UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

GUILHERME DA ROSA SAUL

MATHEUS CZARNOBAI TONON

MÓDULO TERMOELÉTRICO TIPO PELTIER MODIFICADO

Tubarão

2023

GUILHERME DA ROSA SAUL

MATHEUS CZARNOBAI TONON

MÓDULO TERMOELÉTRICO TIPO PELTIER MODIFICADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Nathanael Günter Prange, Esp.Eng.

Tubarão

2023

GUILHERME DA ROSA SAUL

MATHEUS CZARNOBAI TONON

MÓDULO TERMOELÉTRICO TIPO PELTIER MODIFICADO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 26 de junho de 2023.

_____

Nathanael Günter Prange, Esp.Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

_____

Matheus Rosendo Cesconeto, Esp.Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

_____

Rafael Polezi Lucas, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

RESUMO

Essa invenção consiste na melhoria e modificação de módulos termoelétricos tipo Peltier, visando aumentar seu desempenho para reduzir o consumo de energia e gerar temperaturas negativas e positivas, com menor carga de trabalho e menor emissão de poluentes. O atual sistema de refrigeração utiliza gases refrigerantes circulados por compressores de alto consumo energético. Além de causarem um impacto considerável ao meio ambiente, esses sistemas executam o resfriamento e o aquecimento com baixa eficiência, exigindo equipamentos de grande porte para compensar as perdas térmicas dos ambientes. Isso resulta na liberação de poluentes na atmosfera e na geração de resíduos em rios e mares. Essa iniciativa foi motivada pela escassez energética e busca oferecer um equipamento totalmente isento de gases poluentes e com baixo consumo energético. Espera-se que essa inovação reduza significativamente as contas de energia e a emissão de poluentes. Acredita-se que, em um futuro próximo, equipamentos como esse desenvolvido possam substituir os sistemas atuais que dependem de gases refrigerantes e são movidos por compressores elétricos ou a combustão. Esses novos equipamentos ocupam menos espaço, consomem menos energia e não prejudicam o meio ambiente.

Palavras chaves: Módulo termoelétrico. Peltier modificado. Resfriamento.

.

ABSTRACT

This invention consists of the improvement and modification of Peltier thermoelectric modules, increasing their performance for the reduction in energy consumption and generation of negative and positive temperatures, with less work load and reduction of pollutants. The current refrigeration systems use refrigerant gases circulated by high energy consumption compressors, which not only damage the environment considerably, but also perform low efficiency cooling and heating services, requiring large equipment to compensate the heat loss of the environments, thus releasing pollutants into the atmosphere and waste into rivers and seas. The initiative was generated from the energy shortage, for being an equipment totally free of pollutant gases and with low energy consumption, in which it will greatly reduce energy bills and the emission of pollutants. It is believed that in the near future, the current equipment that uses cooling gases, powered by electric or combustion compressors, can be replaced by equipment like the one developed, which occupies little space and consumes little energy, besides not harming the environment.

Keywords : Cooling. Modified Peltier. Thermoeletric module.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mudança climática observada na superfície terrestre e terra-oceano entre 1850 e 2018 10
Figura 2 - Representação esquemática do funcionamento de uma pastilha Peltier, mostrando a direção do calor e os pares de semicondutores tipo-P e tipo-N. 14
Figura 3 – Exemplos de possíveis arranjos de pastilhas Peltier com três estágios. 15
Figura 4 - Diferentes tipos de aletas 17
Figura 5 - Transferência de calor a partir de uma superfície quente para o fluido por condução e convecção. 19
Figura 6 – Pastilha Peltier modificada 28
Figura 7 – Protótipo sem isolamento térmico 31
Figura 8 – Placa Metálica com termostato 32
Figura 9 – Fonte CC 12V Pulsante 33
Figura 10 – Medidor de temperatura 33
Figura 11 – Medidor de temperatura 34
Figura 12 – Medidor de temperatura 34
Figura 13 – Medidor de temperatura 35
Figura 14 – Protótipo acoplado a cooler 13 litros 36
Figura 15 – Sistema acoplado a cooler portátil 36
Figura 16 – Medição de temperatura no interior do cooler 37
Figura 17 – Protótipo cervejeira 38
Figura 18 – Sistema termoelétrico acoplado a uma cervejeira 39
Figura 19 – Medidor de temperatura 40
Figura 20 – Display de controle de voltagem, amperagem, potência e consumo 40
Figura 21 – Interior da cervejeira com a formação de gelo 41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Participação do uso de aparelhos de ar-condicionado no consumo de Energia elétrica em alguns países no ano de 2016 e a previsão para 2050. 11

LISTA DE QUADROS

QUADRO1- RESULTADO DOS TESTES 42

SUMÁRIO

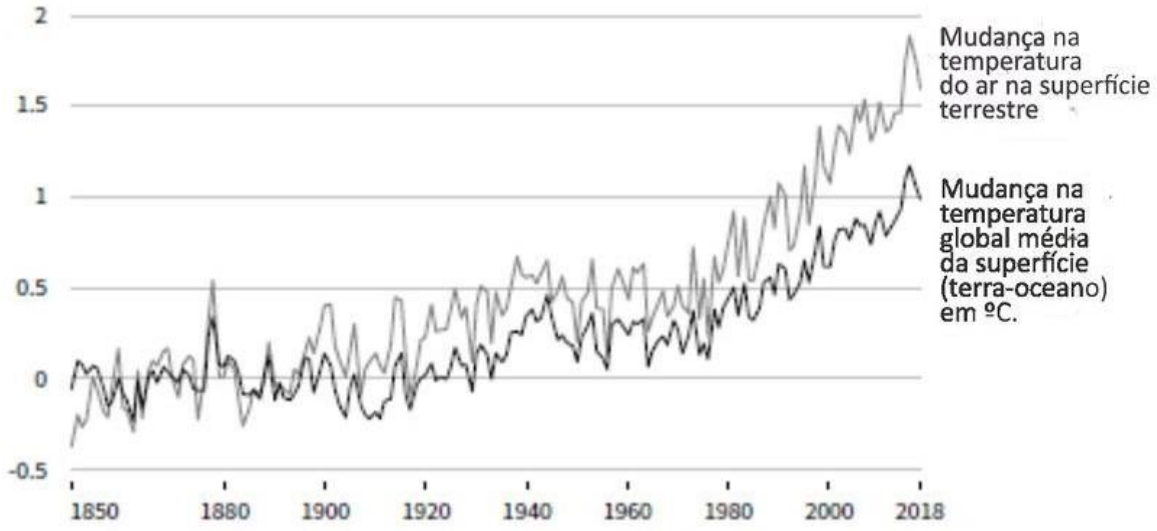
1 INTRODUÇÃO 10
1.1 PROBLEMA 12
1.2 OBJETIVOS 12
1.2.1 Objetivo Geral 12
1.2.2 Objetivos Específicos 12
1.3 JUSTIFICATIVA 13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO 13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 14
2.1 EFEITO PELTIER 14
2.2 RESFRIAMENTO DE AMBIENTES – HISTÓRIA 16
2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR 16
2.3.1 CONDUÇÃO 16
2.3.2 CONVECÇÃO 18
2.4 TRABALHOS COM EFEITO PELTIER 19
2.5 DISSIPADORES 21
2.5.1 Necessidade de Utilizar Dissipadores Eficientes: 21
2.5.2 Dissipadores de Alumínio: 22
2.5.3 Dissipadores de Cobre 23
2.5.4 Dissipadores de Calor de Torre 23
2.5.5 Dissipadores de Aletas 23
2.5.6 Dissipadores de Calor Líquido: 24
2.6 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MELHORES DISSIPADORES 24
3 METODOLOGIA 26
4 DESENVOLVIMENTO PRÁTICO 27
4.1 APERFEIÇOAMENTO 27
4.1 MELHORAMENTO 27
4.2 SEMICONDUTORES 27
4.3 ALIMENTAÇÃO 29
4.4 DISSIPADOR 29
4.5 APLICAÇÃO DE MERCADO 29
4.6 REIVINDICAÇÕES 29
4.7 UNIDADE EXPERIMENTAL 30

4.7.1 Potência dos módulos 30
4.7.2 Protótipo sem isolamento térmico com cooler 30
4.7.3 Protótipo sem isolamento térmico e sem cooler 35
4.7.4 Protótipo acoplado a um isolamento térmico de 25cm x 35cm (13 litros) 35
4.7.5 Protótipo acoplado a um isolamento térmico de 15cm x 13cm (5 litros) 37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 42
6 CONCLUSÃO 44
7 REFERÊNCIAS 45

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, as atividades humanas, especialmente aquelas ligadas à queima de combustíveis fósseis, têm lançado na atmosfera quantidades de dióxido de carbono e gases estufa suficientes para afetar a temperatura ambiente. Em 130 anos, a temperatura global aumentou aproximadamente 0,85ºC. As últimas três décadas foram mais quentes que qualquer década anterior desde 1850. Na Figura 1 nota-se a mudança na temperatura do ar na superfície terrestre e na temperatura global média da superfície até 2018 (WHO, 2018).

