

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
GABRIEL FERRARI SALVI

**ESTUDO DE UM REFRIGERADOR TERMOELÉTRICO PARA APLICAÇÃO
DOMÉSTICA EM RESFRIAMENTO DE BEBIDAS**

CASCADEL – PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
GABRIEL FERRARI SALVI

**ESTUDO DE UM REFRIGERADOR TERMOELÉTRICO PARA APLICAÇÃO
DOMÉSTICA EM RESFRIAMENTO DE BEBIDAS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Eng. Mecânico Me. Eliseu Avelino Zanella Junior

CASCADEL – PR
2018

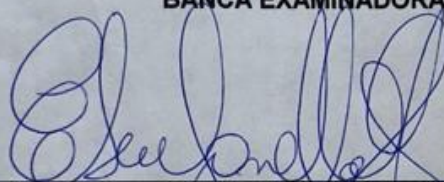
CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG

GABRIEL FERRARI SALVI

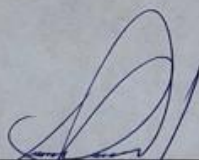
**ESTUDO DE UM REFRIGERADOR TERMOELÉTRICO PARA APLICAÇÃO
DOMÉSTICA EM RESFRIAMENTO DE BEBIDAS**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Eliseu Avelino Zanella Junior.

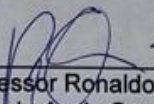
BANCA EXAMINADORA



Orientador Professor Me. Eliseu Avelino Zanella Junior.
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico.



Professor Me. Sérgio Henrique Rodrigues Mota.
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico.



Professor Ronaldo Tansini.
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Eletricista.

Cascavel, 06 de dezembro de 2018.

Dedicatória

A minha família, pela oportunidade de estudar
e por acreditar e investir em mim.

RESUMO

Esse trabalho trás um estudo sobre um refrigerador com placas termoelétricas de peltier, mensurando o rendimento e a transferência de calor por convecção forçada devido aos coolers que ajudam na transmissão e dissipação do calor, para com isso descobrir o consumo energético do mesmo. O primeiro passo para a pesquisa foi o cálculo da carga térmica necessária para suprir a demanda desse refrigerador com base nos estudos em sala de como funciona um sistema de refrigeração. Após obter esses valores, foi feita a construção desse recipiente para análise e conclusão desse projeto, onde o resultado esperado é fazer o resfriamento da cerveja em um determinado tempo.

Palavras-chave: Efeito Peltier, Pastilhas termoelétricas, mini refrigerador.

ABSTRACT

This work brings a study about a refrigerator with peltier thermoelectric plates, measuring the yield and the heat transfer by forced convection due to the coolers that help in the transmission and dissipation of the heat, in order to discover the energetic consumption of the same. After obtaining these values, it was made the construction of this container for the analysis and conclusion of this project, where the expected result is to make the beer cooling in a determinated time.

Key words: Peltier effect, Thermoelectric inserts, mini refrigerator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão interna do Módulo Peltier.....	21
Figura 2 – Modulo Peltier comerciais múltiplos estágios.....	22
Figura 3 – Modelo de refrigerador termoelétrico.....	23
Figura 4 – Modelo de refrigerador termoelétrico	25
Figura 5 – Gráfico Temperatura por Entropia	26
Figura 6 – Comparação do rendimento de Carnot	27
Figura 7 – Placa de Peltier.....	36
Figura 8 – Cooler e dissipador.....	36
Figura 9 – Cooler.....	37
Figura 10 – Dissipador.....	37
Figura 11 – Termômetro.....	38
Figura 12 – Multímetro.....	38
Figura 13 – Fonte chaveada.....	39
Figura 14 – Caixa térmica.....	39
Figura 15 – Isolamento da parte quente.....	44
Figura 16 – Placa isolada entre dissipadores.....	45
Figura 17 – Recorte da caixa.....	46
Figura 18 – Visão interna da caixa.....	46
Figura 19 – Visão externa.....	47
Figura 20 – Visão externa e interna da caixa sem os coolers dentro.....	48
Figura 21 – Visão interna da caixa com coolers internos presos.....	49

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Efeito Seebeck.....	17
Equação 2 – Calor de peltier	18
Equação 3 – Corrente	19
Equação 4 – Coeficiente de condutância	19
Equação 5 – Calor fonte fria	19
Equação 6 – Calor fonte quente	19
Equação 7 – Trabalho	20
Equação 8 – Rendimento de carnot	27
Equação 9 – COP de carnot	27
Equação 10 – Volume total das latas de cerveja	30
Equação 11 – Massa total das latas de cerveja	31
Equação 12 – Taxa de transferência de calor da cerveja.....	31
Equação 13 – Transformação de J para W.....	31
Equação 14 – Reynolds	32
Equação 15 – Temperatura de filme	32
Equação 16 – Nu Laminar	33
Equação 17 – NuTurbulento	33
Equação 18 – Nu Combinado	33
Equação 19 – Coeficiente de transferência de calor	33
Equação 20 – Transferência de calor por convecção	33
Equação 21 – Transferência de calor por condução	34
Equação 22 – Cálculo das placas de peltier	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do isolante térmico poliestireno expandido.....	30
Tabela 2 - Propriedades da cerveja.....	40
Tabela 3 - Propriedades do ar.....	42
Tabela 3 - Tabela de resultados.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS

A - Ampère

V - Volts

W - Watts

Hz - Hertz

Ω - Ohm

μ F - Micro Faraday

Kg - Quilograma

Mm - Milímetros

Cm - Centímetros

M - Metro

mL – Mililitros

g - Gramas

L - Litros

°C - Graus Celsius

°F - Graus Fahrenheit

K - Kelvin

s - Segundos

min - Minutos

h - Horas

KJ - Quilo Joule

J - Joule

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 CERVEJA BRAHMA	16
2.2 EFEITOS TERMOELÉTRICOS	16
2.2.1 Efeito Seebeck	17
2.2.2 Efeito Peltier	17
2.2.3 Efeito Joule e Condução	19
2.3 PASTILHAS TERMOELÉTRICAS.....	20
2.4 MINI REFRIGERADOR	24
2.5 COOLERS E DISSIPADORES.....	28
2.6 SENSOR DE TEMPERATURA	28
2.7 MULTÍMETRO.....	28
2.8 FONTE CHAVEADA	29
2.9 ISOLAMENTO.....	29
2.10 TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	30
2.10.1 Taxa de transferência de calor das latas de cerveja	30
2.10.2 Transferência de calor por convecção.....	31
2.10.3 Transferência de calor por condução	34
2.10.4 Cálculo do total de placas de peltier.....	34
3 METODOLOGIA	35
3.1 MATERIAIS	35
3.1.1 Cerveja.....	35
3.1.2 Placas de Peltier	36
3.1.3 Coolers e dissipadores externos	36
3.1.4 Coolers e dissipadores internos	37
3.1.5 Sensor de Temperatura.....	38
3.1.6 Multímetro	38

3.1.7 Fonte chaveada.....	39
3.1.8 Caixa Térmica	39
3.2 MÉTODOS	40
3.2.1 Quantidade de latas	40
3.2.2 Posicionamento das latas.....	40
3.2.3 Cálculo da massa total de cerveja.....	40
3.2.4 Cálculo da transferência de calor por convecção.....	42
3.2.5 Cálculo da transferência de calor por condução	43
3.2.6 Cálculo da quantidade de placas necessárias	43
3.2.7 Montagem do recipiente	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5.1 CONTRIBUIÇÕES	52
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
6 REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

O projeto trata-se de uma pesquisa descritiva e experimental, pois tem como objetivo a construção e análise de dados de um mini refrigerador com placas termoeletricas de peltier para a refrigeração das latinhas de cerveja e a comparação do mesmo com um sistema convencional de refrigeração.

Na refrigeração convencional é indispensável o uso de componentes para completar o ciclo da troca de calor. Tais componentes são: evaporador, compressor, condensador, dispositivo de expansão e também o fluido refrigerante, que “é a substância que circulando dentro de um circuito fechado, é capaz de retirar calor de um meio enquanto se vaporiza a baixa pressão”. (SILVA, 2003, p33). Com isso, um sistema de refrigeração convencional que é usado em nossas geladeiras domésticas se torna complexo e robusto.

O sistema termoeletrico é mais compacto, pois dispensa o uso de componentes robustos e fluidos refrigerantes, fazendo com que todo o sistema de refrigeração se torne mais leve e de simples manuseio. Esse sistema é bastante utilizado em recipientes pequenos e que não necessitam de grande potência térmica.

O estudo do recipiente projetado será de grande importância para entendermos os efeitos termoeletricos e o funcionamento de um sistema de refrigeração termoeletrico, analisando suas vantagens e desvantagens em relação a um sistema convencional de refrigeração.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Danvic (2018), os Módulos Peltier, também conhecidos como pastilhas termoeletricas, são pequenas unidades que utilizam tecnologia de matéria condensada para operarem como bombas de calor. O fenômeno descoberto por Jean Charles Athanase Peltier em 1834, ficou conhecido como Efeito Peltier (FIALHO,2008). Esse consiste na junção de dois materiais semicondutores diferentes, onde a corrente elétrica que passa produzirá calor ou frio, dependendo de seu sentido. Essa tecnologia foi descoberta nos anos 60 pela necessidade de produzir módulos termo elétricos e termo pastilhas, que são dispositivos de pequeno porte e peso, sem partes móveis e de fácil manuseio. Outras vantagens desse sistema são baixa

vibração mecânica (ruído) e a não utilização de fluido refrigerante, contribuindo para a não poluição do meio ambiente (Danvic 2018).

As pastilhas são usadas em pequenas aplicações de resfriamento, como chips microprocessadores ou até médias como geladeiras portáteis. Uma unidade típica tem espessura de alguns milímetros em forma quadrada. Os módulos são como um sanduiche de placas cerâmicas formados por pequenos cubos, geralmente de bismuto e telúrio. Nos dias de hoje elas são bastante utilizadas em vários setores, como em bens de consumo, automotivo, industrial e militar. Essa tecnologia pode se tornar inviável para um sistema de ar condicionado pois as mais potentes só conseguem transferir uma potencia máxima de 250W. (Danvic, 2018)

Atualmente, quando se fala no meio acadêmico sobre Peltier, as pessoas citam a sua teoria, Efeito Peltier, mas poucas sabem que podem utilizar um componente eletrônico na forma de uma pastilha quadrada-termopilha, para uma série de experimentos e projetos em laboratórios, essa sendo um dos motivos da realização desse estudo.

