadores com lenços umedecidos e toalha seca, para eliminar os resíduos de pasta térmica. Em seguida, os fios foram cortados e ajustados utilizando um estilete, tesoura e alicate, depois descartando partes que não seriam utilizadas.

Para a preparação da caixa térmica, as dimensões da tampa foram medidas com régua e marcadas com caneta. Foram realizados dois cortes de 8x5 cm para a inserção dos dissipadores e um corte na parte frontal para a passagem do fio do termômetro. Os materiais foram então organizados e testados para garantir seu funcionamento adequado antes da montagem final.

A Figura 15 apresenta os cortes realizados nos fios utilizando um estilete, tesoura e alicate, depois descartando partes que não seriam utilizadas.

Figura 15- Cortes dos fios.



Fonte: O autor, 2024.

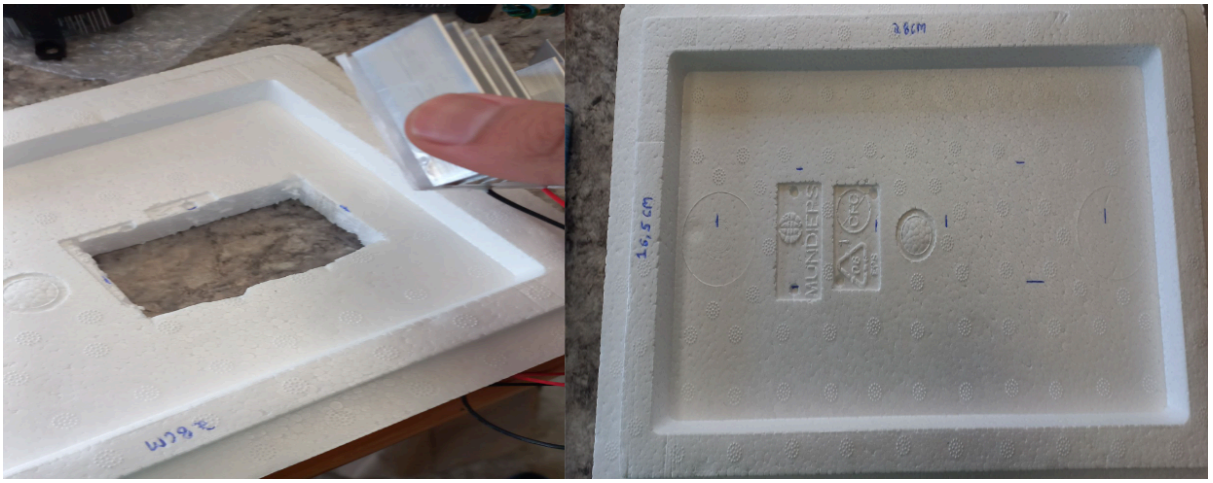
A figura 16 apresenta o teste dos coolers dissipadores, realizado para garantir o funcionamento em sincronia ligado à alimentação.

Figura 16- Teste de Cooler dissipador.

Fonte: O autor, 2024.

A figura 17 demonstra as marcações e o buraco aberto no isopor para inserir o dissipador e separar o lado externo do interno.

Figura 17- Cortes da caixa de isopor.



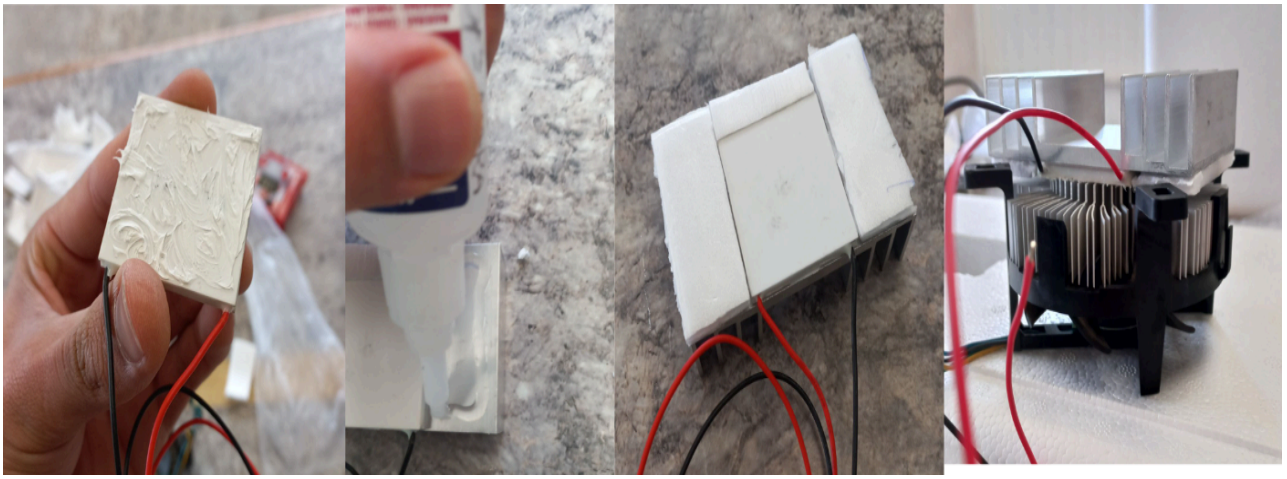
Fonte:O autor, 2024.