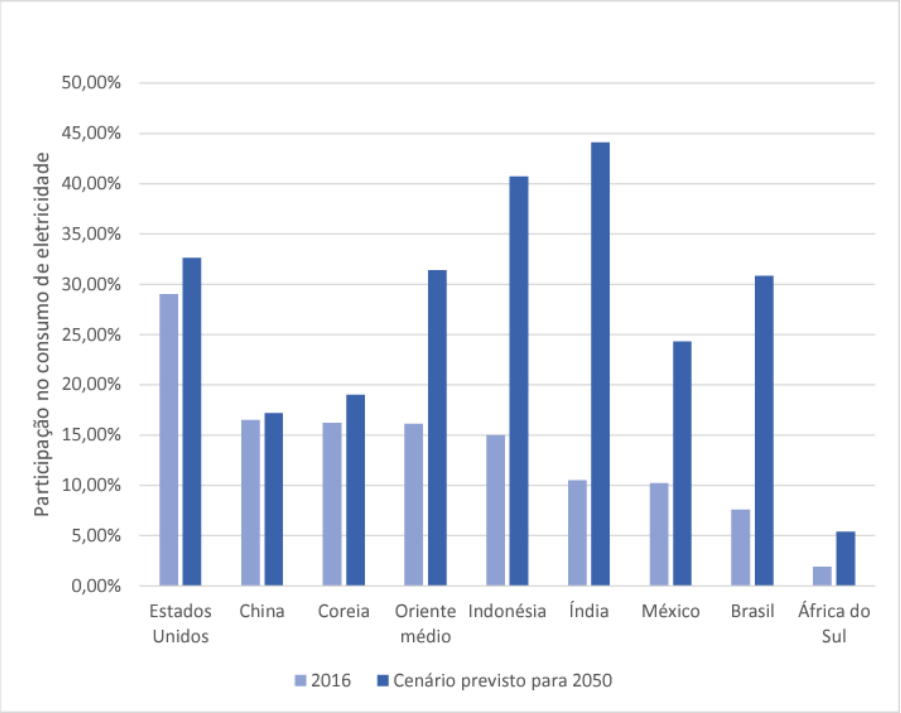
Figura 1- Mudança climática observada na superfície terrestre e terra-oceano entre 1850 e 2018



Fonte: IPCC, 2020.

Para que se tenha um conforto térmico nos ambientes, os sistemas de resfriamento do ar são utilizados. Em 2018, o uso de ar-condicionado e ventiladores foram responsáveis por quase 20% do uso total de eletricidade no mundo todo. Nas próximas três décadas seu uso tende a disparar, tornando-se uma das principais demandas de energia elétrica, principalmente em países com climas mais quentes (IEA, 2018). No gráfico 1 apresenta-se a participação do uso de ar-condicionado no sistema elétrico em determinados países em 2016 e o cenário previsto para 2050.

Gráfico 1 – Participação do uso de aparelhos de ar-condicionado no consumo de Energia elétrica em alguns países no ano de 2016 e a previsão para 2050.



Fonte: IEA, 2018.

Se por um lado a demanda crescente por resfriamento do ar se faz necessária, por outro, a utilização de aparelhos condicionadores de ar agrava o aquecimento global por causa das emissões de hidrofluorocarbonetos (HFCs). Os HFCs foram criados como alternativa para substituir os clorofluorcarbonetos (CFCs), que destroem a camada de ozônio; porém, os HFCs são gases que potencializam o efeito estufa (UNEP; IEA,2020).

Este trabalho propõe um modelo de resfriamento do ar no interior de ambientes utilizando o efeito Peltier, que utiliza semicondutores diferentes para gerar uma diferença de temperatura em um sistema, quando submetido a uma corrente elétrica. Foi feito um protótipo sustentável a partir do melhoramento na eficiência de um módulo Peltier, já colocando em prática alterações na disposição e nas ligas metálicas dos semicondutores, disposição diferenciada de cada bloco semicondutor, alteração na gramatura das placas isoladoras e sua alimentação com fontes especiais, além de ser um módulo que não libera gases poluentes ao meio ambiente. O protótipo foi construído utilizando-se princípios térmicos de condução e convecção de calor.

A partir de tais alterações, foi constatado que o sistema poderia ser utilizado como módulo termoelétrico modificado e que estes módulos poderiam ser utilizados em sistemas de refrigeração; como geladeiras, freezers, ar-condicionado, ultrassons, refrigeração industrial,

residencial e principalmente equalizadores de ambiente que precisam de temperaturas fixas sem variáveis.

1.1 PROBLEMA

A partir de alguns estudos realizados em aparelhos eletrônicos que necessitam de resfriamento em suas fontes de alimentação, como um aparelho de ultrassom - em que o equipamento deve permanecer em uma temperatura adequada para garantir o correto funcionamento – constatou-se a ineficiência do sistema tradicional de refrigeração.

Fatores que acarretam diversos problemas no que diz respeito à manutenção excessiva dos equipamentos, pois estas fontes ainda trabalham na temperatura limite, trazendo instabilidade para o equipamento e travamento do software. Por conta desta situação e na eminente necessidade de diminuir o fluxo de preventivos técnicos dos equipamentos, foram adaptados periféricos e feitas as modificações para melhorar um sistema de refrigeração a partir de células Peltier.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é promover o resfriamento de equipamentos e ambientes utilizando de placas Peltier.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o melhoramento da pastilha Peltier, a utilização dos semicondutores, sua alimentação e aplicação de mercado;
- Realizar uma revisão sobre os princípios de dissipação de calor e os diferentes tipos de dissipadores disponíveis no mercado e identificar os melhores dissipadores para o sistema de resfriamento;
- Definir as potências e as áreas de trabalho para resfriar ambientes de diferentes tamanhos;
- Montar a unidade experimental com diferentes áreas;

- Medir a queda de temperatura nos ambientes de teste em relação ao tempo de operação do sistema de resfriamento;
- Investigar o impacto do uso de coolers (ventiladores) na eficiência do resfriamento, comparando a temperatura alcançada nos ambientes de teste com e sem o uso de coolers.

1.3 JUSTIFICATIVA

Não é de hoje que a humanidade busca desenfreadamente por inovações no mercado com equipamentos de refrigeração com menos poluentes, baixo consumo de energia e principalmente com preço acessível. Este trabalho visa uma modificação em uma alternativa não poluente para o resfriamento de ambientes e equipamentos.

Esta modificação tem a capacidade de revolucionar o atual sistema de resfriamento de ambientes, utilizando-se de energia limpa, com menos consumo energético e também sem utilização de gases refrigerantes.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho divide-se em 5 capítulos, dos quais:

Capitulo 1: Apresenta-se a introdução, justificativa, definição do problema, objetivo geral e específicos, e por fim, a estrutura do trabalho; ou seja, como o trabalho foi disposto.

Capítulo 2: Destinado ao referencial teórico do trabalho.

Capítulo 3: Metodologia

Capitulo 4: Projeto e desenvolvimento da bancada. Com base no referencial teórico são desenvolvidos os testes e modificações na estrutura do módulo Peltier, com objetivo de comparar sua melhora na eficiência.

Capítulo 5: Destinado à conclusão do trabalho.

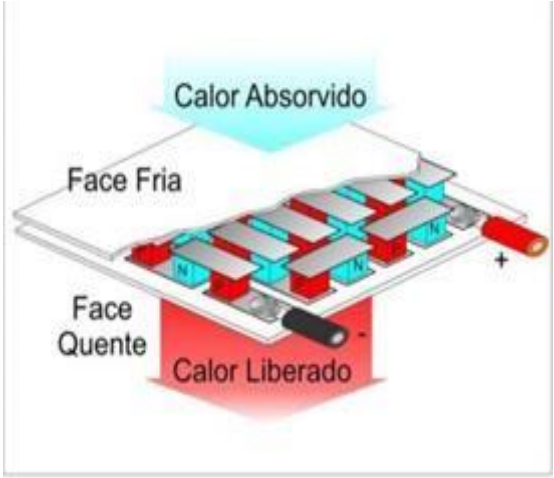
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EFEITO PELTIER

Historicamente, os efeitos Peltier e Seebeck foram ambos descobertos no começo do século passado (MACDONALD, 2006). Em 1821, Seebeck fez circular uma corrente elétrica direta em um circuito fechado, formado por dois semicondutores metálicos diferentes, ao submeter suas junções a temperaturas diferentes. Em 1834, Peltier descobriu o efeito inverso ao efeito Seebeck, ou seja, uma corrente elétrica direta passou em um circuito formado por semicondutores diferentes, o que fez surgir em suas junções uma diferença de temperatura (SANTOS, 2016).

Uma pastilha de Peltier consiste em duas camadas de cerâmica, que representam os lados quente e frio, e dois semicondutores diferentes, tipo-P e tipo-N, conectados em série (KADHIM; ABBAS; KADHIM, 2020). Quando a corrente elétrica passa pelos pares dos elementos semicondutores, o calor é absorvido pelo ambiente e há uma redução na temperatura em um dos lados (“lado frio”) e um aumento no outro (“lado quente”), onde o calor é liberado (RUFINO, 2016). Na Figura 2 representa-se uma pastilha Peltier.