1.2 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

No referido trabalho foi montado um recipiente para a refrigeração de uma caixa térmica de isopor de 12 litros, com dimensões de 300x185x261mm e 15 latinhas de 269ml. Com o intuito de teste e conhecimento do efeito termoelétrico de Peltier. O tempo determinado para a refrigeração das latinhas de cerveja foi de 8 minutos, na condição de que os dissipadores e coolers serão colados na parte lateral da caixa onde essa estará sujeita aos testes somente fechada. Serão desconsiderados as perdas por radiação pois o recipiente não será exposto ao sol.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

- Dimensionar os componentes de um mini refrigerador com pastilhas termoeletrônicas para que esse seja eficiente e refrigere as latinhas de cerveja no tempo pré estabelecido.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estimar a quantidade de latinhas a serem refrigeradas;
- Estipular um tempo para a refrigeração;
- Calcular a carga térmica necessária;
- Definir o tamanho do recipiente;
- Calcular a quantidade de pastilhas para suprir a necessidade do sistema;
- Analisar os dados obtidos para a conclusão do projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CERVEJA BRAHMA

No Rio de Janeiro, o engenheiro e apreciador de excelentes cervejas europeias, Joseph Villiger, resolveu fabricar a sua própria cerveja na forma artesanal em sua casa. Após agradar vários paladares, sua cerveja ficou tão famosa que em 6 de setembro de 1888, juntamente com dois brasileiros Paul Fritz e Ludwig Mack, inauguraram a Manufatura de Cerveja Brahma Villiger & Companhia, na Rua Visconde de Sapucahi, lançada comercialmente com o nome de Brahma Chopp, que esta disponível nas versões clara e escura. Inicialmente vendida só em barris de madeira, com uma produção diária de apenas 12.000 litros de cerveja e apenas 32 funcionários. (Mundo das marcas, 2006).

O chope Brahma só foi engarrafado em 1934, em pleno carnaval, e passou a se chamar oficialmente Brahma Chopp, o que facilitou aos consumidores espalhar ainda mais a fama que o chope já havia atingido. Com isso, a garrafa da Brahma Chopp passou a ser a cerveja mais consumida no país, onde em 1940 lançaram uma cerveja mais encorpada que se chamaria Brahma Extra, essas em garrafas de 600ml. Mais tarde em 1954, a cervejaria já contava com seis fábricas e uma maltaria, onde praticamente já tinha dominado todo o território nacional. (Mundo das marcas, 2006).

2.2 EFEITOS TERMOELÉTRICOS

Existem 5 efeitos que podem ser observados quando uma corrente elétrica circula através de um material semicondutor (Costa, 1982)

- 1- Efeito Seebeck
- 2- Efeito Peltier
- 3- Efeito Thomson
- 4- Efeito Jaule
- 5- Condução de calor

2.2.1 Efeito Seebeck

Referente a conversão de um fluxo de calor em um fluxo elétrico (transformação de energia térmica em elétrica), o Efeito Seebeck só é perceptível quando unido os extremos de dois matérias diferentes condutores ou semicondutores), formando um “par termoelétrico”. O efeito será visível quando aplicado uma diferença de temperatura entra as duas junções do par. A voltagem elétrica é diretamente proporcional á diferença de temperatura aplicada entre a junção quente e a junção fria. (Energia Termo Ambiente, 2018). (Equação 1)

$$E = \alpha A(T_2 - T_1) \quad (1)$$

Onde “ $\alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B$ ” é o coeficiente de efeito Seebeck entre os dois semicondutores o qual é igual à diferença entre os coeficientes de efeito Seebeck dos dois materiais. O coeficiente de Seebeck tem por unidade V/°C e seu valor varia de material para material. Assim pode-se relacionar em média (COSTA, 1982):

- Para os metais $\alpha < 0,000005 \text{ V / } ^\circ\text{C}$
- Para os semicondutores $\alpha = 0,0002 \text{ V / } ^\circ\text{C}$

2.2.2 Efeito Peltier

O efeito Peltier foi descoberto em 1834 pelo físico francês Jean Charles Athanase Peltier, 13 anos após o físico Thomas Johann Seebeck ter descoberto o efeito Seebeck em 1821 . Esse efeito permite a remoção ou geração de calor de uma junção feita por dois materiais condutores ou semicondutores diferentes quando neles houver uma corrente elétrica (Rowe, 2006, p5).

Quando dois semicondutores ou metais diferentes são unidos e as junções mantidas com temperaturas diferentes, ocorrem simultaneamente quatro fenômenos: o efeito Seebeck, o efeito Peltier, o efeito Thompson e o efeito volta. (Fialho, 2008,p.78)

Segundo Enio Costa (1982, p215), em 1821 SEEBECK observou que em um circuito fechado construído por dois metais diferentes, sempre que as junções forem mantidas a temperaturas diferentes, nele circula uma corrente elétrica.

O físico Jean Charles Athanase Peltier, em 1934, observou que de acordo com o sentido que a corrente passa entre os metais o calor pode ser gerado ou absorvido, criando assim o Efeito Peltier (FIALHO,2008, p23).

Thompson, em 1854, baseado nas leis de Seebeck e de Peltier, concluiu que a condução de calor dos fios metálicos de um par termoelétrico, criava uma distribuição de temperatura igualmente em cada fio, originando no Efeito Thomson. O efeito Peltier pode ser explicado da seguinte maneira, conforme descreve o efeito volta, “Quando dois metais estão em contato e em equilíbrio térmico e elétrico, existe entre eles uma diferença de potencial que pode ser da ordem de volts” (FIALHO,2008,p.23).

O cientista alemão ALTERNKIRCH foi o responsável pelas considerações objetivas principais sobre a aplicação do efeito PELTIER à refrigeração, ele demonstrou qualitativamente que um material termoelétrico é bom quando ele apresenta uma alta condutividade elétrica e uma baixa condutividade térmica e um alto coeficiente SEEBECK (poder termoelétrico). (COSTA, 1982, p215).

O calor de Peltier gerado pelas junções pode ser calculado pela Equação 2 abaixo:

$$Q = (\pi A . \pi B) . I \quad (2)$$

Em que:

Q = taxa de transferência de calor de Peltier absorvida pela junção fria por unidade de tempo;

πA = coeficiente de Peltier do material A;

πB = coeficiente de Peltier do material B;

I = corrente aplicada ao circuito, em Ampéres (A). (SOUZA, 2011).

2.2.3 Efeito Joule e Condução

Devido ao efeito Joule, quando se passa uma corrente por um condutor este sofre um aquecimento o qual ocasiona a expressão (Costa, 1982). (Equação 3)

$$I^2 R \quad (3)$$

Onde:

I = Corrente (A);

R = Resistência (Ω)

Quando considerado que o aquecimento fique repartido uniformemente ao longo do semiconductor, dizemos que esse acarreta em uma redução de retirada de calor da fonte fria e um aumento da dissipação do calor na fonte quente. Entretanto, pela diferença de temperatura criada pelo efeito Peltier, o semiconductor fora uma transmissão de calor por condução, o que gera a Equação 4. (Costa, 1982)

$$K'(T_2 - T_1) \quad (4)$$

Onde K' é o coeficiente de condutância dado em W/k. O calor transmitido na condução reduz a dissipação da fonte quente e reduz também a retirada de calor da fonte fria. Assim pode-se calcular a quantidade de calor realmente absorvida, "Q1" na fonte fria ou "Q2" na fonte quente pelo efeito Peltier (Costa, 1982) (Equação 5 e 6)

$$Q_1 = a_{AB} I T_1 - k'(T_2 - T_1) - \frac{1}{2} I^2 R \quad (5)$$

$$Q_2 = a_{AB} I T_2 - k'(T_2 - T_1) + \frac{1}{2} I^2 R \quad (6)$$

A diferença entre a quantidade de calor que sai do sistema Q_2 e a que entra Q_1 deve ser igual a energia fornecida pela bateria ou fonte de energia. (Costa, 1982)(Equação 7)

$$W = Q_2 - Q_1 \quad (7)$$

Onde:

W = trabalho (j/s);

Q_1 = calor absorvido (j);

Q_2 = calor dissipado (j).

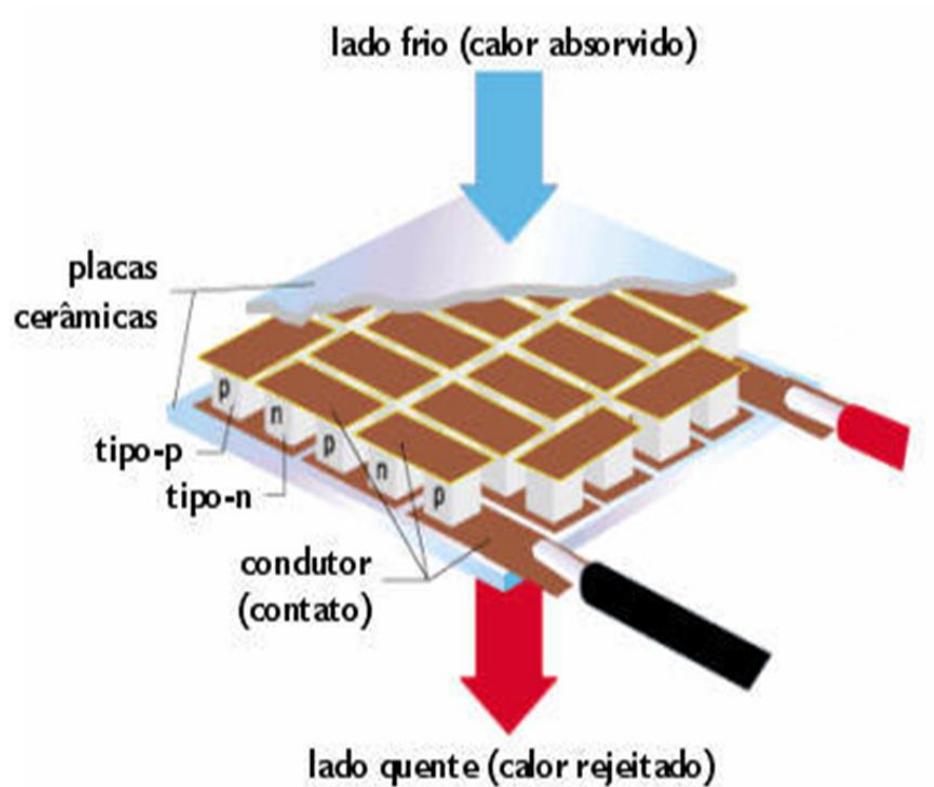
2.3 PASTILHAS TERMOELÉTRICAS

As células de Peltier são pastilhas termoelétricas que utilizam o efeito Peltier. Essas pequenas unidades que utilizam a tecnologia da matéria condensada para trabalharem como bombas de calor. Uma unidade convencional tem forma quadrada e espessura de alguns milímetros.