4.3. MONTAGEM DO REFRIGERADOR

Na montagem do refrigerador a pasta térmica foi aplicada entre o dissipador e o lado frio da pastilha Peltier, permitindo a eficiente transferência de calor e a supercola foi utilizada para fixar o dissipador de calor no interior da caixa de isopor e para colar o cooler dissipador no lado externo da pastilha.

Após a colagem dos componentes, o sistema de refrigeração foi posicionado nos espaços previamente cortados na caixa de isopor. O termômetro digital foi inserido no furo frontal, permitindo a medição da temperatura interna do refrigerador. A montagem final do protótipo foi completada com sucesso, como mostrado na Figura 18.

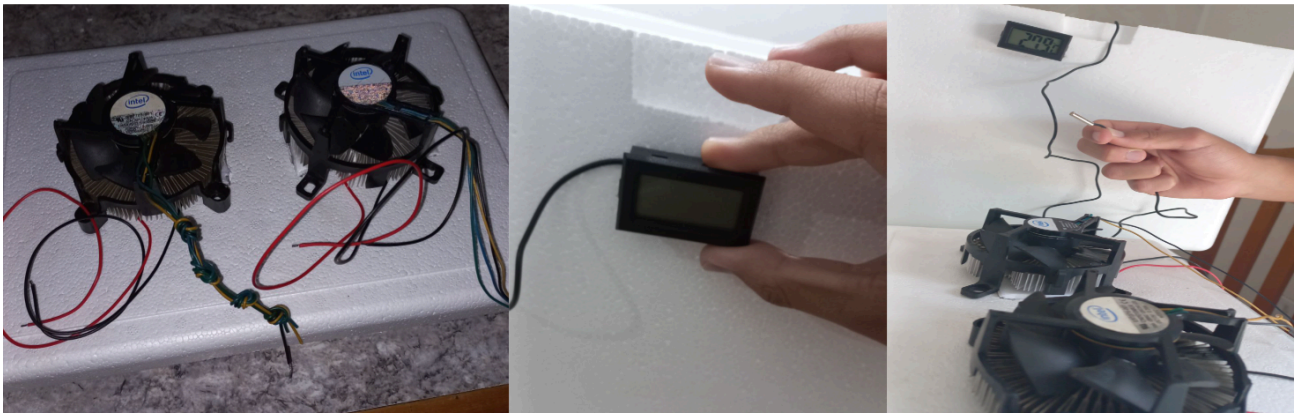
Figura 18- O refrigerador.



Fonte: O autor, 2024.

Nos espaços já definidos na caixa são encaixados sem a necessidade de parafuso o sistema de refrigeração e o termômetro, como transparece a Figura 19.

Figura 19- Junção das partes.

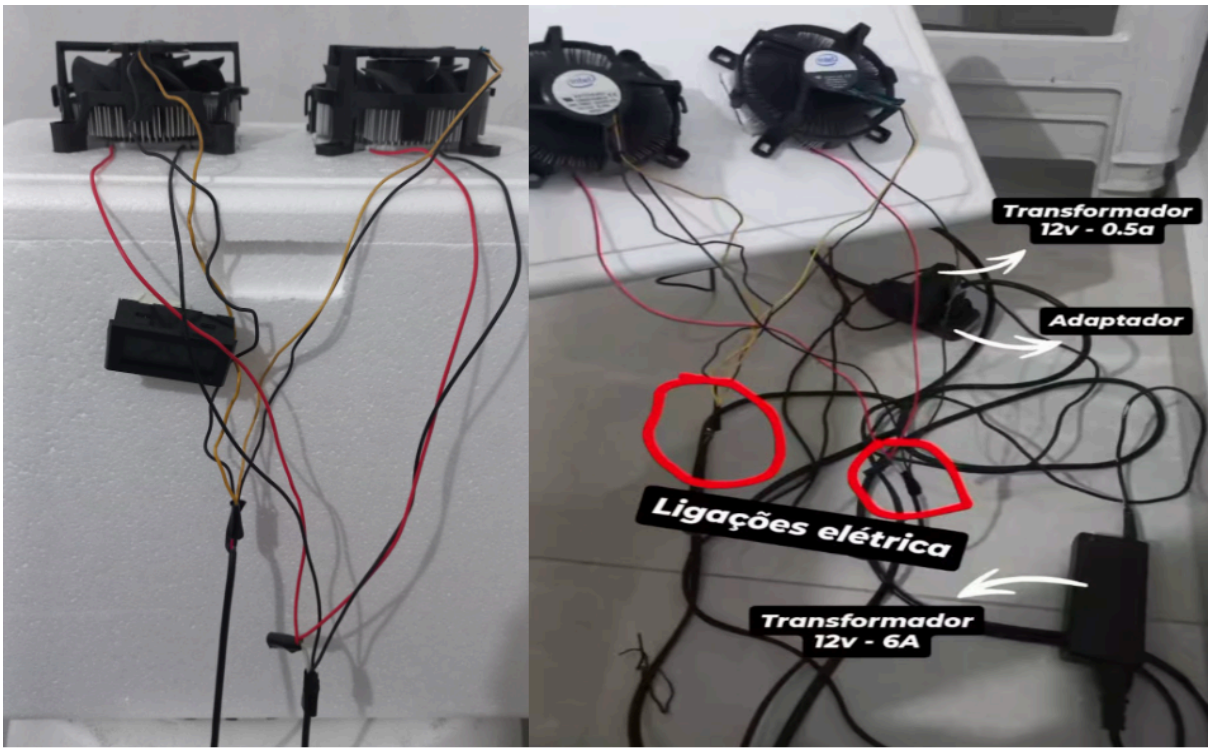


Fonte: O autor, 2024.