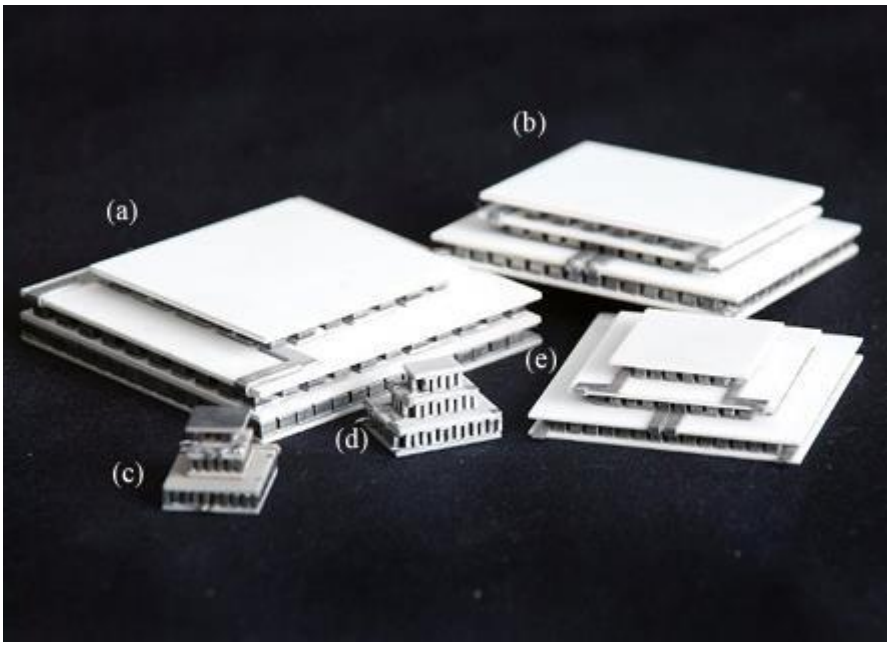
Figura 2 - Representação esquemática do funcionamento de uma pastilha Peltier, mostrando a direção do calor e os pares de semicondutores tipo-P e tipo-N.



Fonte: Moura, 2010.

As pastilhas podem ser encontradas no comércio em diversos tamanhos, desde 0,6 cm até 5x5 cm², e podem ser utilizadas em diversas montagens: sozinhas, agrupadas em série, paralelo ou em uma combinação destes (MOURA,2010). Na figura 4 pode-se observar exemplos dos agrupamentos das pastilhas.

Figura 3 – Exemplos de possíveis arranjos de pastilhas Peltier com três estágios.



Fonte: Artic TEC, 2011.

Conforme observado na figura 3, as duas partes inferiores, ou seja, as duas pastilhas da base, possuem o mesmo tamanho, enquanto a parte superior é menor. Em (b) e em (c), a superfície inferior é maior que as duas superiores, que tem o mesmo tamanho, sendo que as pastilhas (b) têm maiores dimensões que as pastilhas (c). Em (d) e (e) as pastilhas dos três estágios possuem tamanhos diferentes, diminuindo do inferior ao superior. Em (d) as pastilhas têm menores dimensões que em (e).

Cada pastilha no mercado tem suas especificações máximas, como o limite de quanto calor pode transferir (Q_{max}), a corrente associada a esse calor (I_{max})e a voltagem correspondente (V_{max}). Quando o sistema for completamente isolado e a corrente estiver passando, produzirá uma diferença de temperatura máxima entre os lados quente e frio (DT_{max}) (Danvic, 2020).

Uma vantagem de se utilizar as pastilhas Peltier é que mudando a direção da corrente, o lado frio esquenta e, consequentemente, o lado quente esfria, facilitando a reversão das temperaturas sem desmontar todo o sistema, caso seja necessário. Além disso, o resfriamento é feito silenciosamente e as pastilhas têm vida útil indefinida, desde que os limites de temperatura do lado quente sejam mantidos. Um possível problema que pode ocorrer é que se o calor do lado quente não for bem dissipado e alcançar uma temperatura de 100ºC, a pastilha derreterá (RICHMOND, 2014).

2.2 RESFRIAMENTO DE AMBIENTES – HISTÓRIA

O resfriamento de ambientes para fins de conforto térmico é o condicionamento do ar do meio, através do controle da temperatura, umidade, pureza e distribuição (BUENO, 2007). Um sistema de condicionamento de ar para conforto é uma estrutura que fornece um ambiente agradável durante todo o ano, tanto no verão quanto no inverno (JONES, 2001).

O primeiro registro da tentativa de produzir refrigeração foi em 1748 por William Cullen da Universidade de Glasgow. Ele criou um vácuo parcial sobre um recipiente contendo éter etílico, mas não obteve sucesso na prática (ARORA, 2006). Após vários anos tentando fazer uma máquina de compressão que controlasse a temperatura ambiente, Willis Carrier, em 1902, criou um sistema de controle de temperatura e umidade por spray para uma empresa de impressão em Brooklyn, Nova York. Porém, ele também não obteve sucesso, já que o spray deixava no ar partículas que o contaminavam. (NAGENGAST, 2002). Então, em 1906, Cramer inventou o termo “ar condicionado” ao criar uma máquina para controlar a umidade das indústrias têxteis. Sua máquina consistia em um termômetro de bulbo seco e um de bulbo úmido conectados eletricamente, de modo manter uma diferença de temperatura constante entre eles. O termômetro de bulbo úmido era mantido submerso em um reservatório de água, mantendo-o sempre a uma temperatura abaixo da mostrada no termômetro de bulbo seco. (COOPER,2002).

Tal máquina foi a base para o desenvolvimento dos aparelhos utilizados na atualidade.

Para melhor compreensão deste trabalho, apresenta-se a seguir uma breve revisão a respeito dos fenômenos de transporte de calor envolvidos no processo.

2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor se dá de três formas: condução, convecção e radiação. Nas três formas, ocorre o deslocamento do calor do meio de maior temperatura para o de menor temperatura, porém cada transporte acontece de uma maneira. As maneiras relevantes para este trabalho estão discutidas nesta seção.

2.3.1 CONDUÇÃO

A condução é definida como a transferência de energia das partículas mais energéticas, de um meio sólido ou fluido, para as menos energéticas, devido às interações entre partículas.

A quantidade de energia está associada à temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura, mais energética é a partícula (INCROPERA et al., 2008).

A equação que determina o fluxo com que ocorre essa transferência de energia foi primeiramente apresentada por Fourier em 1822. A forma geral da Lei de Fourier em termos da taxa, conforme a equação (1):

$$\frac{q}{A} = -k\nabla T \tag{1}$$

Onde:

∇ - Gradiente de temperatura;

q → quantidade de calor;

A → área da secção transversal;

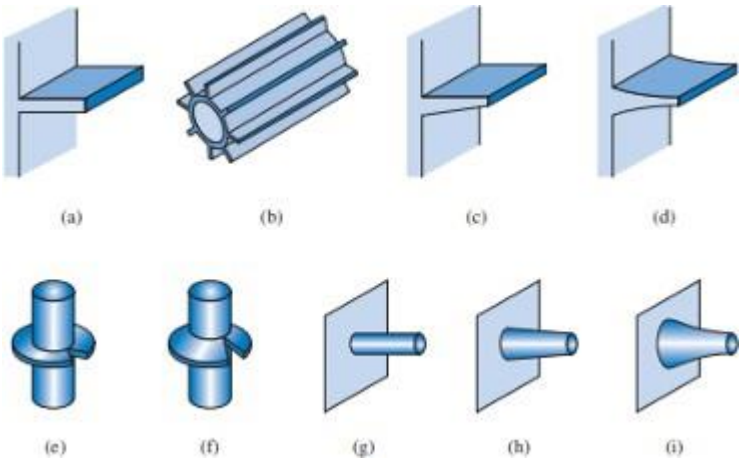
k → condutividade térmica;

T → temperatura.

Neste caso, a condutividade térmica (k) não depende da direção do transporte de energia, ou seja, é expressa para meios isotrópicos. Esta propriedade é uma função da temperatura, variando com a pressão apenas em casos de gases submetidos a altas pressões (WELTY et al., 2008).

Uma aplicação muito usual de condução de calor unidimensional é o uso de aletas. Com elas, é possível aumentar a transferência de calor entre uma superfície e o fluido de contato, aumentando a área de contato com este. As aletas podem vir em várias formas, como mostrado na Figura 4 (WELTY et al., 2008).

Figura 4 - Diferentes tipos de aletas



Fonte: KREITH; MANGLIK; BOHN, 2011.