Segundo o fabricante, Peltier (2018), quando a corrente elétrica circula pela célula de Peltier um lado da pastilha aquece e o outro resfria. Os módulos de peltier não consomem o calor produzido no lado quente, por esse motivo é de extrema importância o uso de um dissipador de calor.

O módulo é a maneira mais prática de se utilizar o efeito peltier como refrigerador em grande escala, e consiste na junção de pequenos blocos, esses geralmente de telureto de bismuto - Bi_2Te_3 dopados tipo N e tipo P encaixados alternadamente e eletricamente em série entre duas placas de cerâmicas de boa condutividade térmica. Este arranjo faz com que todos os termo elementos bombeiem o calor para uma mesma direção - termicamente em paralelo.

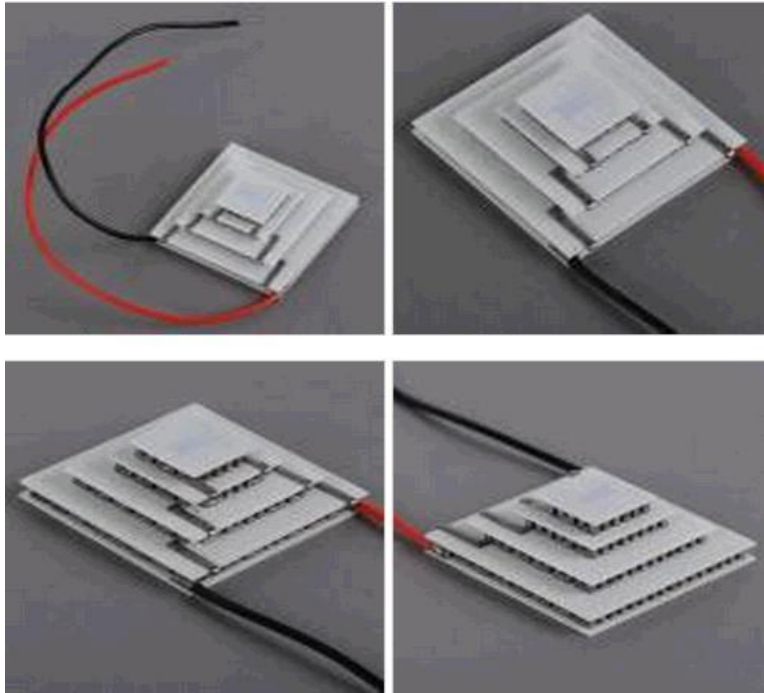
Figura 1 – Visão interna do Módulo Peltier



Fonte: Portal da refrigeração (2014).

Os módulos podem ser encontrados no mercado em diversos tamanhos que variam de 0,6 × 0,6 cm a aproximadamente 5 × 5 cm fig. 6.5, e podem ser utilizados de várias maneiras: individualmente ou agrupados eletricamente em paralelo, série ou série-paralelo. Em algumas aplicações se utiliza o módulo de multi estágios, esses contém vários módulos em série para obter um maior ΔT .

Figura 2 – Modulo Peltier comerciais múltiplos estágios.



Fonte: Portal da refrigeração (2014).

Leismann (2007) cita que o potencial de bombeamento de calor de um resfriador projetado com essas pastilhas é proporcional à corrente elétrica que é fornecida e proporcional ao número de grupos de material semicondutor presentes na placa. Quando utilizadas em um sistema de refrigeração, esses módulos de peltier possuem um limite mínimo que a temperatura em seu lado frio pode atingir. Uma solução para diminuir esse valor mínimo é utilizando um meio de dissipação de calor no lado quente da placa mais eficiente, reduzindo sua temperatura. Isso ocasionaria em um maior resfriamento no lado frio.

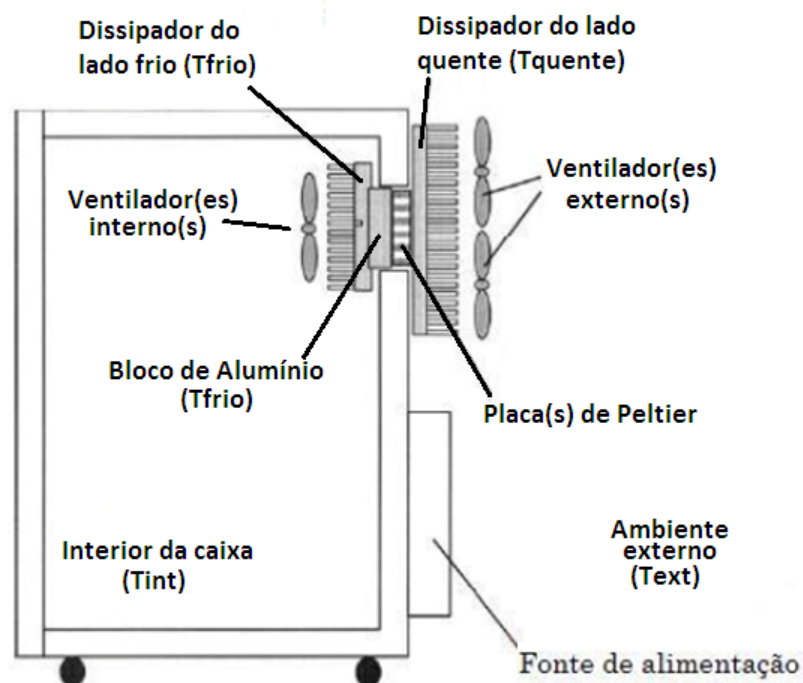
Os Equipamentos Danvic (2015) no entanto, apresentam uma nova alternativa, que sugere o empilhamento destas células de peltier para obter temperaturas mais baixas. Com isso, para uma mesma fonte de alimentação, o lado frio voltado para o meio externo alcança uma temperatura mais baixa, pois seu lado quente se equilibra com o lado frio da outra placa. Isso ocasionaria na necessidade de uma forma mais eficiente para dissipar o calor gerado no processo, que é maior do que para somente uma pastilha.

Leismann (2007) e Souza (2007) observaram que a forma mais eficaz de se utilizar os módulos de Peltier para refrigeração é utilizando um conjunto dissipador/ventilador no lado quente e também no lado frio das placas. Através dessa

junção, os dissipadores fornecem uma área maior de superfície de troca, para que a troca de calor com o ar se torne mais eficiente. No lado quente, o principal objetivo é dissipar o calor gerado na placa, resfriando esse lado. No lado frio a necessidade é de aumentar o potencial de resfriamento do ar ao redor da placa. Os ventiladores tem a função de aumentar o fluxo de ar nos dissipadores de modo a favorecer a troca de calor por convecção melhorando o desempenho do sistema como um todo. Para ilustrar isso, Souza (2007) apresenta a Figura 3 com a estrutura de um sistema de refrigeração termoelétrica adaptado a um pequeno recipiente a ser refrigerado.

Nessa figura são mostrados os conjuntos dissipador/ventilador que são geralmente usados em ambos os lados dos módulos de Peltier:

Figura 3 – Modelo de refrigerador termoelétrico



Fonte: Souza (2007).

O uso da tecnologia peltier presentes nas pastilhas tem um grande número de vantagens como as descritas abaixo:

- Dispensa partes mecânicas móveis para refrigeração, ideal para uso com câmeras CCD.

- Aquece ou resfria, dependendo apenas da polaridade da alimentação, ideal para se utilizar em sistemas que exigem o controle eletrônico preciso da temperatura como lasers de diodo utilizados em telecomunicações.

- Não utiliza gases refrigerantes, tecnologia 100 % estado sólido, tendo boa confiabilidade e baixos níveis de ruído.

- Refrigeração localizada.

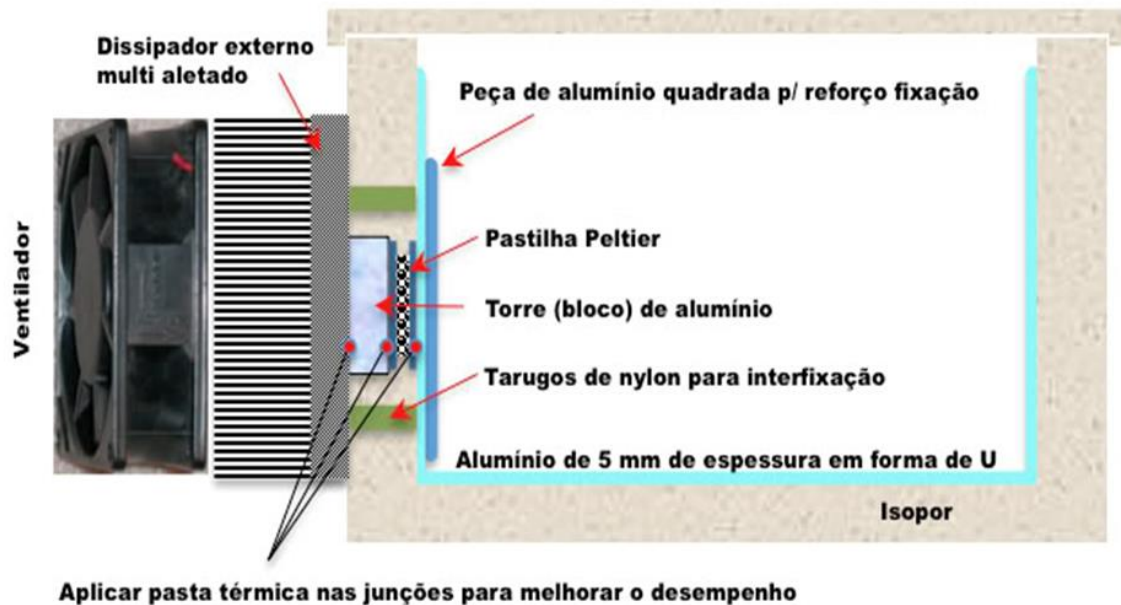
- Diferentes dos compressores, funcionam em qualquer orientação com/sem gravidade.