4.4. SISTEMA ELÉTRICO

Para o funcionamento do refrigerador, foi implementado um sistema elétrico que permitiu a ligação das pastilhas Peltier e dos coolers em série e paralelo, respectivamente. As pastilhas foram conectadas à fonte de alimentação de 12V e 6A, enquanto os coolers foram conectados em paralelo a uma fonte de 12V e 0.5A. A alimentação elétrica dos componentes foi ajustada conforme a necessidade da corrente de operação, expressado na Figura 20.

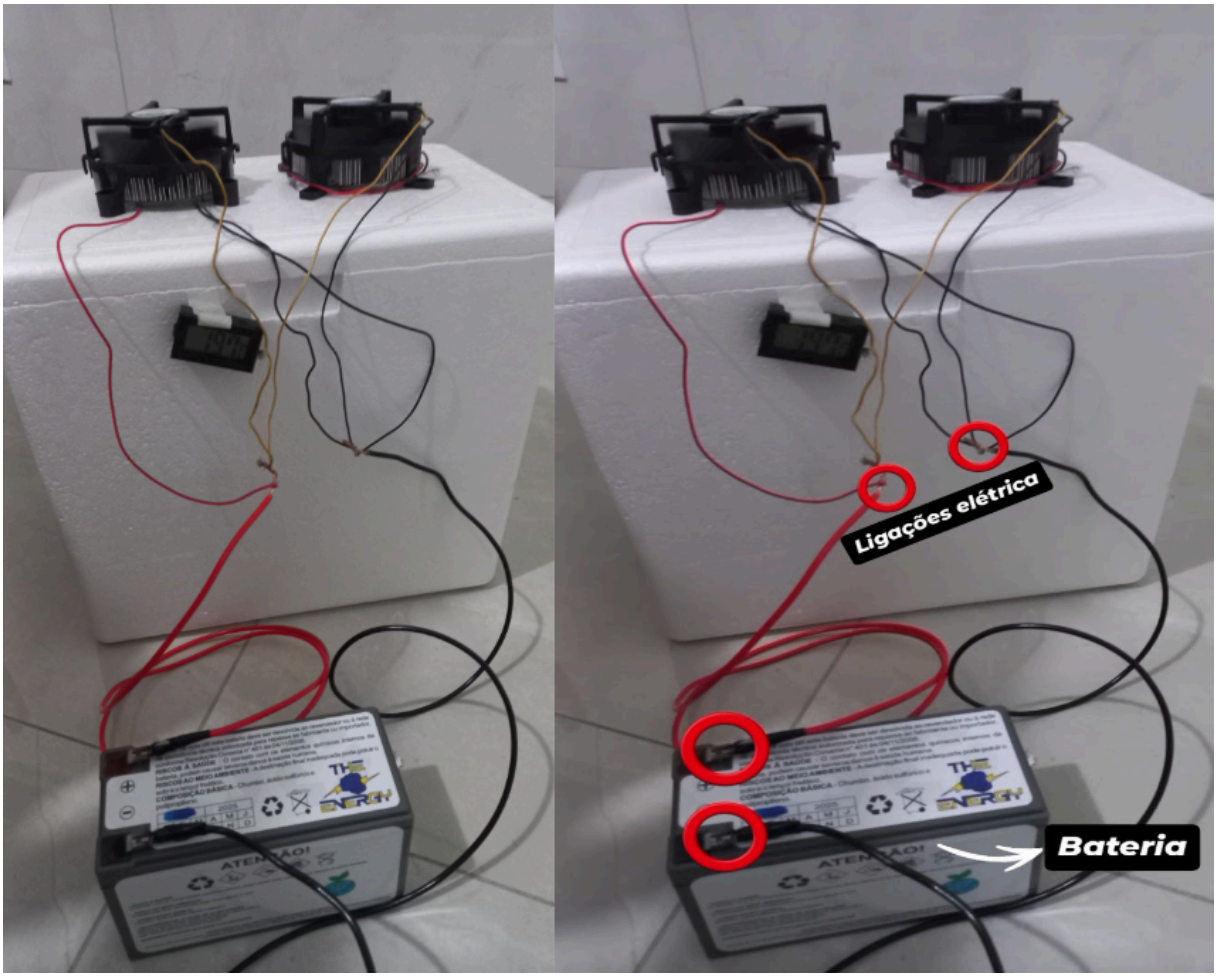
Figura 20- Ligação elétrica na rede.



Fonte: O autor, 2024.

No caso de uso da bateria como fonte de alimentação alternativa, o sistema foi configurado de maneira mista, com as pastilhas conectadas em série e os coolers conectados em paralelo, exposto na Figura 21.