Onde: (a) longitudinal de perfil retangular; (b) tubo cilíndrico com aletas de perfil retangular; (c) longitudinal com perfil trapezoidal; (d) longitudinal com perfil parabólico; (e) tubo cilíndrico com aleta radial de perfil retangular; (f) tubo cilíndrico com aleta radial de perfil cônico truncado; (g) pino cilíndrico; (h) saliência cônica truncada; (i) saliência parabólica.

Para casos em que a temperatura varia com o tempo, é possível determinar o fluxo de calor em um certo ponto da região desejada naquele tempo, utilizando a Lei de Fourier combinada com a Equação da Difusão de Calor. Para isso, é preciso especificar as condições de contorno e iniciais do problema desejado (INCROPERA et al., 2008).

2.3.2 CONVECÇÃO

A transferência de calor por convecção envolve tanto a condução de calor quanto o movimento do fluido. Quanto maior a velocidade de movimento do fluido, maior a transferência de energia térmica das partículas quentes para as frias. Somente líquidos e gases transferem calor por convecção, já que as moléculas das superfícies sólidas estão sempre em posições fixas, transferindo a energia apenas por condução. A taxa de transferência de calor por convecção é expressa pela lei do resfriamento de Newton, de acordo com a equação (2):

$$q = hA(T_S - T_\infty) \tag{2}$$

Onde:

h= Coeficiente convectivo de transferência de calor;

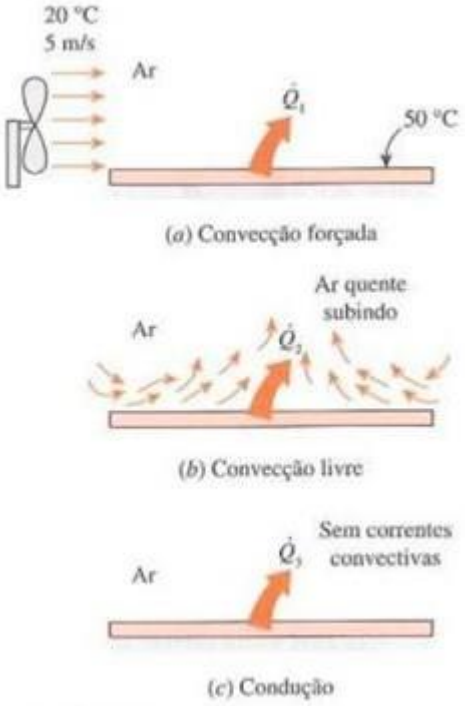
A= Área de contato sólido/fluido;

T_S = Temperatura da superfície sólida;

T_∞ = Temperatura bulk do fluido.

A convecção pode ser natural, quando é provocada por um gradiente de densidade, ou forçada, quando existe uma diferença de pressão gerada por movimento mecânico. Nas duas formas de convecção, o calor é transferido no fluido da mesma maneira, porém a intensidade do movimento de mistura dos fluidos é menor na convecção natural do que na convecção forçada (KREITH; BOHN, 2003). Na figura 5 apresenta-se a transferência de calor por condução, convecção natural e convecção forçada.

Figura 5 - Transferência de calor a partir de uma superfície quente para o fluido por condução e convecção.



Fonte: ÇENGEL; GHAJAR, 2011

A convecção forçada é ditada pela distribuição de temperatura e pelo movimento do fluido, causado por uma diferença de pressão. Este tipo de convecção é mais comumente observado em aplicações industriais (BÖCKH; WETZEL, 2012).

A transferência de calor por convecção está ligada com o comportamento dos fluidos em repouso ou em movimento e de suas interações com outros fluidos ou sólidos ao redor. Uma forma de classificar o escoamento dos fluidos durante a convecção é observando se ele é liso e ordenado, chamado de laminar, ou altamente desordenado, normalmente em altas velocidades, conhecido como turbulento. O escoamento laminar geralmente ocorre em fluidos de alta viscosidade e baixas velocidades, enquanto o turbulento é o oposto. Conhecer o tipo de escoamento é importante para escolher corretamente o mecanismo que será utilizado para forçar a convecção (ÇENGEL; GHAJAR, 2011).

2.4 TRABALHOS COM EFEITO PELTIER

Há alguns trabalhos utilizando o efeito Peltier. Em 1998, Pascal-Delannoy e colaboradores fizeram um sensor de umidade usando um sinal óptico de um fotodetector de taxa pulsada, que identificava a condensação da água no lado frio de uma pastilha Peltier. Assim

que o sensor capturava uma gota de água, ele desligava e um pulso reverso era aplicado para que a temperatura se tornasse ambiente novamente. O tempo de resposta era então anotado.

Astrain e colaboradores (2005) desenvolveram um modelo computacional para refrigeradores baseado na aplicação do efeito Peltier. Este simulava o desempenho elétrico e térmico de refrigeradores termoelétricos. O modelo resolvia o sistema não-linear de equações termoelétricas e de condução de calor, fornecendo valores de temperatura, consumo elétrico, fluxo de calor e o coeficiente de performance do refrigerador. Para resolver o sistema, utiliza-se o método das diferenças finitas e expressões semiempíricas para coeficientes de convecção.

Moreira e colaboradores (2014) tentaram construir um condicionador de ar por efeito Peltier. Para sua construção foram utilizadas quatro pastilhas Peltier, porém estas entraram em superaquecimento e quebraram, não sendo possível condicionar o ambiente.

Saledecek (2018) desenvolveu um aparelho para aplicações médicas, como tratamento de inchaços ou inflamações (para reduzir o inchaço e a dor), com uma pastilha Peltier. A base do aparelho continha um tanque de água fria, um resfriador de água com coolers, uma bomba de água e a fonte de energia. O lado frio era conectado à cabeça de alumínio do aparelho e o lado quente ao resfriador de água. O sensor de temperatura era localizado na interface da superfície fria. O aparelho ainda tinha um sistema de controle que reduzia a intensidade do resfriamento por modulação de largura de pulso quando chegava à temperatura desejada.

Dizaji e colaboradores (2019) fizeram uma análise da energia para resfriadores de ar termoelétricos. Os efeitos de fluxo e parâmetros termodinâmicos, incluindo fluxo de ar, temperatura do ar na entrada, fluxo de água, temperatura da água na entrada, voltagem e corrente nas características energéticas foram estudadas. Construiu-se um protótipo de resfriador de ar termoelétrico para analisar a performance energética que utilizava seis pastilhas Peltier. O lado frio das pastilhas estava em contato com um tubo retangular que tinha uma bomba soprando ar por uma extremidade. O lado quente das pastilhas estava conectado a um outro tubo retangular com uma bomba de água na extremidade oposta ao soprador de ar. Foi concluído que um incremento no fluxo de ar melhorava a performance energética,

Kadhim e colaboradores coletor de água (2020) realizaram um estudo experimental de um coletor de água atmosférica usando efeito Peltier. O protótipo tinha uma pastilha Peltier ligada à energia solar. O lado frio da pastilha Peltier estava conectado a um cone de alumínio que era resfriado até a temperatura abaixo do ponto de orvalho do ar ambiente. As gotas de água geradas no cone escorriam até um recipiente que recolhia a água condensada. Conectado ao lado quente da pastilha havia um tanque de alumínio, com um cooler na extremidade de cima, e uma corrente de ar frio passava no tanque. Todo o sistema ficava dentro de um duto de PVC

para ser isolado. Concluiu-se então que o sistema para coleta de água foi adequado ao método utilizado.

2.5 DISSIPADORES

A dissipação de calor é um aspecto crítico no funcionamento adequado de sistemas eletrônicos. À medida que os componentes eletrônicos operam, eles geram calor como resultado das correntes elétricas e das perdas de energia. Esse acúmulo de calor pode levar ao aumento da temperatura dos componentes, o que pode ter consequências prejudiciais para o desempenho e a vida útil dos dispositivos eletrônicos.

Importância da Dissipação de Calor em Sistemas Eletrônicos:

- Desempenho do dispositivo: O calor excessivo pode afetar negativamente o desempenho dos dispositivos eletrônicos. O aumento da temperatura pode levar à diminuição da velocidade de operação dos componentes, reduzindo a capacidade de processamento, a eficiência energética e a estabilidade dos sistemas eletrônicos.
- Confiabilidade e vida útil: O calor excessivo é uma das principais causas de falhas prematuras em componentes eletrônicos. O estresse térmico contínuo pode levar a danos nos materiais, desgaste acelerado, expansão térmica diferencial e outros problemas que diminuem a confiabilidade e a vida útil dos dispositivos.
- Segurança: A temperatura excessiva em dispositivos eletrônicos pode representar um risco para a segurança. Em casos extremos, o calor acumulado pode levar a falhas catastróficas, como curtos-circuitos, incêndios e até explosões (Taler, D. 2016)

2.5.1 Necessidade de Utilizar Dissipadores Eficientes:

Para manter a temperatura adequada e garantir o desempenho e a confiabilidade dos sistemas eletrônicos, é essencial utilizar dissipadores de calor eficientes. Os dissipadores de calor são dispositivos projetados para remover o calor gerado pelos componentes eletrônicos, transferindo-o para o ambiente circundante. A escolha de um dissipador de calor adequado é crucial para lidar com as demandas térmicas específicas de cada sistema.