As características térmicas e elétricas que influenciam no desempenho dos módulos utilizados para refrigeração têm uma relação bastante complexa entre si de modo que para um projeto o fabricante disponibiliza um conjunto de curvas que permitem ao projetista selecionar os limites de operação do seu sistema. Algumas dessas combinações levam o sistema de um rendimento ótimo para um desempenho inaceitável.

2.4 MINI REFRIGERADOR

Conforme Jacson Machado (2015, p1), a troca de calor na parte interna dos compartimentos para o ambiente externo das pastilhas usadas no mini refrigerador se baseiam no fenômeno conhecido como “Efeito Peltier”, que consiste na produção gradiente da temperatura em duas junções de dois materiais condutores ou semicondutores diferentes quando submetidos a tensão elétrica em um circuito fechado percorrido por uma corrente elétrica. É utilizado em coolers em que usando uma diferença de potencial se pode transferir calor da junção fria para a quente aplicando – se polaridade elétrica adequada. Observa – se os componentes de um mini refrigerador na imagem ilustrativa abaixo:

Figura 4 – Modelo de refrigerador termoelétrico



Fonte: Souza (2007).

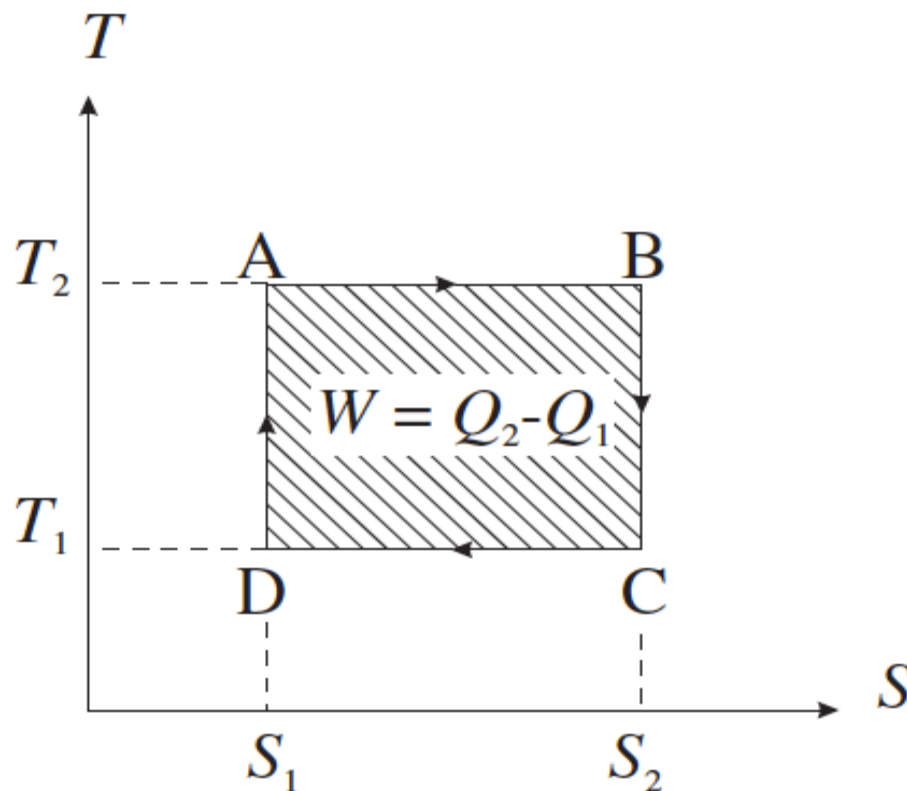
Quando uma corrente passa por um ou mais pares de semicondutores, observa-se uma redução na temperatura da junta, obtendo o lado frio da peça, resultando em uma absorção de calor do ambiente. Este calor é transferido pela pastilha através da movimentação dos elétrons (Jackson Machado, 2015). As pastilhas de Peltier desse mini refrigerador operam com tensões que variam de 5 até 12 volts, pode ser pelo USB do computador, já que este pode oferecer uma tensão de 5 volts.

Observada pelo físico e engenheiro francês Nicolas Leonard Sadi Carnot, a máquina térmica ideal de Carnot é um modelo hipotético e sua importância para a área da termodinâmica é que nenhuma máquina térmica real que opere entre duas fontes térmicas de temperaturas diferentes pode alcançar uma eficiência maior que a máquina térmica de Carnot trabalhando com as mesmas temperaturas. Esse modelo teórico pode ser utilizado como parâmetro para a análise do rendimento de máquinas térmicas reais. Ele pode também ser utilizado da mesma maneira para sistemas de refrigeração já que estes funcionam pelo mesmo princípio, mas operando no sentido inverso do chamado ciclo de Carnot, que está representado na Figura 5 em um gráfico de Temperatura por Entropia (T-S). (Núcleo de Construção de Objetos de Aprendizagem da UFPB (NOA/UFPB), 2016).

Essa figura ilustra os 4 processos reversíveis que compõem o ciclo de Carnot. No caso de um refrigerador, em um dos processos desse ciclo (de D para C), o calor

é retirado da fonte fria (T_1) e, em outro processo (de B para A), esse calor é cedido à fonte quente (T_2). Em ambos os demais processos (de A para D e de C para B), não há troca de calor entre as fontes (entropia constante).

Figura 5 – Gráfico Temperatura por Entropia

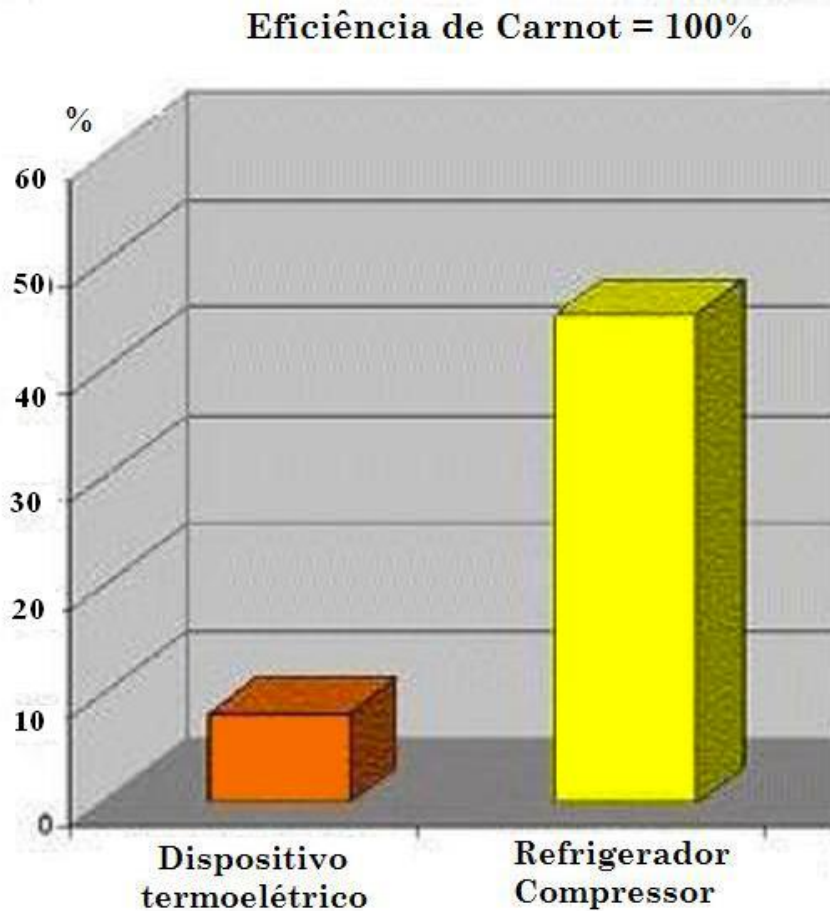


Fonte: Fontes (2009).

A Equipamentos Danvic (2015) e Macagnan (2015) citam a respeito do rendimento baixo alcançado com sistema de refrigeração usando placas de Peltier, motivo pelo qual esse tipo de sistema ainda não pode substituir os demais métodos de refrigeração, apesar de suas vantagens já descritas.

Souza (2007) reforça essa diferença com a Figura 6, onde compara o rendimento em relação ao refrigerador ideal de Carnot para dois sistemas de refrigeração, sendo um o termoelétrico e o outro de compressão a vapor:

Figura 6 – Comparação do rendimento de Carnot



Fonte: Souza (2007).

Na prática e conforme cita NOA/UFPB (2016), para o refrigerador termoeletrico, o valor do rendimento de Carnot pode ser calculado usando a Equação 8, onde as temperaturas são utilizadas em graus Kelvin (temperatura absoluta):

$$n = 1 - \frac{T_{frio}}{T_{quente}} \quad (8)$$

No caso de um refrigerador, além desse rendimento em relação à máquina ideal de Carnot, existe também o chamado COP (coeficiente de performance de refrigeração). E, conforme NOA/UFPB (2016), o valor desse COP é calculado pela equação 9, onde as temperaturas também estão em valores absolutos (graus Kelvin):

$$COP = \frac{T_{frio}}{T_{quente} - T_{frio}} \quad (9)$$

2.5 COOLERS E DISSIPADORES

Segundo o TechTudo, os coolers foram criados para resolver o problema de superaquecimento de determinados componentes eletrônicos. Tudo começou com engenheiros que colocaram placas de metal aletadas, geralmente de alumínio ou sobre em cima dos processadores de computadores para dissipar o calor. Essas placas são conhecidas como "dissipadores de calor". Com a evolução desses processadores, só essa tecnologia não foi suficiente. Foi quando decidiram colocar um ventilador em cima dessas placas de metal para ajudar a resfriar o computador. Esses ventiladores são conhecidos como "coolers".

