

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

DANIEL AKIO TEIXEIRA
GUSTAVO CARVALHO NOIA

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO MÉTODO DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA
EM CONTRAPOSIÇÃO AO MÉTODO DE COMPRESSÃO

SÃO PAULO - SP
2018

**DANIEL AKIO TEIXEIRA
GUSTAVO CARVALHO NOIA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO MÉTODO DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA
EM CONTRAPOSIÇÃO AO MÉTODO DE COMPRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Tecnologia em Instalações
Elétricas da Faculdade de Tecnologia de São
Paulo, como requisito para obtenção do título
de Tecnólogo em Instalações Elétricas.

Orientador: Prof. Me. Romildo de Campos
Paradelo Jr

**SÃO PAULO - SP
2018**

**DANIEL AKIO TEIXEIRA
GUSTAVO CARVALHO NOIA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO MÉTODO DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA
EM CONTRAPOSIÇÃO AO MÉTODO DE COMPRESSÃO**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Romildo de Campos Paradelo Jr

Prof. Me. Helvio Fregolente Júnior

Prof. Nelson Massao Kanashiro

Aos amigos, professores e auxiliares docentes por toda ajuda que nos forneceram durante o período de elaboração deste trabalho

Agradecemos ao nosso orientador pela
paciência e pelos ensinamentos

“Para quem tem pensamento forte, o impossível é só questão de opinião”

Chorão - Charlie Brown Jr

RESUMO

Nos dias atuais, a sociedade como um todo tem procurado cada vez mais tecnologias que contribuem com a sustentabilidade, não agredindo o meio ambiente na fabricação do produto, o seu uso e, quando necessário, o seu descarte. Os maiores consumidores de energia elétrica, presentes em residências, prédios ou comércios, em geral, são os equipamentos responsáveis pela refrigeração, sendo eles refrigeradores e ares condicionados. Visando os problemas da sociedade atual, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo, tendo como foco a eficiência energética e térmica dos refrigeradores que utilizam o Efeito Peltier através do uso de pastilhas termoelétricas. Os resultados comprovaram que o protótipo montado demonstrou ineficiência no aspecto de uso comercial, porém promissor no que tange o consumo de energia elétrica, proporcionando assim estudos futuros da tecnologia.

Palavras-chaves: Efeito Peltier. Pastilha Termoelétrica. Eficiência energética. Inovação Tecnológica. Refrigerador.

ABSTRACT

Nowadays, the society as a whole have been looking for more technologies that contribute to sustainability, not attacking the environment during manufacture, use and, when necessary, discard. The biggest consumers, in general, are the equipments responsible for refrigeration, like refrigerators and air conditioners. Aiming the society's problems, this undergraduate thesis aims to show a study, focusing the energetic and thermal efficiency of refrigerators using Peltier effect through the use of thermoelectric pellets. The results showed inefficiency to commercial use, however promising in energy consumption, providing more studies about it in the future

Keywords: Peltier Effect. Thermoelectric Pellets. Energy Efficiency. Technologic Innovation. Refrigerator.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO EFEITO SEEBECK	15
FIGURA 2 - SENTIDO DA CORRENTE DE UMA PASTILHA TERMOELÉTRICA	16
FIGURA 3 - PASTILHAS TERMOELÉTRICAS EM SÉRIE	17
FIGURA 4 - DIFERENÇAS DE TEMPERATURAS OBTIDAS POR CADA MÓDULO DE LIGAÇÃO EM SÉRIE.....	18
FIGURA 5 - COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICO	19
FIGURA 6 - PROTÓTIPO DE GELADEIRA REALIZADO EM 2009	21
FIGURA 7 - PROTÓTIPO DE MICRO-ADEGA 2004	22
FIGURA 8 - DESENHO BASE PARA MONTAGEM DO PROTÓTIPO	27
FIGURA 9 - MARCAÇÃO DOS CENTROS DAS PASTILHAS TERMOELÉTRICAS	29
FIGURA 10 - CHAPA ENVELOPADA E CORTADA	29
FIGURA 11 - TAMPA ENVELOPADA POR FITA METÁLICA, COM OS CORTES NECESSÁRIOS	30
FIGURA 12 - CAIXA DE ISOPOR SENDO ENVELOPADA	30
FIGURA 13 - SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	31
FIGURA 14 - INTERIOR DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	31
FIGURA 15 - RADIADOR NA TAMPA.....	32
FIGURA 16 – CHAPA DE COMPENSADO COM A PASSAGEM DOS CABOS DOS RADIADORES	32
FIGURA 17 - PASSAGEM DO FIO DE COBRE PARA FIXAÇÃO DOS RADIADORES NA CHAPA	33
FIGURA 18 - PASTILHA TERMOELÉTRICA FIXADA NA CHAPA EM CONTATO COM O RADIADOR	33
FIGURA 19 - RADIADOR ENCAIXADO FINALIZANDO O SISTEMA	34
FIGURA 20 - REFRIGERADOR FINALIZADO.....	34
FIGURA 21 - POSICIONAMENTO DOS MEDIDORES	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPONENTES, FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS.....	28
TABELA 2 - PREÇOS COMERCIAIS DE REFRIGERADORES COM PORTE MÉDIO DE 45 LITROS	28
TABELA 3 - MEDIÇÕES DE CORRENTE X TEMPO	39
TABELA 4 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS MIDEA REFRIGERADOR MRC	43