Figura 21- Ligação elétrica na bateria.



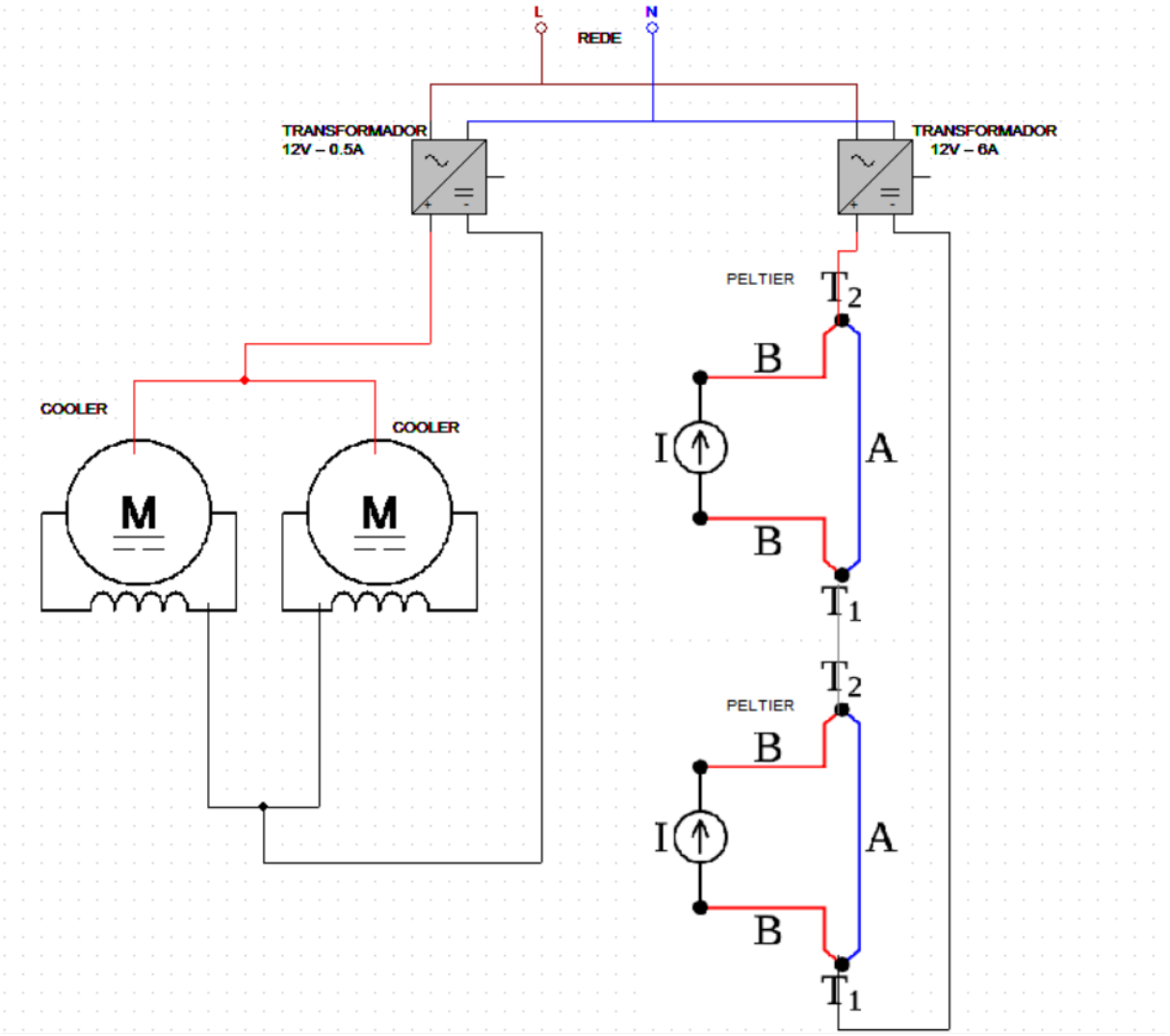
Fonte: O autor, 2024.

O protótipo foi submetido a testes de temperatura, monitorando a variação interna do refrigerador ao longo de três horas. As medições foram realizadas utilizando um termômetro digital, e os resultados foram registrados para posterior análise.