2.6 SENSOR DE TEMPERATURA

Os sensores de temperatura são transdutores que convertem a grandeza física temperatura em um sinal elétrico. (OMEGA ENGINEERING, 2014).

2.7 MULTÍMETRO

Segundo Talita Alves, é um aparelho de medição elétrico que pode medir a corrente de três tipos diferentes: Voltímetro, Ohmímetro e Amperímetro. O multímetro é capaz de medir:

- Corrente elétrica (contínua e alternada) – função amperímetro
- Tensão elétrica (contínua e alternada) – função voltímetro
- Resistência elétrica - função ohmímetro
- Capacitância
- Frequência de sinais alternados
- Temperatura

Para realizar a respectiva medição, basta fazer o movimento rotativo que seleciona a função a ser realizada. Existem dois tipos de multímetros, os analógicos e os digitais.

- Multímetros analógicos – Baseados nos Galvanômetros, cuja verificação da leitura acontece por meio de força eletromagnética em seu ponteiro.
- Multímetros Digitais - Composto por um componente eletrônico versátil, chamado de amplificador operacional.

2.8 FONTE CHAVEADA

A fonte chaveada é o componente que está em contato com a rede elétrica e é responsável por encaminhar a energia ao sistema. Ela possui um circuito integrado usado para que ela regule a tensão de saída de forma a atender as demandas de todo o sistema. (TechTudo, 2015).

2.9 ISOLAMENTO

Materiais que contem baixo coeficiente de condutividade “k”. São geralmente porosos, com elevada resistência térmica. A convecção por irradiação nos materiais isolantes são desprezíveis, tendo em vista a baixa condutividade de ar contida em seus vazios. O limite dessa capacidade é o da condução pura do ar em repouso cujo o valor é de 0,02Kcal/mh°C (Costa, 1982).

O objetivo do isolamento do frio é reduzir as trocas térmicas indesejáveis e manter a temperaturas da parede externa do recinto isolada, lado quente, próxima a do ambiente (Costa, 1982).

Um bom isolante térmico deve conter as qualidades seguintes:

- Baixa condutividade térmica
- Boa resistência mecânica
- Não deve sofrer influencia física devido as temperaturas de aplicação
- Não ser inflamável
- Barato e de fácil acesso

Como será uma caixa térmica de isopor, 100% de poliestireno e desconsiderando o isolamento de EVA que será feito, é necessário saber suas propriedades:

Tabela 1: Propriedades do isolante térmico poliestireno expandido

Material isolante	γ Kg/m ³	K Kcal m h °C	Permeabilidade gm / h mmHg
Poliestireno expandido	15 a 30	0,028	1,3 a 1,82

(Fonte: O Autor adaptado de Costa, 1982).

2.10 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor é o estudo das taxas de troca de calor entre uma fonte que gera calor e outra que recebe esse calor, sendo que a diferença de temperatura entre os meios pode ser descrita como uma força motriz que rege a transmissão de calor. (Kern 1987)

Segundo Incropera (2008), a transferência de calor é a energia térmica em trânsito originada de uma diferença de temperatura no espaço.

2.10.1 Taxa de transferência de calor das latas de cerveja

Como precisamos calcular a quantidade de calor necessária para refrigerar a massa da cerveja, utilizaremos as seguintes equações:

Para Çengel e Ghajar (2012):

Volume total das latas de cerveja (Equação 10):

$$V = n^{\circ} \cdot m \quad (2)$$

Onde:

V = Volume;

m = Massa específica;

n° = número de latas de cerveja.

Com o volume das 15 latas, multiplicamos pelo massa especifica para calcular a massa total (Equação 11):

$$m = p . V \quad (11)$$

Onde:

m = Massa;

ρ = Massa especifica;

V = Volume.

Com o valor da massa total, agora podemos calcular a taxa de transferência total (Equação 12):

$$Q_{total\ da\ cerveja} = m . cp . \Delta T \quad (12)$$

Onde:

Q = Taxa de transferência de calor;

m = Massa;

cp = Calor específico;

ΔT = Diferença de temperatura.

Transformação de J para W (Equação 13):

$$Q_{total\ da\ cerveja} = \frac{J}{s} \quad (13)$$

2.10.2 Transferência de calor por convecção

Convecção é o modo de transferência de calor entre a superfície sólida, líquida ou gás, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012). Existem dois tipos de convecção, a natural e a forçada.

O escoamento será um escoamento externo forçado, que ocorre em função dos coolers que serão colocados na parte inteira da caixa, por isso devemos calcular

a transferência de calor por convecção. O escoamento pode ser turbulento, laminar ou combinado, que será definido pela Equação 14, de Reynolds.

Segundo Çengel e Ghajar (2012), este parâmetro adimensional é nomeado em homenagem a Osborn Reynolds, que por seus experimentos com regimes de escoamento relacionou a forma com que o fluido escoar (regime laminar ou turbulento) com a razão entre as forças de inércia e viscosas do fluido.

Para Çengel e Ghajar (2012)::

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (14)$$

Onde:

Re = Número de Reynolds;

ρ = Massa específica;

V = Velocidade específica;

μ = Viscosidade;

L = Comprimento;

ν = Viscosidade cinemática.

Essas variáveis são do ar, então devemos definir primeiro a temperatura de filme para buscar as propriedades na tabela termodinâmica. (Equação 15)

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (15)$$

Onde:

T_f = Temperatura de filme;

T_s = Temperatura da superfície;

T = Temperatura do ambiente.

O próximo passo é achar o coeficiente de película, o Nu. Segundo Çengel e Ghajar (2012), o número de Nusselt é um coeficiente adimensional de transferência de calor por convecção, originado das pesquisas de Wilhelm Nusselt, que representa a relação entre a transferência de energia térmica proporcionada pelo fenômeno da convecção, através de uma camada de fluido, e a condução estabelecida no sistema.

Para definirmos se é escoamento laminar, turbulento ou combinado. Esse é dado pelas Equações 16, 17 ou 18:

Laminar ($Re < 5 \times 10^5$)

$$Nu = 0,664 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (16)$$

Turbulento ($0,6 < Pr \leq 60$ e $5 \times 10^5 \leq Re \leq 10^7$)

$$Nu = 0,037 Re^{1/4} Pr^{1/3} \quad (17)$$

Combinado ($0,6 < Pr \leq 60$ e $5 \times 10^5 \leq Re \leq 10^7$)

$$Nu = (0,037 Re^{4/5} - 871) Pr^{1/3} \quad (18)$$

Onde:

Nu: Número de Nusselt;

Re: Número de Reynolds;

Pr: Número de Prandtl.

Após calcular o Nu, definimos o h (Equação 19):

$$h = \frac{Nu \cdot K}{L} \quad (19)$$

Onde:

L = Comprimento;

k = Condutividade térmica;

h = Coeficiente de película;

Nu = Número de Nusselt.

Com todos os dados adquiridos, podemos calcular a carga térmica de convecção (Equação 20):

$$Q_{convecção} = h \cdot A_s \cdot \Delta T \quad (20)$$

Onde:

h: Coeficiente de película;

As: Área superficial;

ΔT : Diferença de temperatura.

2.10.3 Transferência de calor por condução

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a taxa de condução de calor através de uma camada plana é proporcional à diferença de temperatura através da camada e à área de transferência de calor, mas inversamente proporcional à espessura da camada.

Como a caixa térmica será de isopor, poliestireno, com espessura de 20mm, o fluxo de calor pode ser calculado pela Equação 21:

$$Q_{\text{condução}} = \frac{k \cdot A_s \cdot \Delta T}{L} \quad (21)$$

Onde:

Q = fluxo de calor;

k = condutividade térmica;

A_s = área superficial;

ΔT = diferença de temperatura;

L = espessura da parede.

2.10.4 Cálculo do total de placas de peltier

Após o cálculo da carga térmica, a equação que define o número de placas total se dá em conta do somatório de todas as cargas térmicas, dividido pela potência que cada pastilha é capaz de produzir (Equação 22).

$$\text{Quantidade de placas} = \frac{Q_{\text{latas}} + Q_{\text{conv}} + Q_{\text{cond}}}{P_p} \quad (22)$$

Onde:

Q = quantidade de placas;

Q_{latas} = carga térmica total através da massa da cerveja;

Q_{conv} = carga térmica por convecção;

Q_{cond} = carga térmica por condução;

P_p = potência das placas termoelétrica.

3 METODOLOGIA

O estudo desse trabalho demonstra características de uma pesquisa de cunho descritivo e experimental, pois será feito o protótipo do recipiente e analisado os dados após os cálculos.

Segundo Vergara (2000, p.47), a pesquisa descritiva tem as características de estabelecer correlações entre variáveis e define sua natureza. Ele também cita que a pesquisa não tem o objetivo de explicar os fenômenos que descreve, embora pode servir de base para tal explicação. Seguindo a mesma linha, Mattar (1999) ressalta a inter-relação com o problema de pesquisa, ao escrever que esse tipo de pesquisa deverá ser utilizado quando o intuito do estudo for descrever as características de grupos, estimar a proporção de elementos que tenham determinadas características ou comportamentos.

A pesquisa do presente estudo, portanto, é descritiva por tentar descrever as características de um sistema de refrigeração utilizando as placas de peltier.

Já pesquisa experimental, segundo Gil (2008, p.7), constitui o mais valioso procedimento disponível aos cientistas para testar novas hipóteses e estabelecerem relações de causa e efeito entre as variáveis. Em virtude de suas possibilidades de controle, os experimentos fornecem uma garantia muito maior do que qualquer outro tipo de pesquisa em que a variável independente causa efeitos na variável dependente.