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - TEMPERATURA DE ESTABILIZAÇÃO DO REFRIGERADOR VAZIO.....	38
GRÁFICO 2 - DIFERENÇA DE TEMPERATURAS ATINGIDAS POR 1 E 2 SISTEMAS REFRIGERADORES LIGADOS COM 1 GARRAFA DE 0,5 LITRO.....	40
GRÁFICO 3 - COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DA GARRAFA PLÁSTICA DE 0,5 LITRO GELADA NO INTERIOR DO REFRIGERADOR	41
GRÁFICO 4 - TEMPERATURA EM VOLUMES DIFERENTES X TEMPO	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1. EFEITO TERMOELÉTRICO	15
2.2. EFEITO SEEBECK	15
2.3. EFEITO PELTIER	16
2.4. COMPOSIÇÃO DE UMA PASTILHA TERMOELÉTRICA.....	19
2.5. APLICAÇÕES DA PASTILHA TERMOELÉTRICA	19
2.6. ESTUDOS JÁ REALIZADOS	20
2.6.1. <i>Geladeira Peltier (2009)</i>	20
2.6.2. <i>Projeto de uma micro-adeja climatizada de baixo custo (2004)</i>	21
2.6.3. <i>Refrigeração utilizando pastilhas de efeito Peltier (2010)</i>	22
3. METODOLOGIA UTILIZADA	23
3.1. MODELAMENTO MATEMÁTICO	23
3.1.1. CARGA TÉRMICA ATIVA	23
3.1.2. <i>Radiação</i>	24
3.1.3. <i>Convecção</i>	24
3.1.4. <i>Condução</i>	25
3.1.5. <i>Convecção e condução combinadas</i>	25
3.1.6. <i>Cálculo de potência</i>	26
3.1.7. <i>Cálculo de Energia</i>	26
3.2. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	27
3.2.1. <i>Melhorias realizadas</i>	35
4. ENSAIOS REALIZADOS.....	36
4.1. METODOLOGIAS E MEDIÇÕES DOS ENSAIOS.....	36
5. RESULTADOS OBTIDOS	38
5.1. ENSAIOS	38
5.1.1. <i>Números 1 e 2</i>	38
5.1.2. <i>Números 3 e 4</i>	39
5.1.3. <i>Número 5</i>	40

5.1.4. Números 6 e 7.....	41
5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS	42
5.3. ADVERSIDADES ENCONTRADAS.....	44
6. CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	45
7. REFERÊNCIAS	46
APÊNDICE A – TABELA DOS ENSAIOS 1 E 2.....	49
APÊNDICE B – TABELA DOS ENSAIOS 3 E 4.....	50
APÊNDICE C – TABELA DO ENSAIO 5.....	51
APÊNDICE D – TABELA DOS ENSAIOS 6 E 7.....	52

1. INTRODUÇÃO

Zimri-Lim em 1700 a.C. comandou a construção de uma das primeiras casas de gelo encontradas pelos historiadores até os dias atuais, isto nos leva ao ponto de que a refrigeração já era um problema recorrente para o ser humano, que o forçou a pensar em formas de manter seus alimentos conservados por um maior período de tempo.

Ao decorrer do tempo o ser humano descobriu novos meios mais eficientes de refrigeração, tornando-os mais acessíveis, passando por tecnologias como refrigeração por evaporação natural, por gelo, por expansão rápida do ar, pelo sistema de compressão e pelo efeito Peltier.

Dos métodos de refrigeração, o de efeito Peltier ainda se demonstra em processo de estudos e desenvolvimento tecnológico. Com o intuito de contribuir com os estudos relacionados ao efeito Peltier, decidiu-se fazer o estudo do mesmo comparando-o com o método de refrigeração por compressão.