4.5. OPERAÇÃO DO SISTEMA

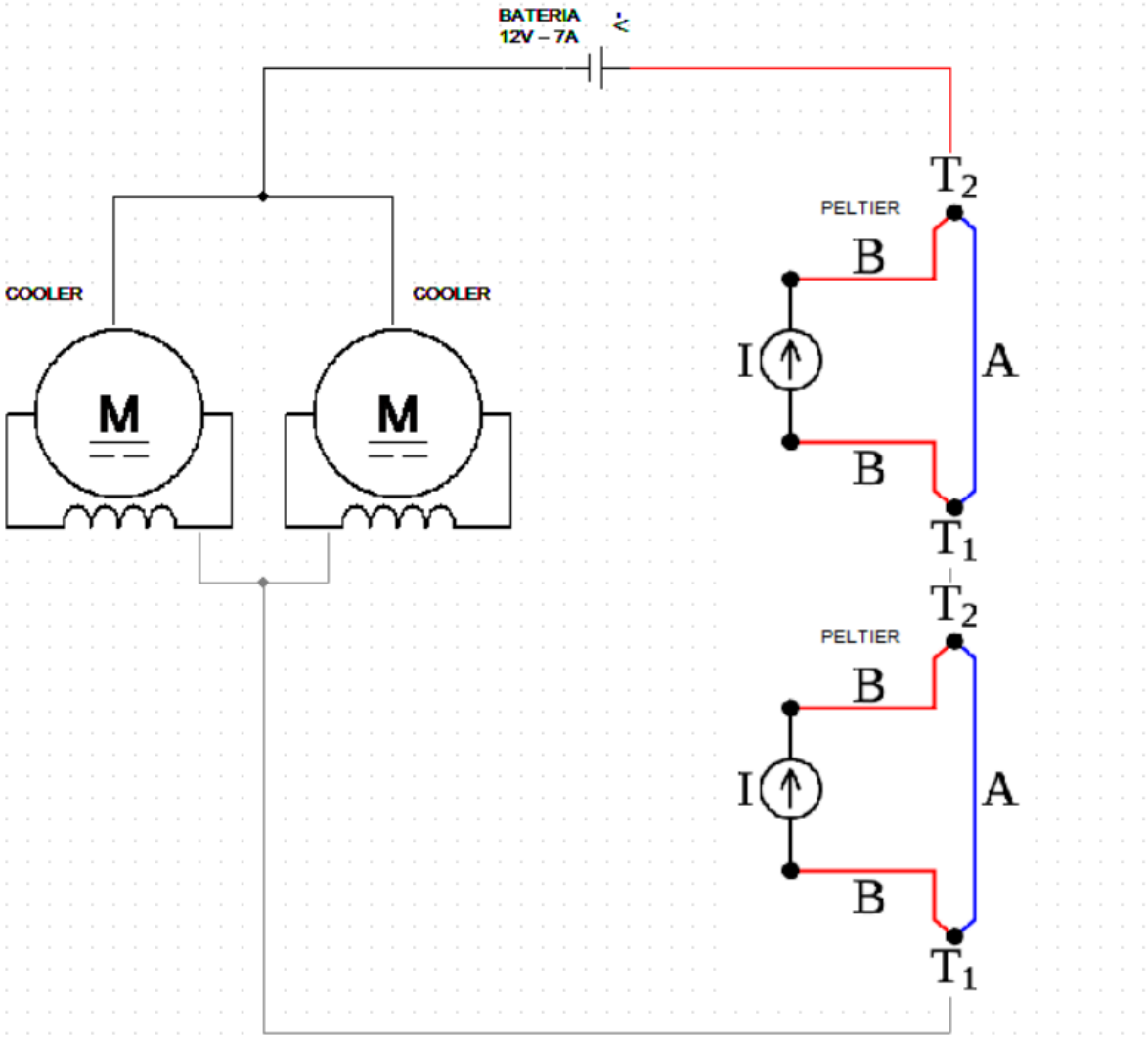
O diagrama elétrico desenvolvido no software Cade_Simu oferece uma visão clara das conexões elétricas do protótipo, facilitando a identificação de componentes e possíveis modificações futuras. O sistema demonstrou estabilidade nas medições de tensão e corrente, comprovando o correto funcionamento do circuito e a eficiência do protótipo, conforme revelado nas Figuras 22 e 23.

Figura 22- Diagrama elétrico de ligação na rede (Cade_Simu).



Fonte: O autor, 2024.

Figura 23- Diagrama para ligação elétrica na bateria (Cade_Simu).



Fonte: O autor, 2024.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante a implementação do protótipo de refrigeração *Peltier*, utilizando componentes provenientes de resíduos eletrônicos, foram analisados em termos de eficiência térmica e viabilidades do sistema. As medições foram realizadas em condições controladas, permitindo a avaliação precisa da capacidade de resfriamento do módulo.

5.1. ANÁLISES REFRIGERAÇÃO

Para compreender a eficiência do projeto foi realizado um teste de temperatura onde recipientes com líquidos foram submetidos ao sistema durante três horas na temperatura ambiente de 26.4°C. A tabela 3 compara a temperatura inicial do refrigerador e a temperatura final dentro do tempo pré estabelecido.

Tabela 3 - Comparação entre a temperatura inicial do refrigerador e a temperatura final após as três horas.

Objeto de teste	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)
Temperatura interna	25.3°C	14.4°C
Garrafa 500ml laranja	25.8°C	21.8°C
Garrafa 1L amarela	24.3°C	21.8°C
Garrafa 1L azul (gelada)	11.3°C	18.3°C
Lata 310ml (gelada)	16.8°C	19.1°C

Fonte: O autor, 2024.

Após a análise do experimento realizado pode-se afirmar que o refrigerador resfria até sua temperatura interna (14.4°C) os objetos que estava na temperatura ambiente e conserva baixa a temperatura de objetos inicialmente com a temperatura já inferior à capacidade do freezer. É importante ressaltar que, devido ao princípio da conservação térmica, o líquido ou recipiente posicionado na parte inferior do refrigerador será resfriado primeiro, em virtude de sua localização e das trocas de calor envolvidas. A Figura 24 apresenta os objetos colocados de teste.

Figura 24 - Teste de temperatura.