3.1 MATERIAIS

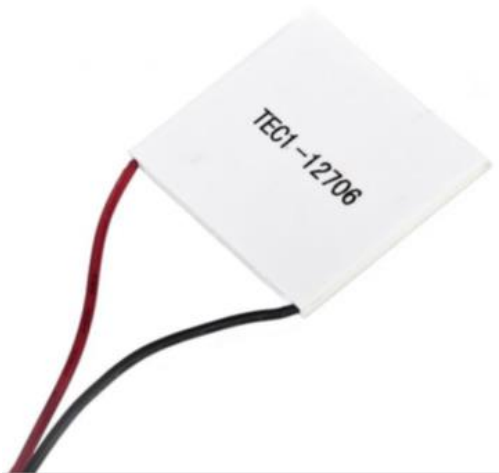
3.1.1 Cerveja

A cerveja enlatada de 269ml, com $\rho = 0,9982\text{g}$ (utilizando da água a 20°C), com temperatura ambiente de 20°C e temperatura interna para consumo próximas a 3°C.

3.1.2 Placas de Peltier

A placa de Peltier (Figura 7), do modelo TEC1-12706 onde o 127 é o número de junções de cada módulo. Tem 60W com 12V e trabalham em até 6A. Suas dimensões são 40 mm de comprimento, 40 mm de largura e 3,9 mm de espessura (DANVIC, 2014).

Figura 7 – Placa de Peltier



Fonte: Danvic (2014).

3.1.3 Coolers e dissipadores externos

Cooler CPU LGA, modelo AUB0912H, alimentado com 12V, 0.30A de 2,5cm de espessura, 9cm de diâmetro. Com dissipador de mesmo diâmetro e 3cm de espessura. (Figura 8).

Figura 8 – Cooler e dissipador



Fonte: Welagon (2018).

3.1.4 Coolers e dissipadores internos

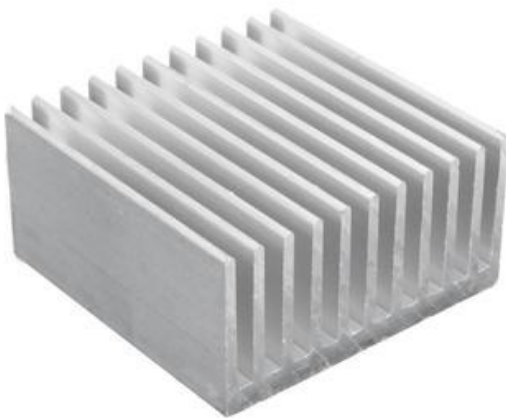
Cooler Wam, modelo W8025CY12SEMN, 12V, 0.14A. Trabalha a uma taxa de aproximadamente 1,22 m/s.

Figura 9 – Cooler



Fonte: Welagon (2018)

Figura 10 – Dissipador



Fonte: Banggoof (2018)

3.1.5 Sensor de Temperatura

Termômetro Dig Incoterm (Figura 11), com temperatura mínima -50°C e máxima 70°C. Sua faixa de exatidão varia de $\pm 1^\circ\text{C}$. Alimentado com 1 pilha de 1,5volts tipo AAA

Figura 11 – Termômetro



Fonte: Medjet (2018)

3.1.6 Multímetro

Multímetro digital (figura 12), modelo ET-1649, alimentação 2x1,5V AA (R6P), Precisão de 0,7%, Display LCD/Contagem 3 5/6 Dígitos/6000.

Figura 12 – Multímetro



Fonte: Próprio autor (2018)

3.1.7 Fonte chaveada

Fonte chaveada Green (figura 13). Com tensão de entrada de 127/220v selecionado por chave. Tensão de saída 12Volts. Potência máxima de saída 240W. Com comprimento 20 cm, largura 11cm e altura 5cm.

Figura 13 – Fonte chaveada



Fonte: Chipsce (2018)

3.1.8 Caixa Térmica

O recipiente que usaremos será uma caixa térmica de isopor Knauf, com capacidade de 12 litros e dimensões de 300x185x261mm. O material do mesmo é de poliestireno expandido. (Figura 14)

Figura 14 – Caixa térmica



Fonte: Chipsce (2018)

3.2 MÉTODOS

Para a realização do projeto, foi levando em conta todos os cálculos a serem feitos segundo as fórmulas já citadas anteriormente. Para montagem do recipiente, foi necessário todo o período letivo 2018/2 do calendário acadêmico do Centro Acadêmico Assis Gurgacz, pois as atividades do projeto foram conciliadas com as disciplinas cursadas no décimo período de engenharia mecânica.

3.2.1 Quantidade de latas

Tendo em vista que a cervejaria Brahma só vende packs de 15 unidades para as latinhas de 269 ml, foi definido que o intuito será refrigerar uma caixinha de cerveja. (15 latas, 269ml), de Brahma.

3.2.2 Posicionamento das latas

Para que ocorra uma melhor troca térmica, elas foram colocadas deitadas dentro do recipiente, o que faz com que a área superficial para troca de calor seja maior, consequentemente melhora a troca térmica. Também foi deixado uma certa folga para a circulação do ar e a retirada de calor pela convecção forçada seja melhor

3.2.3 Cálculo da massa total de cerveja

Como já definimos a quantidade de latas, precisamos calcular a taxa de transferência de calor necessária para fazer o resfriamento das mesmas. Para isso, utilizaremos os valores da tabela 2 abaixo:

Tabela 2: Propriedades da cerveja.

Quantidade de latas (nº de latas)	Calor específico (cp)	Massa específica (usando da água a 20°C) (ρ)	Volume (V)	Diferença de temperatura
15 latas	1007 J/Kg K	0,9982g/ml	269ml	(20 – 3)°C

(fonte: O Autor, adaptado de Çengel, 4 edição).

Através da equação 10, podemos calcular o volume das latas de cerveja:

$$V = n^{\circ} . m = 15latas . 269ml = \mathbf{4035ml}$$

Onde:

Nºlatas = Numero de latas de cerveja;

m = Massa cerveja.

Com a equação 11, calculamos a massa total das 15 latas de cerveja:

$$m = p . V = \frac{0,9982g}{ml} . 4035ml = \mathbf{4.027,73g}$$

Onde:

p = Massa específica;

V= Volume.

Como encontramos a massa em g, devemos dividir por 1000 para achar em kg, pois 1kg é equivalente a 1000g.

$$m = \frac{4035g}{1000} = \mathbf{4,0277kg}$$

Com a massa já calculada, podemos substituir na equação 12, da taxa de transferência de calor:

$$Q_{total\ da\ cerveja} = m . cp . \Delta T = 4,02277kg . 1007 \frac{J}{kg\ K} . (20 - 3) =$$

$$\mathbf{68950,1963\ J}$$

Q = Taxa de transferência de calor;

M = Massa;

Cp = Calor específico;

ΔT : Diferença de temperatura.

Lembrando que o calor gerado pelas placas de peltier é medido em W, por isso deve-se transformar J em W segundo a equação 13. O tempo estipulado para o resfriamento foi definido em 8 minutos.

$$Q_{total\ da\ cerveja} = \frac{J}{s} = \frac{68950,19631\ J}{60s \cdot 8min} = \mathbf{143,03\ W}$$

3.2.4 Cálculo da transferência de calor por convecção

Devemos calcular o calor total de convecção no interior da caixa. Com as dimensões da caixa já definidas, a velocidade do cooler de aproximadamente 1,22 m/s e as propriedades do ar a temperatura de película que foi definida em 15°C, é só substituir nas seguintes equações.

Tabela 3: Propriedades do ar a 15°C.

Viscosidade (ν) (m^2/s)	Condutividade térmica (K)(W/m . K)	Pr
$1,470 \cdot 10^{-5}\ m^2/s$	0,02476W/mK	0,7323

Fonte: O Autor adaptado de Çengel (2011, pg)

Calculando Reynolds pela equação 14, temos:

$$Re = \frac{p \cdot V \cdot L}{u} = \frac{V \cdot L}{\nu} = \frac{\frac{1,22m}{s} \cdot 0,3m}{1,470 \cdot 10^{-5}\ m^2/s} = \mathbf{24897,95}$$

A partir desse valor, definiu-se que o Nu é laminar, com isso usaremos a equação 16.

Laminar ($Re < 5 \times 10^5$)

$$Nu = 0,664Re^{1/2}Pr^{1/3} = 0,664.24897,95^{0,5}.0,7323^{1/3} = \mathbf{94,43}$$

Coeficiente de película é obtido pela equação 19:

$$h = \frac{Nu \cdot K}{L} = \frac{94,43 \cdot 0,02476W/mK}{0,3m} = \mathbf{7,7993W/m^2K}$$

Com todas as variáveis calculadas, podemos então determinar a convecção interna através da equação 20. Será calculado a convecção utilizando a temperatura ambiente de 30°C.

$$Q_{convecção} = h \cdot As \cdot \Delta T = 7,7993 \frac{W}{m^2K} \cdot (0,3 \cdot 0,185) \cdot (30 - 3) = \mathbf{11,67W}$$

3.2.5 Cálculo da transferência de calor por condução

O isolamento do recipiente é de poliestireno expandido, que tem seu k definido na tabela 1. A sua própria espessura vai isolar o recipiente. Assim o fluxo de calor que atravessa a parede, pode ser determinado com o $Q_{condução}$ dado pela equação 21:

$$Q_{condução} = \frac{k \cdot As \cdot \Delta T}{L} = \frac{\frac{0,028W}{mK} \cdot (0,3 \cdot 0,185)m \cdot ((30+273)-(3+273))^{\circ K}}{0,20m} = \mathbf{0,2097W}$$

3.2.6 Cálculo da quantidade de placas necessárias

A partir dos valores obtidos de carga térmica para cada situação de transferência de calor, o número de pastilhas termoeletrônicas necessárias para fazer a refrigeração será fornecido pela equação 22. Utilizando placas de peltier que fornecem até 60W.