A fim de averiguar a eficiência da refrigeração termoelétrica e sua competitividade de mercado comparado ao método de compressão, será construído um refrigerador de capacidade 45 Litros a base de refrigeração utilizando pastilhas termoelétricas, para obter uma comparação direta com frigobares encontradas no mercado com capacidade de volume semelhante.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

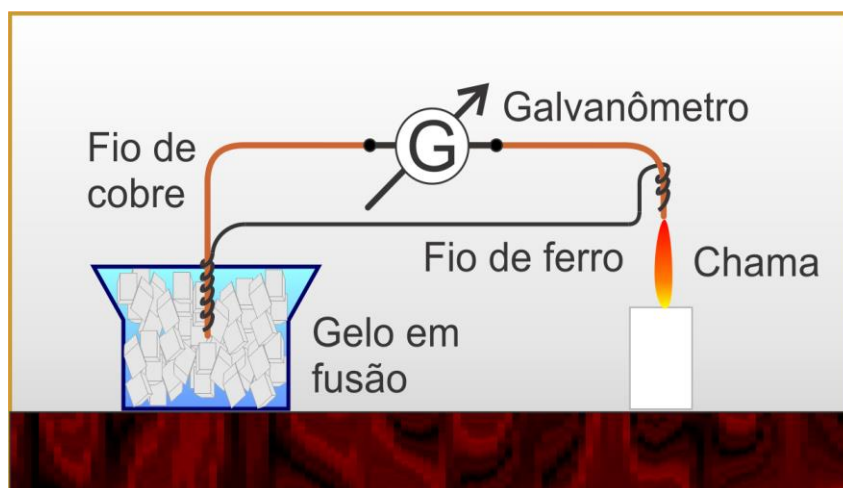
2.1. EFEITO TERMOELÉTRICO

Ao submeter um condutor a diferentes temperaturas, em suas extremidades é constatado uma força eletromotriz térmica que não ultrapassa a grandeza de milivolts.

2.2. EFEITO SEEBECK

Thomas Johann Seebeck em seu laboratório percebeu, que ao esquentar a junção de dois materiais condutores heterogêneos, sua bússola mudava de referencial, percebendo um campo eletromagnético nos condutores. Em 1821 após ter realizado seus experimentos com diversos materiais, publicou os respectivos resultados, divulgando assim seu “Coeficiente de Seebeck” ou “Potência Termoelétrica” que tem como grandeza $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. A Figura 1 apresenta como foi esquematizado a experiência de Seebeck.

Figura 1 - Ilustração efeito Seebeck



Fonte: Efeitos estudados em Física e seus descobridores - Os Fundamentos da Física (2015)

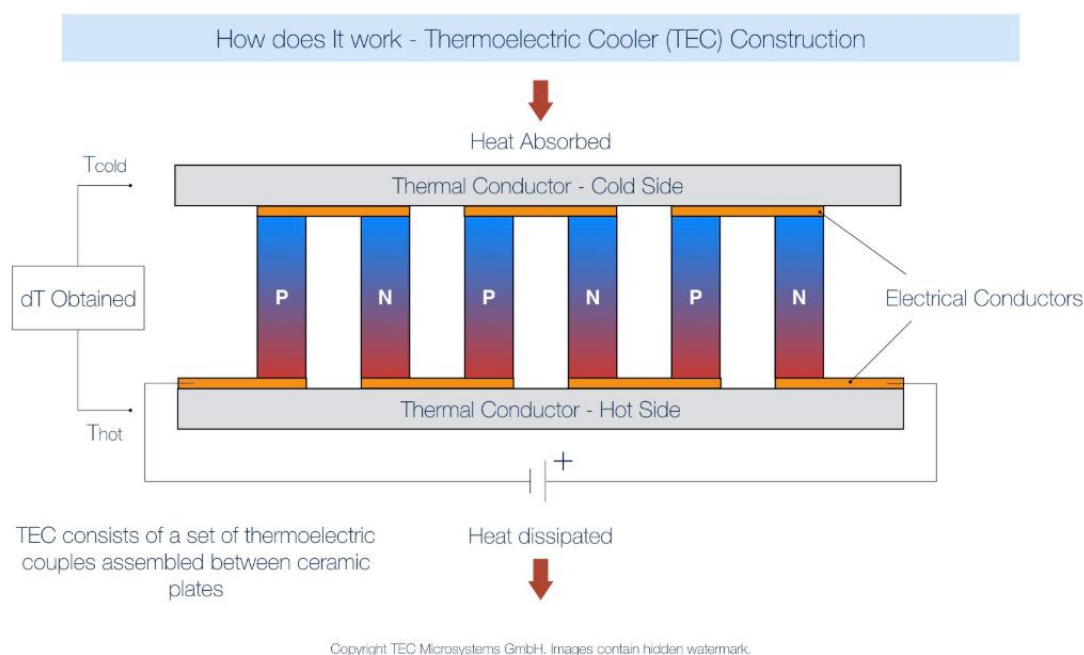
O efeito Seebeck foi o nome dado a geração de uma força eletromotriz térmica a partir das junções de condutores de materiais heterogêneos em diferentes temperaturas.