Os dissipadores eficientes apresentam as seguintes vantagens:

- Aumento da capacidade de resfriamento: Os dissipadores de calor eficientes têm a capacidade de dissipar calor de forma mais eficaz, reduzindo a temperatura dos

componentes eletrônicos. Isso permite que os dispositivos operem em condições ideais de temperatura, garantindo um desempenho estável e confiável.

- Redução do risco de falhas: Utilizar dissipadores eficientes ajuda a evitar o superaquecimento e minimiza o estresse térmico nos componentes eletrônicos. Isso resulta em uma maior confiabilidade e vida útil dos dispositivos, reduzindo a probabilidade de falhas prematuras.
- Melhoria da eficiência energética: Ao controlar adequadamente a temperatura, os dissipadores eficientes contribuem para uma maior eficiência energética dos sistemas eletrônicos. Isso ocorre porque temperaturas mais baixas geralmente resultam em menor consumo de energia e menor dissipação de calor indesejado (Minker, A. A., & Saidur, R. 2016)

Conclui-se então que a dissipação de calor adequada em sistemas eletrônicos é fundamental para garantir o desempenho, a confiabilidade e a vida útil dos dispositivos. Utilizar dissipadores de calor eficientes é uma estratégia essencial para manter a temperatura adequada e evitar problemas associados ao superaquecimento.

A seguir, abordaremos as características e propriedades de cada tipo de dissipador de calor, levando em consideração a capacidade de dissipação de calor, condutividade térmica, área de superfície exposta e design:

2.5.2 Dissipadores de Alumínio:

- Capacidade de Dissipação de Calor: Os dissipadores de alumínio possuem uma boa capacidade de dissipação de calor devido à sua condutividade térmica moderada.
- Condutividade Térmica: O alumínio tem uma condutividade térmica relativamente alta, permitindo que o calor se espalhe eficientemente por toda a estrutura do dissipador.
- Área de Superfície Exposta: Os dissipadores de alumínio geralmente possuem aletas que aumentam a área de superfície exposta, permitindo uma melhor troca de calor com o ambiente.
- Design: Os dissipadores de alumínio são frequentemente encontrados em diversos designs, como extrudados, prensados ou moldados por injeção, proporcionando flexibilidade na escolha de acordo com o espaço disponível e as necessidades térmicas. (Holman, J. P. 2010).

2.5.3 Dissipadores de Cobre:

- Capacidade de Dissipação de Calor: Os dissipadores de cobre têm uma alta capacidade de dissipação de calor devido à sua excelente condutividade térmica.
- Condutividade Térmica: O cobre é um dos materiais com melhor condutividade térmica disponíveis, permitindo uma rápida dispersão do calor ao longo do dissipador.
- Área de Superfície Exposta: Os dissipadores de cobre geralmente apresentam aletas ou outras estruturas que aumentam a área de superfície disponível para a troca de calor.
- Design: Os dissipadores de cobre são frequentemente utilizados em aplicações que requerem uma dissipação de calor superior, como sistemas de refrigeração de alto desempenho. Eles podem ter designs semelhantes aos dissipadores de alumínio, mas costumam ser mais densos e pesados. (Holman, J. P. 2010).

2.5.4 Dissipadores de Calor de Torre

- Capacidade de Dissipação de Calor: Os dissipadores de calor de torre são projetados para oferecer uma capacidade de dissipação de calor mais elevada do que os dissipadores convencionais, devido à sua altura e área exposta.
- Condutividade Térmica: A capacidade de condução térmica dos dissipadores de torre depende do material utilizado (como alumínio ou cobre) em sua construção.
- Área de Superfície Exposta: Os dissipadores de torre apresentam uma grande área de superfície exposta devido ao seu design vertical, permitindo uma maior dissipação de calor.
- Design: Os dissipadores de torre são geralmente mais altos e possuem uma estrutura vertical com aletas, que maximizam o contato com o ar e aumentam a eficiência de resfriamento. (Holman, J. P. 2010).

2.5.5 Dissipadores de Aletas

- Capacidade de Dissipação de Calor: A capacidade de dissipação de calor dos dissipadores de aletas varia de acordo com o material utilizado e o design específico, mas geralmente é considerada eficiente.
- Condutividade Térmica: A condutividade térmica depende do material utilizado, como alumínio ou cobre, sendo que o cobre apresenta uma melhor condutividade térmica.

- Área de Superfície Exposta: Os dissipadores de aletas têm aletas finas que aumentam significativamente a área de superfície exposta, permitindo uma melhor transferência de calor para o ambiente.
- Design: Os dissipadores de aletas podem ter várias formas e tamanhos, como retangulares, cilíndricos ou cônicos, e podem ser encontrados em diferentes configurações para atender às necessidades específicas de dissipação de calor. (Holman, J. P. 2010).

2.5.6 Dissipadores de Calor Líquido:

- Capacidade de Dissipação de Calor: Os dissipadores de calor líquido oferecem uma alta capacidade de dissipação de calor devido ao uso de líquidos refrigerantes que têm uma capacidade de transporte de calor superior ao ar.
- Condutividade Térmica: Os líquidos refrigerantes utilizados nos sistemas de dissipação de calor líquido têm uma alta condutividade térmica, permitindo uma rápida transferência de calor dos componentes eletrônicos para o líquido.
- Área de Superfície Exposta: A área de superfície exposta depende do projeto do sistema de resfriamento líquido, que pode incluir radiadores, tubos e blocos de resfriamento.
- Design: Os dissipadores de calor líquido requerem um sistema de tubulação e bombeamento para circular o líquido refrigerante e dissipar o calor gerado pelos componentes eletrônicos. O design do sistema pode variar de acordo com a aplicação e as necessidades específicas de resfriamento. (Holman, J. P. 2010).

2.6 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MELHORES DISSIPADORES

Ao selecionar os melhores dissipadores de calor para um sistema de resfriamento, é importante considerar vários critérios para garantir a eficiência e o desempenho adequado. Aqui estão alguns critérios que podem ser utilizados na seleção:

- Capacidade de dissipação de calor: O dissipador de calor deve ter uma capacidade adequada para dissipar o calor gerado pelos componentes eletrônicos. Isso envolve considerar a potência térmica dos componentes e escolher um dissipador com capacidade de dissipação maior ou igual a essa potência.
- Condutividade térmica: A condutividade térmica do material utilizado no dissipador é um fator importante, pois afeta a eficiência da condução de calor. Materiais com alta

condutividade térmica, como alumínio ou cobre, são geralmente preferidos para dissipadores de calor.

- Área de superfície exposta: A área de superfície exposta do dissipador de calor afeta diretamente a transferência de calor por convecção. Quanto maior a área de superfície, maior será a capacidade de dissipação de calor. Dissipadores com aletas ou outras estruturas que aumentam a área de superfície exposta são preferidos.
- Design e configuração: O design do dissipador de calor também desempenha um papel importante na dissipação de calor eficiente. A configuração das aletas, a presença de heat pipes ou câmaras de vapor, o uso de ventiladores ou coolers, entre outros aspectos, podem influenciar o desempenho térmico do dissipador.
- Compatibilidade: É importante garantir que o dissipador de calor selecionado seja compatível com os componentes eletrônicos e o sistema em geral. Isso envolve considerar o tamanho, a altura e o método de fixação do dissipador, bem como a disponibilidade de espaço no sistema.
- Restrições de espaço: O espaço disponível no sistema pode ser um fator limitante na escolha do dissipador de calor. É necessário considerar as dimensões do dissipador e sua compatibilidade com o espaço disponível no sistema.
- Custo: O custo do dissipador de calor também é um fator a ser considerado, especialmente em projetos com restrições orçamentárias. É importante encontrar um equilíbrio entre o desempenho e o custo do dissipador.
- Ruído: Em alguns casos, especialmente em sistemas onde o ruído é uma preocupação, é importante considerar o nível de ruído gerado pelo dissipador de calor, caso ele inclua ventiladores ou coolers. (Mazumder, J., & Saumitra, M. C. 2014)

3 METODOLOGIA

O trabalho é do tipo pesquisa descritiva, tendo em vista que é um melhoramento realizado a partir de uma série de testes e estudos realizados em semicondutores, adaptando periféricos para melhorar o rendimento do sistema de resfriamento.

Ao longo desse trabalho serão realizados testes e comprovações sobre a melhora na eficiência de um sistema de resfriamento através de módulos Peltier; adaptando e analisando semicondutores, seu funcionamento, nomenclatura, alimentação e liga periférica, comprovando a tese de que o sistema pode ser melhorado.

Foram realizados testes que incluíram alterações na disposição dos semicondutores e também na sua liga metálica, além da disposição diferenciada de cada bloco semicondutor, utilizando-se de alterações nas gramaturas das placas isoladoras com fontes especiais.