Fonte: O autor, 2024.

5.2. ANÁLISE POTENCIAL

A análise potencial permitiu a compreensão da capacidade elétrica do circuito. Os testes demonstraram que a eficiência potencial do sistema se manteve dentro dos parâmetros esperados. Com uma corrente de 6A, o cooler dissipador conseguiu esfriar corretamente o lado quente utilizando a corrente de 3.5A. Essa refrigeração foi considerada satisfatória, pois permite a longa utilização do efeito. A tabela 4 demonstra os resultados obtidos.

Tabela 4 - Resultados do teste de potência realizado com multimetro.

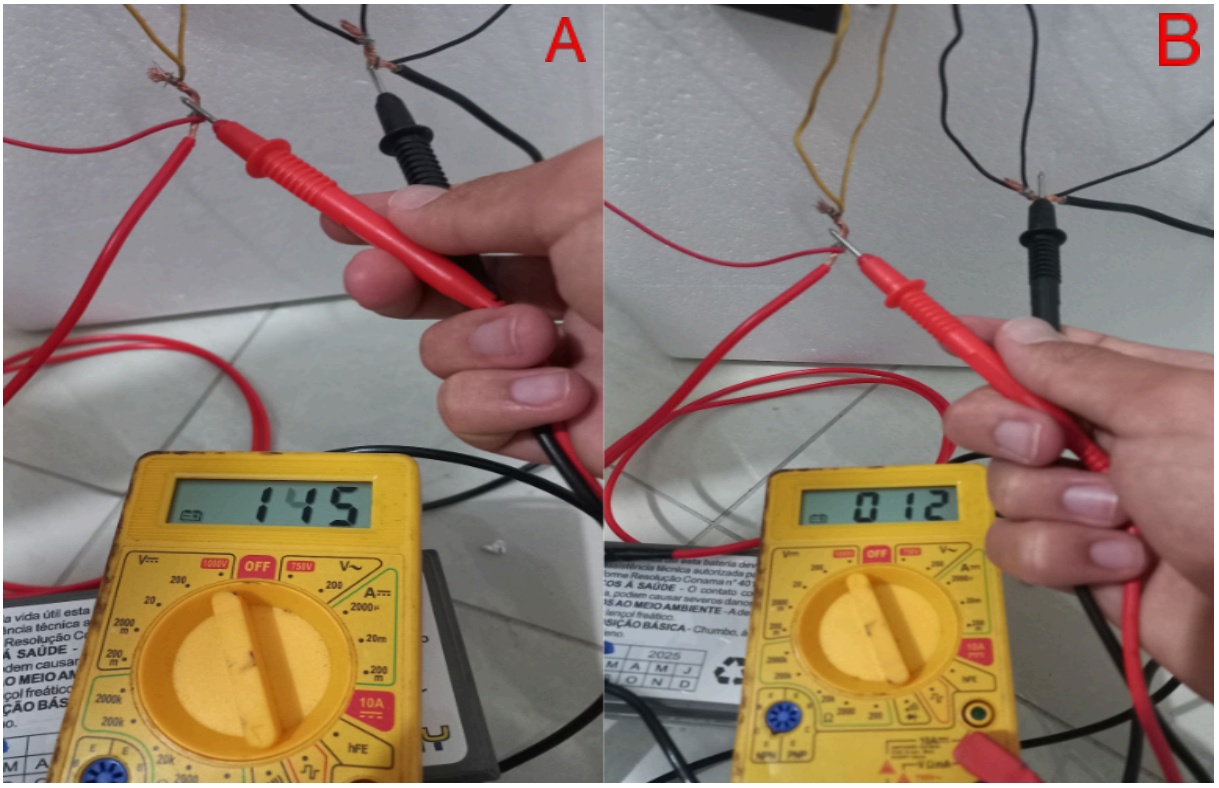
Alimentação	Tensão	Corrente	Continuidade
Bateria	12V–	6A	Apresentou alteração
Cooler bateira	6V–	3.5A	Apresentou alteração
Rede elétrica	Entrada: 127~ Saída: 12V–	6.5A	Apresentou alteração
Cooler rede elétrica	12V–	0.5A	Apresentou alteração

Fonte: O autor, 2024.

O teste de continuidade ao apresentar alteração revela que há um caminho elétrico contínuo dentro do circuito e componentes ligados a ele.

Também o teste demonstrou o correto funcionamento do refrigerador, o qual não apresentou instabilidade ou funcionalidade precária nas medições realizadas, conforme exemplificado na Figura 25.

Figura 25- Teste de continuidade (A) e tensão (B) com multímetro.



Fonte: O autor, 2024.

5.3. ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica revelou um resultado superavitário comparado a sistemas convencionais, como na Tabela 5 ostenta.

Tabela 5 – Comparação do valor gasto para a construção do protótipo a partir de material reciclado e valor estimado.