$$Quantidade\ de\ placas = \frac{Q_{latas} + Q_{conv} + Q_{cond}}{P_p} =$$

$$\frac{143,03\ W + 11,67W + 0,2097W}{60\ W} = 2,5$$

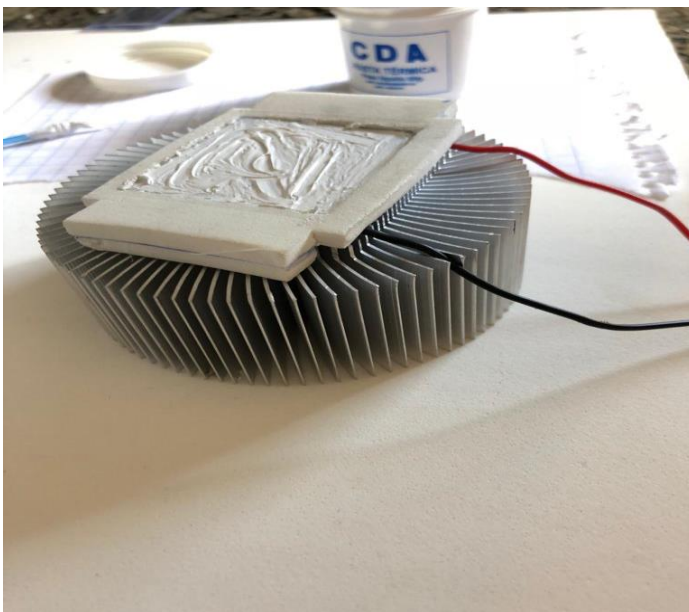
Através do cálculo verifica-se que era necessário 2 pastilhas e meia. Para questão de arredondamento, folga no sistema e fluxo uniforme, utilizaremos 4 placas de peltier para realizar a refrigeração do protótipo.

3.2.7 Montagem do recipiente

Com todos os materiais já definidos, o próximo passo foi começar a montagem do recipiente para testes. Essa montagem foi realizada em dias alternados, contando com auxílios de equipamentos dos laboratórios FAG, conciliando com estudos das matérias cursadas no 10º período e levou cerca de 3 semanas para ser concluída.

A montagem começou a ser realizada pelo sistema externo da caixa, onde a prioridade foi a parte de exaustão do calor fornecido pela parte quente da pastilha, fazendo um sistema de isolamento da pastilha com isopor EVA, passando pasta térmica em cima da placa peltier e anexando ela aos dissipadores e coolers externos, como podemos ver na figura 15:

Figura 15 – Isolamento da parte quente



Fonte: Próprio autor (2018).

Na sequência, novamente passamos pasta térmica e anexamos o dissipador que ficaria na parte interna da caixa, ao lado frio pra placa de peltier, deixando ela entre eles, com as partes frias e quentes bem isoladas. Lembrando que para ter um bom rendimento, os dois dissipadores devem estar bem colados a placa, por isso ultimamos arames pra fixar bem o conjunto, como podemos ver na figura 16:

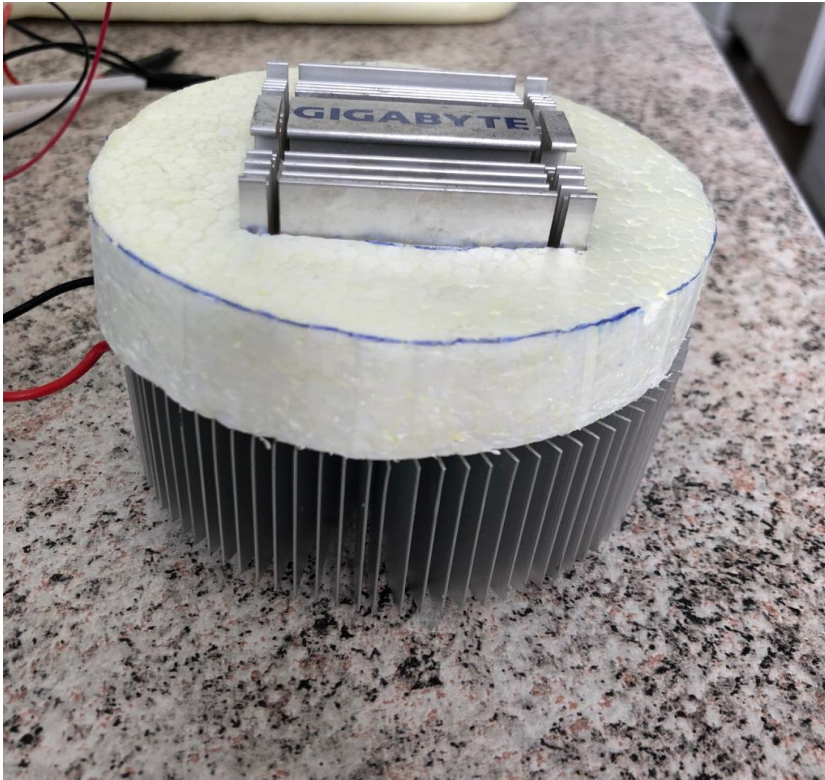
Figura 16 – Placa isolada entre dissipadores



Fonte: Próprio autor (2018).

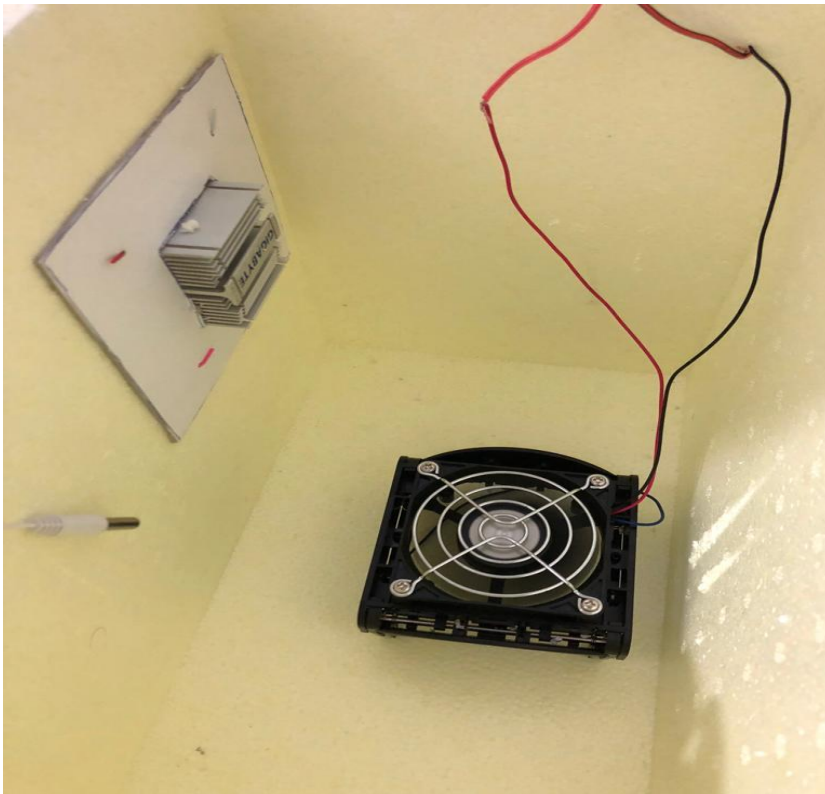
Após essa etapa, foi feito um corte redondo na caixa de isopor para anexar o sistema, através desse corte isolamos a parte do dissipador quente que estava sobrando, fazendo com que somente o dissipador frio ficasse dentro da caixa. Foi utilizado papelão (mais precisamente capas de caderno) e parafusos passantes para fazer a fixação do cooler externo com o interior da caixa. As imagens a seguir representam esse processo.

Figura 17 – Recorte da caixa.



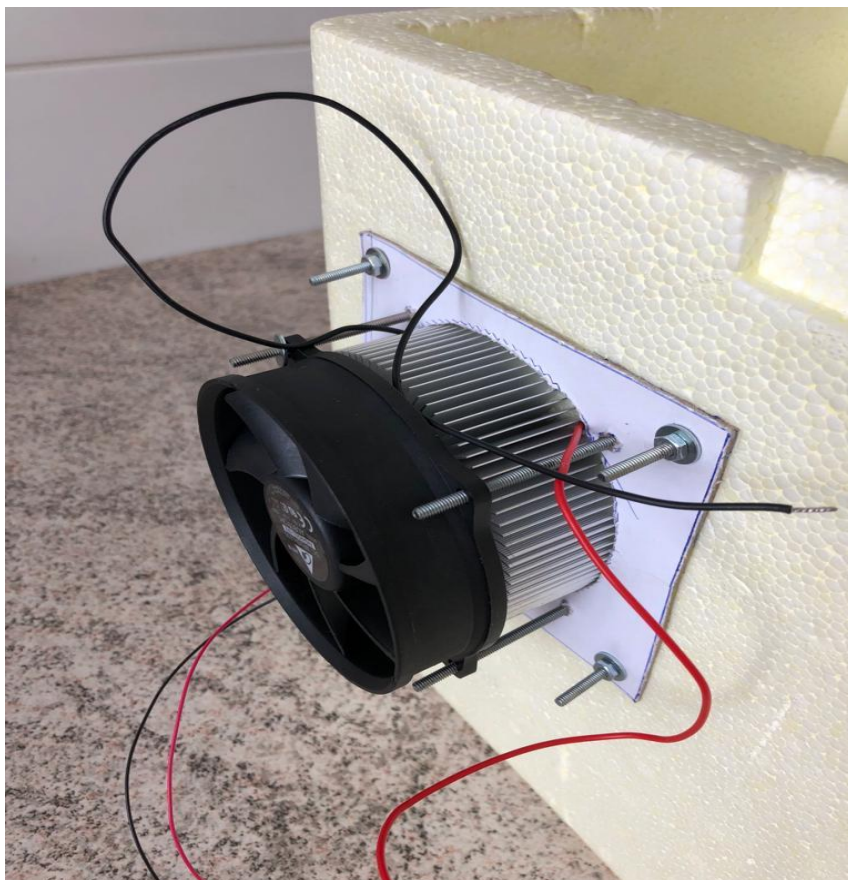
Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 18 – Visão interna da caixa.



Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 19 – Visão externa da caixa.



Fonte: Próprio autor (2018).