4 DESENVOLVIMENTO PRÁTICO

4.1 APERFEIÇOAMENTO

O estado da técnica descreve placas termoelétricas baseadas no efeito tipo Peltier com diversas configurações, incluindo o uso de dois ou mais elementos tipo Peltier ligados em paralelo ou em série, placas de diferentes tamanhos, inclusão de elementos isolantes, diferentes frequências e intensidades de corrente aplicadas, e também, elementos semicondutores feitos de liga de cobre, bismuto e antimônio.

Aliado a isto existe uma placa controladora específica, que determina a corrente, a amperagem, e a resistência equilibrada para o total aproveitamento e rendimento dos equipamentos.

4.1 MELHORAMENTO

Entre os condutores elétricos, há uma camada cerâmica que atua como isolante elétrico, conhecida como "chapas isolantes". Essas chapas foram acrescidas em sua espessura e dispostas de forma a proporcionar um isolamento térmico diferenciado para as faces que absorvem calor e que liberam calor. Na face que absorve calor (face fria), foi adicionada uma camada de isolante elétrico com 5 mm de espessura. Já na face que libera calor (face quente), foi utilizada uma camada de isolante elétrico com 3 mm de espessura. Essa aplicação equilibrada dos materiais, dispostos de forma cronológica, resultou em um desempenho significativamente melhorado. Com a nova espessura na face fria, houve uma maior concentração de calor absorvido na camada cerâmica, o que melhorou a eficiência do módulo. Além disso, na parte quente, a menor espessura da placa cerâmica favoreceu a dissipação do calor em mais de 30%, devido ao contato direto entre a placa cerâmica e o dissipador de alumínio.

Essas alterações têm como objetivo tornar o texto mais claro e facilitar a compreensão das informações apresentadas.

4.2 SEMICONDUTORES

São utilizados semicondutores dispostos em duplicidade, formando blocos 'NN' e 'PP', com dois semicondutores do tipo 'n' e dois do tipo 'p' ligados em série e em paralelo por módulos termoelétricos. Essa configuração permitiu aumentar a potência e, consequentemente, a

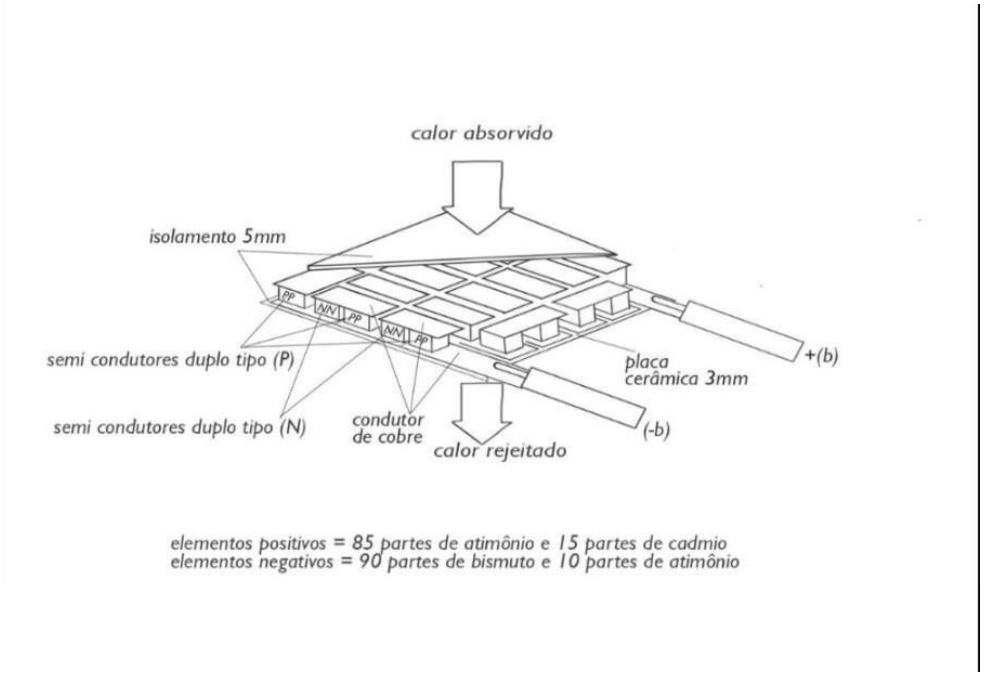
eficiência de cada bloco de semicondutores em relação ao resfriamento, que é a função desejada, oferecendo um desempenho totalmente diferenciado e satisfatório em comparação com o sistema tradicional.

O número de módulos termoelétricos utilizados depende da eficiência desejada. Para este projeto, os módulos termoelétricos são encapsulados em 'acopladores cerâmicos', nos quais a face quente está em contato direto com o dissipador, facilitando a liberação de calor, enquanto a face fria entra em contato com o acoplador cerâmico, permitindo uma absorção de calor com ganho muito maior (placa fria), resultando em uma acumulação de temperaturas cada vez mais baixas.

Um maior espaçamento entre cada bloco de semicondutores, de 1.0 a 1.5mm, é utilizado para evitar perdas devido à liberação de calor.

Para esta aplicação com desempenho diferenciado, foram utilizados semicondutores compostos por 85 partes de antimônio e 15 partes de cádmio para os elementos positivos, e 90 partes de bismuto e 10 partes de antimônio para os elementos negativos. Esses semicondutores apresentam uma eficiência diferenciada em termos de facilidade de condução e polarização, sendo dispositivos do Efeito tipo Peltier. Conforme apresentado na figura 6.

Figura 6 – Pastilha Peltier modificada



Fonte: Autor, 2023

4.3 ALIMENTAÇÃO

Para alimentação destes módulos são utilizadas fontes chaveadas de alta frequência CA/CC (Corrente Alternada/Corrente Continua) ajustada entre 20 a 30 kHz (Quilo Hertz) dependendo do número de módulos termoelétricos. A alimentação dos módulos será com tensões de 6/12(seis/doze) volts acumulativos, se somando a cada módulo em série. Para alimentação com CC será usado uma alimentação de 12 volts com oscilador de 100 ciclos por segundo. Notou-se com isto a não necessidade de maior amperagem para suprir o ganho dos módulos termoelétricos sem perder a eficiência.

4.4 DISSIPADOR

Para o sistema de dissipação do calor liberado fora usada peça de alumínio injetado com classificação de pureza 3104. Para absorção fria fora usado peça de alumínio com classificação de pureza 3104. Pois quanto menor a temperatura no dissipador, maior a eficiência no lado do resfriamento. Utiliza-se de dutos de óleo e radiador de alumínio com cooler´s. Esse sistema diminui consideravelmente a concentração de calor próximo do módulo termoelétrico, assim o lado do resfriamento, fica mais isolado do calor.

4.5 APLICAÇÃO DE MERCADO

A presente invenção terá eficácia na implementação de novos equipamentos de refrigeração e aquecimento, tornando obsoleto o sistema atual, visto que o custo de periféricos e de produção, seria semelhante ao de um sistema de refrigeração que utiliza das atuais tecnologias, além de que por trabalhar em uma amperagem reduzida, seu consumo energético pode chegar a ¼ do consumo de um sistema com tecnologias usuais, sendo avaliado como sistema de redução de carbono e prevenção ambiental.

4.6 REIVINDICAÇÕES

Após a configuração de proporcionalidade para sua aplicação específica, por exemplo, no caso de um refrigerador de pequeno porte, a invenção toma forma de um bloco maciço revestido com fitas térmicas para ser instalado diretamente ao ambiente térmico destinado.

4.7 UNIDADE EXPERIMENTAL

4.7.1 Potência dos módulos

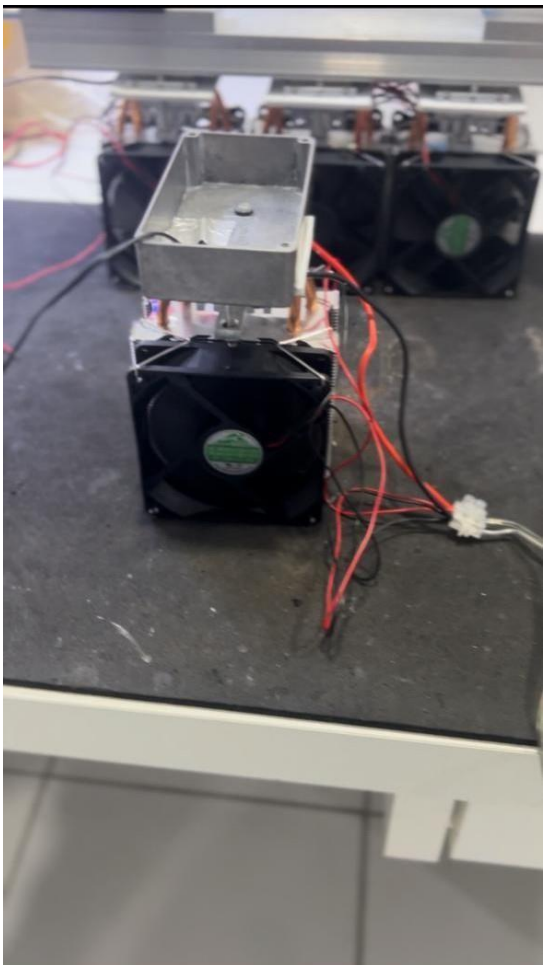
A potência de cada módulo termoelétrico se define a partir do cálculo do espaço físico e ambiente a ser refrigerado, como também o tipo de acoplador.