Material	Quantidade	Valor Gasto (R$)	Valor Estimado (R$)
Coolers dissipadores (Intel Nvidia e Foxconn)	2	30,00	60,00
Dissipadores de calor	2	14,10	14,10
Pastilhas *Peltier* (TEC1-12706)	2	50,00	50,00
Bateria 12V	1	0	70.00
Caixa térmica de isopor (12L)	1	15,00	15,00
Fonte de alimentação (12V, 6A)	1	0	40,00
Fonte de alimentação 12V, 250mA)	1	0	8,00
Fios e conectores	-	0	10,00
Termômetro digital	1	14,95	14,95
Pasta térmica	-	0	5,00
Isopor adicional	-	0	5,00
Ferramentas auxiliares (caneta, alicate, estilete, etc.)	-	0	30,00
Total Sistema rede		124,05	252,05
Total Sistema bateria		124,05	274,05

Fonte: O autor, 2024.

O investimento inicial no protótipo foi reduzido aproximadamente 50% em comparação a sistemas comerciais similares, uma vez que a maioria dos componentes utilizados foi recuperada de dispositivos eletrônicos descartados.

Esse aspecto econômico é fundamental para a viabilidade do projeto, conforme discutido na revisão de literatura, a utilização de materiais reciclados não

só diminui os custos, mas também contribui para a redução do impacto ambiental, reforçando a proposta de um modelo sustentável de refrigeração.

5.4. ANÁLISE AMBIENTAL

A implementação do sistema de refrigeração *Peltier* com componentes reciclados demonstrou um impacto ambiental positivo. A diminuição na quantidade de resíduos eletrônicos descartados, aliada à eficiência energética do sistema, resulta em uma abordagem mais sustentável para a refrigeração, conforme a revisão de literatura e a Tabela 6.

Tabela 6 - Ciclo de vida e reaproveitamentos dos materiais utilizados.

Componente	Origem	Destino comum	Reaproveitamento
Coolers dissipadores (Intel Nvidia e Foxconn)	Metais e plásticos	Aterros	Novos projetos ou dispositivos eletrônicos
Dissipadores de calor	Metais (alumínio ou cobre)	Lixo eletrônico	Novos projetos que requerem dissipação de calor
Pastilhas *Peltier* (TEC1-12706)	Semicondutores e metais	Aterros	Novos sistemas de refrigeração ou aquecimento
Bateria 12V	Minerais e metais (chumbo, lítio, etc.)	Descarte específico	Recondicionamento e reutilização (se recarregável e em boas condições)
Caixa térmica de isopor (12L)	Poliestireno do petróleo	Aterros	Armazenamento ou transporte de alimentos
Fonte de alimentação (12V, 6A)	Materiais eletrônicos e plásticos	Lixo eletrônico	Outros dispositivos elétricos (se em bom estado)
Fonte de alimentação 12V, 250mA)	Materiais eletrônicos e plásticos	Lixo eletrônico	Outros dispositivos elétricos (se em bom estado)
Fios e conectores	Cobre e plásticos	Lixo comum	Novos projetos (fios) e reutilização (conectores funcionais)
Termômetro digital	Materiais eletrônicos e plásticos	Aterros	Outros projetos que necessitem de medição de temperatura (se funcionando)
Pasta térmica	Ingredientes químicos	Lixo comum	Até o término em aplicações futuras
Ferramentas auxiliares	Metais e plástico	Lixo comum	Reutilização repetida (se em boas condições)

Fonte: O autor, 2024.

O estudo é um exemplo de como é possível integrar sustentabilidade e inovação tecnológica. Além de reduzir os custos de produção, essa prática contribui para a diminuição do e-lixo[10], promovendo a reutilização de materiais que, de outra forma, seriam descartados de maneira inadequada. Essa sinergia entre tecnologia e sustentabilidade não apenas promove a eficiência energética, mas também incentiva um modelo de desenvolvimento mais consciente e responsável, alinhado às necessidades da sociedade contemporânea (STOECKER, 2014; BOFF, 2015). O resultado estético final do protótipo é apresentado na figura 26.

Figura 26- Resultado estético final do protótipo.

Fonte: O autor, 2024.

[10] Lixo eletrônico.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo de campo indicam que a utilização de resíduos eletrônicos na construção de refrigeradores *Peltier* é uma abordagem promissora em termos de viabilidade econômica, potencial e de impacto ambiental positivo. O protótipo desenvolvido demonstrou uma eficiência compatível com sistemas convencionais, ao mesmo tempo que reduziu significativamente os custos através do reaproveitamento de componentes eletrônicos descartados, é revelado que a aplicação desta solução promove a sustentabilidade ao contribuir para a redução de resíduos eletrônicos e incentivar a economia. Também através do estudo é comprovado que a sustentabilidade pode ser aplicada em projetos elétricos uma vez que foi obtido inovação na gestão de recursos e minimização dos impactos ambientais. Entretanto, a indisponibilidade de materiais reciclados pode influenciar a aplicação, limitando o trabalho e a disponibilidade de recursos. Dessa forma, o estudo reforça a necessidade de pesquisas futuras para otimizar o desempenho dos módulos e ampliar suas aplicações em sistemas de refrigeração de baixo custo. Recomenda-se que este estudo sirva como um modelo para a construção de refrigeradores baseados nos princípios discutidos, aumentando a visibilidade do tema e otimizando o uso de recursos.

REFERÊNCIAS

ALLDATASHEET. **TEC1-12706.** Disponível em: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=TEC1-12706&sField=4. Acesso em: 01 out. 2024.