O cooler interno da caixa foi preso junto ao dissipador somente com fita durex, pois como foram feitos vários testes, foi tomado um cuidado para evitar que o recipiente fosse furado em vários locais, podendo ocasionar a perda do material inteiro, ou seja, a troca da caixa de isopor.

Em seguida foi realizado o primeiro teste, com o recipiente vazio, ligando uma placa peltier e o cooler externo, sem o cooler interno, somente para medir a temperatura do dissipador interno. O próximo teste foi realizado com os dois coolers (inteiro e externo), através de fios de eletricidade 4mm, na fonte chaveada 12V. A medição da temperatura inicial e final foi feita através do termômetro que foi fixado em uma posição ao meio da caixa, e a medição de amperagem através do multímetro. O tempo de duração do teste foi de 30 minutos.

Com os primeiros testes feitos, o processo de montagem e isolamento foi replicado para as demais quatro placas, onde foram divididas duas placas e quatro coolers (inteiro e externo) para cada lado da caixa. Como a fonte tem três entradas

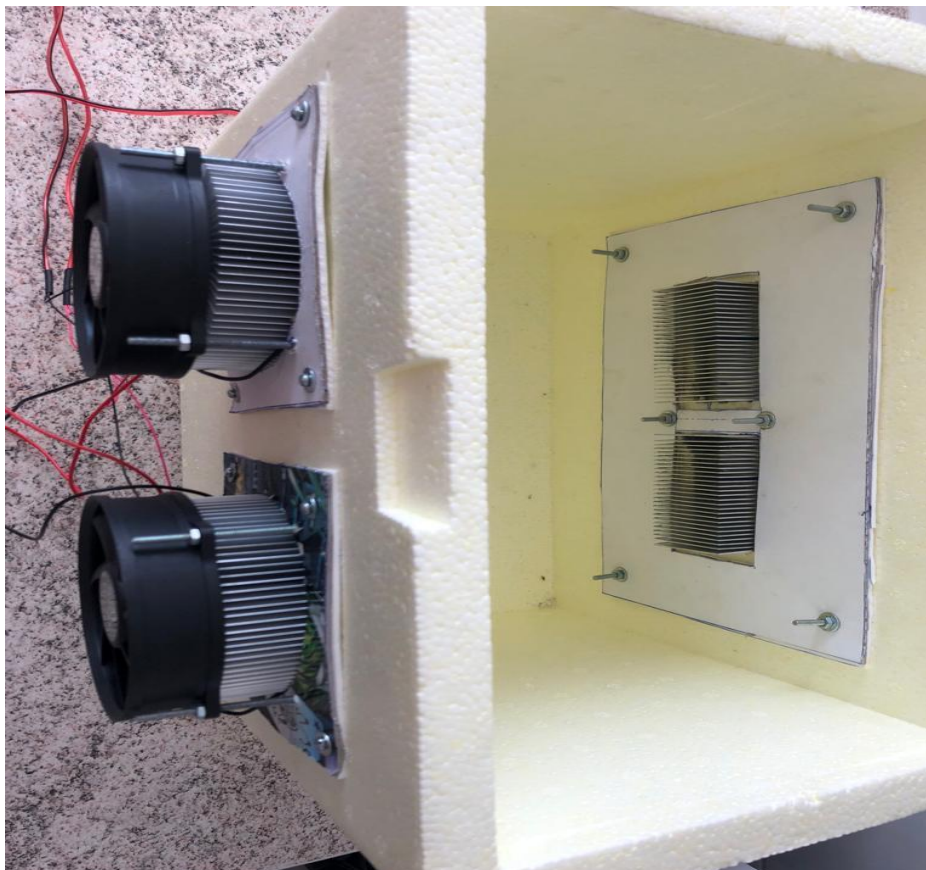
mais a da energia, o sistema foi dividido para que todos os coolers sejam ligados juntos, e um par de placas ligados em paralelo em cada entrada da fonte.

Após a montagem de todo o recipiente, foram feitos outros cinco testes. O terceiro teste realizado, foi ligar todo o sistema somente com os quatro coolers externos, sem os coolers internos, para analisar o que aconteceria com os dissipadores dentro do recipiente.

O quarto teste foi ligar duas placas de peltier em paralelo, com os coolers externos, e o inteiros presos junto aos dissipadores.

O quinto teste aconteceu com três placas de peltier, três coolers externos e três internos. E por fim o ultimo teste foi realizado com o sistema completo ligado, mas ainda sem as latas de cerveja, com as quatro placas termoeletricas, os quatro coolers externos para resfriar o lado quente e os quatro coolers internos para efetuar uma melhor troca térmica dentro do protótipo. Todos os testes foram feitos com o sistema trabalhando por trinta minutos cada um.

Figura 20 – Visão externa e interna da caixa sem os coolers dentro.



Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 21 – Visão interna da caixa com coolers internos presos.



Fonte: Próprio autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o término dos cinco testes descritos no trabalho, com o auxílio do multímetro e do sensor de temperatura, foi possível obter os dados para a análise do comportamento do recipiente. A tabela 4 descreve os resultados:

Tabela 4: Resultados.

Componentes	Ti = Temperatura interna inicial do recipiente	Te = Temperatura inteira final do recipiente
4 placas de peltier ligadas 4 Coolers externos Sem coolers interno	Ti = 29°C	Te = A temperatura interna da caixa variou 1°C, por isso medimos a temperatura diretamente nos dissipadores. Temperatura que chegou em media a 7°C em cada dissipador.
1 placa de peltier ligada 1 cooler externo 1 cooler interno	Ti = 25,5°C	Te = 23°C
2 placas de peltier ligadas 2 coolers externos 2 coolers internos	Ti = 26°C	Te = 20°C
3 placas de peltier ligadas 3 coolers externos 3 coolers internos	Ti = 25°C	Te = 18,3°C
4 placas de peltier ligadas 4 coolers externos 4 coolers internos	Ti = 27,3°C	Te = 16°C

(Fonte: Próprio autor, 2018)

Através dessa tabela, podemos observar que o último teste foi o que obteve melhor resultado, com uma variação de 11,3°C. Com isso analisamos que quanto mais placas de peltier ligadas e mais coolers, maior será a variação de temperatura que

ocorrerá no recipiente. A isolação dos lados quentes e frios da pastilhas peltier também influenciaram diretamente nessa variação, podendo essa ser uma causa de que a variação de temperatura foi baixa. Lembrando que esses dados foram obtidos através de um tempo determinado de meia hora para cada teste.

A fonte 12A utilizada para teste supriu a necessidade do sistema, pois foi feita a medição separada das placas de peltier e os coolers, com todos os componentes ligados e constatou-se que cada pastilha peltier trabalhou em média com 3,5A. e os 8 coolers juntos consumiram em média 1,6A.

A potência de trabalho das pastilhas de peltier também influenciaram no desempenho do sistema, pois essas trabalharam com 6A e como foi medido, as do protótipo estavam trabalhando com 3,5A, o que fez com que a pastilha não trabalhasse na sua máxima potência de 60W, podendo ser essa outra causa da baixa variação de temperatura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a definição da quantidades de latas, tamanho do recipiente e tempo estipulado para a refrigeração, foi possível através dos cálculos obter a quantidade de placas de peltier que eram necessárias para refrigerar o recipiente. Depois de feita a montagem do mini refrigerador, com os resultados dos testes feitos, chegamos a conclusão de que o protótipo montado no referido trabalho não atende as condições propostas, pois as quatro placas de peltier não foram suficientes para refrigerar o recipiente vazio, consequentemente não conseguiram refrigerar as 15 latinhas de cerveja 269ml em 8 minutos, como estabelecido nos objetivos do trabalho.

5.1 CONTRIBUIÇÕES

Por fim constatamos que o sistema de refrigeração termoelétrico pode ser um método alternativo para substituir os fluidos refrigerantes dos sistemas convencionais de refrigeração, mas esse ainda pode não ser viável devido seu alto custo e seu baixo desempenho, pois esse não fornece grande quantidade de carga térmica para fazer a refrigeração de ambientes de grande porte. Outro ponto negativo é que esse sistema precisa ter um bom isolamento térmico entre a parte quente e fria da placa de peltier, para obter uma maior variação de temperatura.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Comparação utilizando as placas de peltier em série e em paralelo;
- Utilização de mais placas termoelétricas de peltier para a refrigeração;
- Fazer um protótipo em que as placas de peltier e os coolers fiquem anexados na parte superior do recipiente, para que ocorra uma troca térmica mais rápida;
- Utilização do mesmo sistema para um recipiente menor.

6 REFERÊNCIAS

Americo, **José.** Disponível em: www.univasf.edu.br/~joseamerico.moura/index_arquivos/Cap6.pdf Acesso em 20/05/2018

ARANTES, RODRIGO (2013). **Controle da temperatura da água utilizando microcontrolador.**

ÇENGEL, Y. A., GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa.** 4. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

COSTA, ENIO CRUZ. (1982). **Refrigeração.**

DANVIC. **Peltier.** Disponível em: <http://www.peltier.com.br/produtos.htm> Acesso em 20/05/2018.

DIAS MOREIRA, AMANDA; MENEZES, MARCELINO. (). **Trabalho interdisciplinar dirigido efeito peltier.**

DOS SANTOS, PAULO VITOR. (2016). **Trabalho de graduação desenvolvimento de recipiente fechado para condicionamento de produtos termolábeis.**

Energia Temo ambiente. Disponível em: www.energiatermoambiente.com.br/projeto/efeito-seebeck-geracao-de-energia-termoeletrica-p2016-02 Acesso em 04/08/2018

GIL, ANTONIO CARLOS. **Como classificar as pesquisas?**

INCROPERA, F. P., BERGMAN, T.L., DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MACHADO, JACSON. (2015). **Mini geladeira peltier.**

Mundo da Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/o-multimetro.htm> Acesso em 10/10/2018

Mundo Das marcas. Disponível em: www.mundodasmarcas.blogspot.com/2006/06/brama-nmero-1.html Acesso em 04/08/2018

Tech Tudo. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/01/entenda-o-que-sao-coolers-e-fans.html> Acesso em 03/10/2018.