Basicamente para o sistema termoelétrico modificado, o cálculo é feito da seguinte maneira: Para um módulo termoelétrico, o acoplador cerâmico medindo 18cm x 8cm x 1,3cm necessita 128 semicondutores dispostos em série e com isolamento cerâmico de 5mm. A fonte de alimentação deverá ser de 36 volts CC Pulsante x 3A. Essa definição de módulo poderia ser usada até mesmo em um frigobar com 100 litros, devido a sua melhora na eficiência e dissipação de calor.

4.7.2 Protótipo sem isolamento térmico com cooler

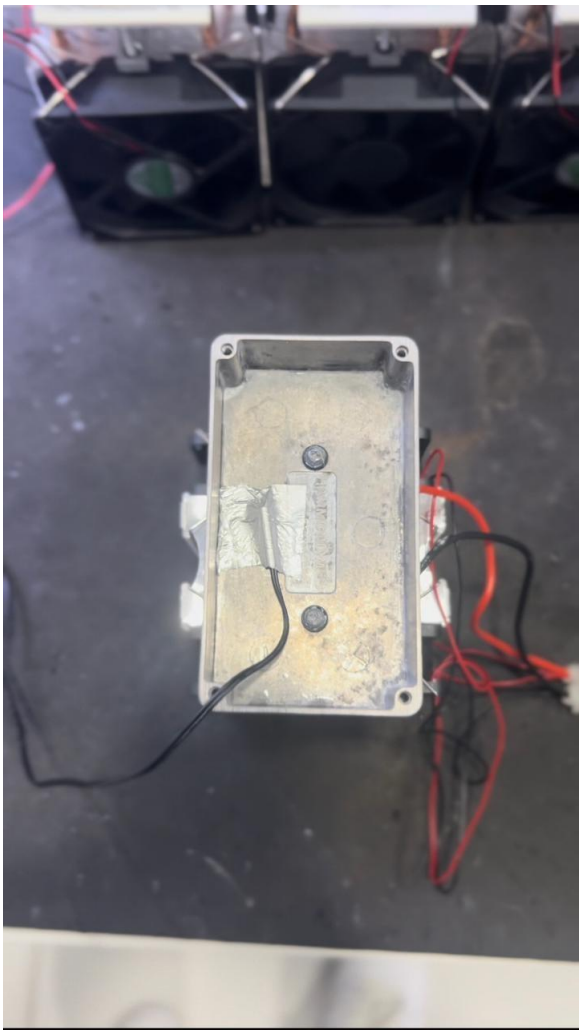
Foram realizados testes de queda de temperatura em um protótipo de um módulo termoelétrico tipo Peltier modificado, analisando a queda de temperatura ao longo do tempo com e sem o uso de *coolers*. No modelo a seguir, uma pastilha Peltier fora acoplada uma placa isoladora cerâmica e placa metálica de dimensões 14cm x 7 cm. De acordo com a figura 7 .

Figura 7 – Protótipo sem isolamento térmico



Fonte: Autor, 2023.

Figura 8 – Placa Metálica com termostato

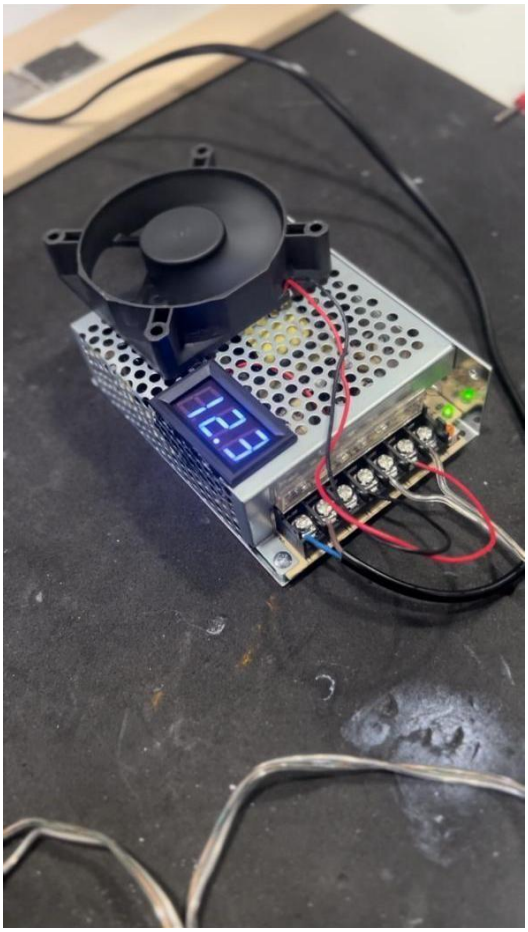


Fonte: Autor, 2023.

Foi colocado um termômetro medidor de temperatura na placa de alumínio, para realização dos testes. De acordo com a figura 8

A alimentação do sistema é feita por fonte 12V com um *cooler* acoplado para dissipação do calor e melhor eficiência do sistema. De acordo com a figura 9.

Figura 9 – Fonte CC 12V Pulsante



Fonte: Autor, 2023.

Ligando a fonte de alimentação a tomada, partindo de um sistema sem isolamento térmico, e em temperatura ambiente (21°), foram realizados os seguintes testes:

- Queda de temperatura em 1 minuto: O sistema de resfriamento apresentou uma queda de temperatura de 21° para -0,3° na superfície da placa metálica. De acordo com a figura 10.

Figura 10 – Medidor de temperatura

Fonte: Autor, 2023.

- Queda de temperatura em 5 minutos: O sistema de resfriamento apresentou uma queda de temperatura de 21° para -4,2° na superfície da placa metálica. De acordo com a figura 11.

Figura 11 – Medidor de temperatura

Fonte: Autor, 2023.

- Queda de temperatura em 10 minutos: O sistema de resfriamento apresentou uma queda de temperatura de 21° para -4,7° na superfície da placa metálica. De acordo com a figura 12.

Figura 12 – Medidor de temperatura

Fonte: Autor, 2023.

4.7.3 Protótipo sem isolamento térmico e sem cooler

Foram realizados testes também do mesmo sistema, porém com a alimentação dos *coolers* desligadas. De acordo com a figura 13.

Figura 13 – Medidor de temperatura

Fonte: Autor, 2023.

Foi observado que a temperatura na superfície da placa metálica chega em seu máximo a -0.7°, e após isso a temperatura começa a subir, devido ao acumulo de calor que vai acontecendo no interior do módulo, atrapalhando totalmente a eficiência do sistema.

4.7.4 Protótipo acoplado a um isolamento térmico de 25cm x 35cm (13 litros)

Para esse protótipo, foi utilizado um módulo acoplador de 4,6cm x 4,6cm com potência de 33W e ligado a uma fonte de alimentação 12V. De acordo com a figura 14.

Figura 14 – Protótipo acoplado a cooler 13 litros

Fonte: Autor, 2023.

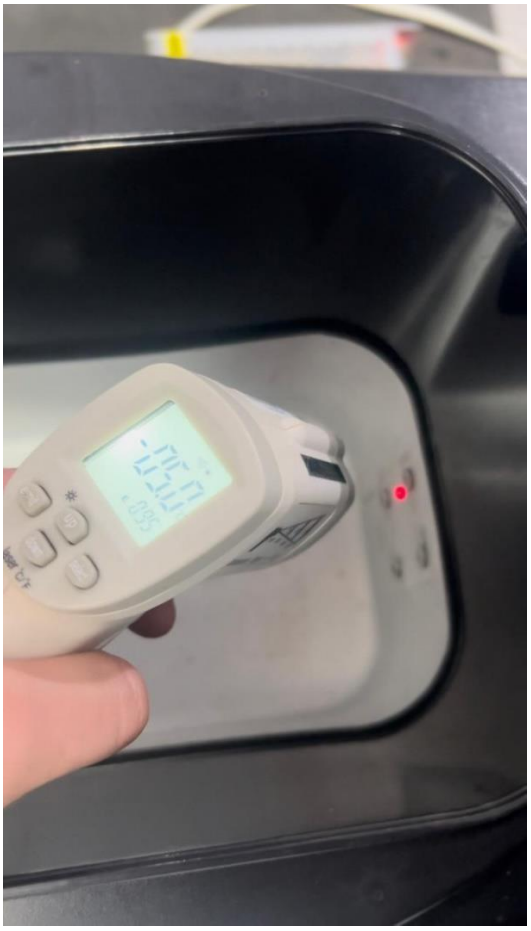
O sistema foi implementado em uma carcaça de um cooler elétrico portátil. De acordo com a figura 15.

Figura 15 – Sistema acoplado a cooler portátil

Fonte: Autor, 2023.