BATISTA, Carolina. **Tabela Periódica**. Toda Matéria, *[s.d.]*. Disponível em: https://www.todamateria.com.br/tabela-periodica/. Acesso em: 1 set. 2024.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é, o que não é.** 1. ed. [S.l.]: Editora Vozes, 2017. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Sustentabilidade_o_que_%C3%A9_o_que_n%C3%A3o_%C3%A9/px46DwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=0. Acesso em: 05 out. 2024.

DISSIPATEC**. Dissipador de calor alumínio 86cm largura x 20cm alt com 20cm**. Disponível em: https://www.dissipatec.com.br/MLB-1951134741-dissipador-calor-aluminio-862cm-largurax20cm-alt-com-20cm-_JM#position%3D1%26search_layout%3Dgrid%26type%3Ditem%26tracking_id%3D8d51853d-24f3-4176-b316-a3c4369a7bd7. Acesso em: 22 set. 2024.

FARIAS, Sandro Ricardo Alves. **Protótipo de microgerador termoelétrico**. 2009. 100 f. Trabalho apresentado à Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12904/1/Prot%c3%b3tipoMicrogeradorTermoel%c3%a9trico_Farias_2009.pdf. Acesso em: 04 out. 2024.

FASTER CAPITAL. **Sustentabilidade do protótipo: como tornar seu protótipo sustentável e ecologicamente correto.** Disponível em: https://fastercapital.com/pt/contente/Sustentabilidade-do-prototipo--como-tornar-seu-prototipo-sustentavel-e-ecologicamente-correto.html. Acesso em: 23 set. 2024.

ISOPOR PINHAIS. **Isopor Pinhais**. Google Street View, 2023. Disponível em: https://www.google.com/search?sca_esv=f28b3b0bae9cc4f2&sca_upv=1&q=isopor+pinhais&npsic=0&rflfq=1&rldoc=1&rllag=-25441508,-49169298,2105&tbm=lcl&sa=X&ved=2ahUKEwih9JOmmtiIAxVWvJUCHUjMBR0QtgN6BAgiEAE&biw=1536&bih=730&dpr=1.25#rlfi=hd:;si:;mv:[[-25.424148204993294,-49.11515883045303],[-25.469488947783272,-49.21094805719281]]. Acesso em: 23 set. 2024.

MACIEL, Álan Cavalcante. **Lixo eletrônico**. *Anais do ENIAC*, v. 1, n. 1, p. 1-4, jul. 2008. Disponível em: https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais/article/view/78. Acesso em: 03 out. 2024.

MARTINS, Júlia. Asana. **Estudo de viabilidade: recursos**. Disponível em: https://asana.com/pt/resources/feasibility-study. Acesso em 23 set 2024.

MISTERAMP, misteramp. **Pastilha Peltier. Você sabe o que é e como funciona? Peltier Module.** Youtube, 7 de nov. de 2021. Disponível em https://youtu.be/5_0j2OULdO8?si=m4eKi-zRSBXJMcTg. Acesso em 01 out. 2024.

MORAES, Thiago. **Implementação de protótipo de resfriador**. 2020. 50 f. Trabalho apresentado à Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14598/1/ImplementacaoPrototipoResfriador.pdf. Acesso em: 04 out. 2024.

MOURA, José Américo de Sousa. **Fiilmes Nanométricos De FeN e AlN Crescidos Por Sputtering e Aplicações Do Efeito *Peltier*.** (Doutorado em Física) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/16572/1/JoseASM_TESE.pdf. Acesso em: 16 set. 2024.

PEREIRA, Eduardo Vinicius. **Resíduos sólidos**. São Paulo: Senac São Paulo, 2019.

STOECKER, Wilbert F. **Refrigeração industrial.** São Paulo: Blucher, 2018. 530 p.

TDGI Brasil. **Teste elétrico: análise e diagnóstico**. Disponível em: https://tdgibrasil.com/teste-eletrico-analise-e-diagnostico/. Acesso em: 23 set. 2024.

THENÓRIO, Iberê. **Descobrimos como eletroeletrônicos são reciclados!**. Youtube, 10 de set. de 2024. Disponível em: https://youtu.be/zGA6YDzGCWo?si=Viz9ltNs-uhntigx. Acesso em 01 out. 2024.

TIEPPO, Clayton. **Como fazer uma geladeira caseira caixa de isopor que chega a 4°C (geladeira com *Peltier*)**. YouTube, 30 de mar. de 2023. Disponível em: https://youtu.be/-Ttr041vT7w?si=TrYfVojFk8ry357a. Acesso em: 16 set. 2024.

TJSC - Tribunal de Justiça de Santa Catarina. **Descarte de resíduos eletroeletrônicos.** Disponível em: https://www.tjsc.jus.br/web/gestao-socioambiental/descarte-de-residuos-eletroeletronicos#:~:text=S%C3%A3o%20considerados%20res%C3%ADduos%20eletroeletr%C3%B4nicos%20os,o%20lixo%20produzido%20pela%20humanidade. Acesso em: 23 set. 2024.

ONU. **Relatório Global sobre Resíduos Eletrônicos**. Organização das Nações Unidas, 2015. Disponível em: https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Pages/Global-E-Waste-Monitor-2015.aspx. Acesso em: 03 out. 2024.