Resultado do teste: Deixando ligado por 1 hora o cooler com o sistema termoelétrico tipo Peltier modificado, o sistema foi capaz de resfriar e manter o interior do cooler a -5°. De acordo com a figura 16.

Figura 16 – Medição de temperatura no interior do cooler



Fonte: Autor, 2023.

4.7.5 Protótipo acoplado a um isolamento térmico de 15cm x 13cm (5 litros)

Para esse protótipo, foi utilizado 1 módulo acoplador de 5cm x 5cm com potência de 42W e ligado a uma fonte de alimentação 12V. De acordo com a figura 17.

Figura 17 – Protótipo cervejeira

Fonte: Autor, 2023.

O sistema foi implementado em uma carcaça de uma cervejeira. De acordo com a figura 18.

Figura 18 – Sistema termoelétrico acoplado a uma cervejeira

Fonte: Autor, 2023.

Foi implementado também um termostato para acompanhamento e análise da temperatura. De acordo com a figura 19.

Figura 19 – Medidor de temperatura

Fonte: Autor, 2023.

Fora acoplado também um voltímetro e um amperímetro ao protótipo. De acordo com a figura 20.

Figura 20 – Display de controle de voltagem, amperagem, potência e consumo

Fonte: Autor, 2023.

Resultado do teste: Deixando ligado por 1 hora o protótipo, foi constatado que ele consegue chegar e manter uma temperatura de -6°, provocando ate mesmo o surgimento de gelo na superfície interna da cervejeira. De acordo com a figura 21.

Figura 21 – Interior da cervejeira com a formação de gelo

Fonte: Autor, 2023.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Quadro 1 pode-se ver a comparação de testes de temperatura realizados com os módulos Peltier modificados em relação a resfriadores comuns aplicados no mercado.

Quadro1- Resultado dos testes.

Intervalo de Tempo	**Queda de Temperatura (Protótipo sem Isolamento)**	**Queda de Temperatura Protótipo com Isolamento 25cm x 35cm (Cooler Portátil Elétrico)**	**Queda de Temperatura Protótipo com Isolamento 15cm x 13cm (chopeira)**	**Queda de Temperatura de um Cooler Portátil Elétrico usual**	**Queda de Temperatura em uma Chopeira usual**
1 minuto	21°C para -0,3°C	12,1°C	13,5°C	18,75°C	20,9°C
5 minutos	21°C para -4,2°C	3,8°C	4,5°C	15°C	6,9°C
10 minutos	21°C para -4,7°C	-3,9°C	-2,1°C	15°C	3°C
1 hora	-5°C	-5°C	-6°C	15°C	3°C

Fonte: Autor, 2023.

Além dos resultados da queda de temperatura, é importante mencionar que os testes mencionados acima com o protótipo sem isolamento térmico foram realizados utilizando um cooler. Os resultados demonstram que o sistema de resfriamento conseguiu reduzir a temperatura da superfície da placa metálica ao longo do tempo.

Já nos testes com os protótipos acoplados a isolamentos térmicos de diferentes dimensões, foram alcançadas temperaturas mais baixas e mantidas por um período de uma hora. O protótipo com o isolamento de 25cm x 35cm foi capaz de manter o interior do cooler a -5°C, enquanto o protótipo com o isolamento de 15cm x 13cm conseguiu chegar e manter uma temperatura de -6°C, inclusive formando gelo na superfície interna da cervejeira.

Esses resultados indicam que o uso de isolamento térmico é eficaz para melhorar o desempenho de resfriamento do sistema e manter temperaturas mais baixas por períodos mais longos.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi realizado um estudo sobre o sistema de resfriamento utilizando a pastilha Peltier modificada, ou melhorada, e a seleção de dissipadores de calor eficientes. A dissipação de calor é uma questão crítica em sistemas eletrônicos, pois o superaquecimento pode levar a falhas de desempenho e redução da vida útil dos componentes.

A revisão sobre os princípios de dissipação de calor e os diferentes tipos de dissipadores disponíveis no mercado forneceu uma compreensão aprofundada das características e propriedades de cada tipo de dissipador, como capacidade de dissipação de calor, condutividade térmica, área de superfície exposta e design.

A montagem das unidades experimentais em diferentes dimensões permitiu a realização de testes práticos e a análise da eficiência de resfriamento em ambientes de diferentes tamanhos. Os resultados obtidos forneceram uma visão clara sobre o desempenho do sistema de resfriamento e sua aplicabilidade em diferentes contextos.

Com base na aplicação de mercado desse sistema, é possível destacar sua relevância em diversas áreas, como eletrônica de consumo, equipamentos industriais e sistemas de informática. A capacidade de manter a temperatura adequada em ambientes de trabalho pode contribuir para o melhor desempenho e confiabilidade desses sistemas, além de prolongar sua vida útil.

Além disso, a viabilidade econômica desse sistema também é um aspecto importante a ser considerado. A seleção criteriosa dos dissipadores de calor levando em conta o custo e a facilidade de implementação contribui para tornar o sistema de resfriamento mais acessível e aplicável em diferentes cenários.

Em conclusão, este trabalho demonstrou e apresentou um sistema de resfriamento baseado na pastilha Peltier modificada e dissipadores eficientes. Através da seleção criteriosa dos dissipadores, do melhoramento da pastilha Peltier e a realização de testes práticos, foi possível comprovar a eficiência desse sistema e sua aplicabilidade em diferentes dimensões de ambientes. Com suas características de desempenho, viabilidade econômica e facilidade de implementação, o sistema de resfriamento proposto mostra-se promissor para atender às demandas do mercado e contribuir para o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas e confiáveis.

7 REFERÊNCIAS

ARORA, C. P. **Refrigeration and Air Conditioning**. 2. ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2006.

Artic TEC Technologies, 2011. < http://en.arctictec.com/tec/10-multistage-thermoelectric-cooling-batteries.html>.

ASTRAIN, D. et al. **Computational model for refrigerators based on Peltier effect application.** Applied Thermal Engineering, n. 25, p. 3149-3162, 2005. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2005.04.003

BÖCKH, P. V.; WETZEL, T. **Heat Transfer: Basics and Practice**. Heidelberg: Springer, 2012. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19183-1

BUENO, A. V. **Apostila de Refrigeração e Condicionamento de Ar**. Universidade Federal do Ceará (Departamento de Engenharia Mecânica), Fortaleza, 2007.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa**. 4. ed. Nova York: McGraw Hill, 2011.

COOPER, G. **Air-Conditioning America**: Engineers and the Conrolled Environment, 1900-1960. Baltimore e Londres: The Johns Hopkins University Press, 2002.

DIZAJI, H. S. et al. **A comprehensive exergy analysis of a prototype Peltier air-cooler; experimental investigation**. Renewable Energy Reviews, n. 131, p 308-317, 2019. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.056

Equipamentos Danvic LTDA. < http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC**). Climate Change and Land: Summary for Policymakers.**

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **The Future of Cooling**. Technology Report, mai. 2018. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>.

JONES, W. P. **Air Conditioning Engineering**. 5. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

KADHIM, T. J.; ABBAS, A. K.; KADHIM, H. J. **Experimental Study of Atmospheric Water Collection Powered By Solar Energy Using The Peltier Effect**. 3rd International Conference on Engineering Sciences. IOP, 2020. https://doi.org/10.1088/1757-899X/671/1/012155

KREITH, F.; BOHN, M. S. **Princípios de Transferência de Calor**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

MACDONALD, D. K. C. **Thermoelectricity: An Introduction to the Principles**. 1st ed. Dover Publications.

MOREIRA, G. A. z. **Condicionador de ar por efeito Peltier**. Orientador: Fernando Rodrigo Macchion. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica), Universidade São Francisco, Campinas, 2014.

MOURA, J. A. De S. **Filmes Nanométricos De FeN e AIN Crescidos por Sputtering e Aplicações do Efeito Peltier**. Tese de Doutorado. UFRN. Natal: 2010.

NAGENGAST, B. 100 Years of Air Conditioning. **ASHRAE Journal**, p. 44-46, 2002.

PASCAL-DELANNOY, F. et al. **Fast Humidity Sensor Using Optoelectronic Detection on Pulsed Peltier Device**. Sensors and Actuators A 65, p. 165-170, 1998. https://doi.org/10.1016/S0924-4247(97)01743-3

RICHMOND, P . E. **The Peltier Effect**. Departament of Education, University of Southampton: 2014.

RUFINO, C. A. **Bebedouro Refrigerado Tipo Nipple Para Criação Animal Utilizando Efeito Peltier.** UFLA. Lavras:2016.

SLADECEK Z. S. M. U. V. **Cooling Device with Peltier Element for Medical Applications**. IFAC PapersOnLine, n. 54-6, p 54-59, 2018. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.129

United Nations Environment Programme (UNEP) and International Energy Agency (IEA). **Cooling Emissions and Policy Synthesis Report**. UNEP, Nairobi and IEA

WELTY, J. R. et al. **Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer**. 5. ed. Danvers: John Wilet & Sons, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Climate Change And Health**. 01/02/2018. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>.