Foi constatado que a força eletromotriz térmica num circuito formado por dois metais heterogêneos é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre os seus contatos e varia com a natureza dos metais.

2.3. EFEITO PELTIER

Cerca de 12 anos após a descoberta de Seebeck, Jean Charles Athanase Peltier observou mudanças de temperatura na junção entre os condutores heterogêneos na presença de uma corrente, porém falhou ao notar a verdadeira natureza de suas observações. Lenz em 1838, notou que a absorção e a dissipação de calor eram dependentes do sentido da corrente na junção dos metais, como demonstra a Figura 2.

Figura 2 - Sentido da corrente de uma pastilha termoeétrica



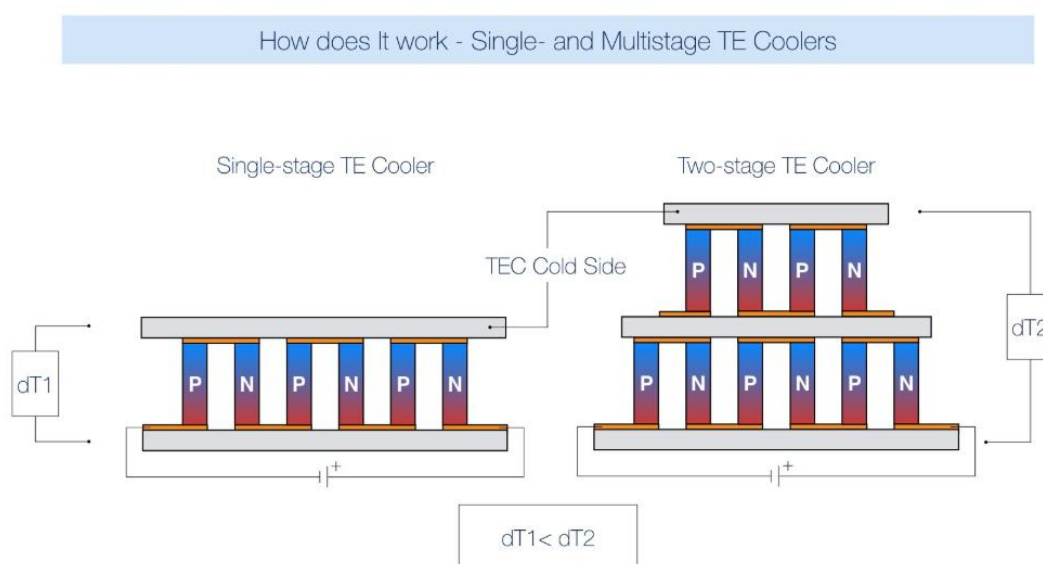
Fonte: Thermoelectric Cooler Construction – TEC Microsystems (2015)

A tensão gerada por metais heterogêneos, ao terem sua junção induzida por uma diferença de temperatura, chega na casa dos Centésimos de Milésimos (10^{-5}) por grau centígrado, ou seja, a força eletromotriz térmica é muito pequena para se ter o uso como geradores domésticos ou industriais de baixa potência. Porém com o

avanço da tecnologia e o surgimento dos semicondutores, a geração por Efeito Termoelétrico se propõe muito mais eficiente quando comparado com metais heterogêneos, chegando a casa dos mV (10^{-3}), devido ao fato de que a concentração de elétrons no semicondutor depende da temperatura.

A refrigeração pelo método termoelétrico se prova útil devido ao fato de que não é necessário circuitos ou maquinários complexos. A pastilha é construída de forma a aproveitar o efeito Peltier, e podem ser colocados em série afim de formar módulos, como demonstra a Figura 3, aumentando sua capacidade de refrigeração.

Figura 3 - Pastilhas termoelétricas em série



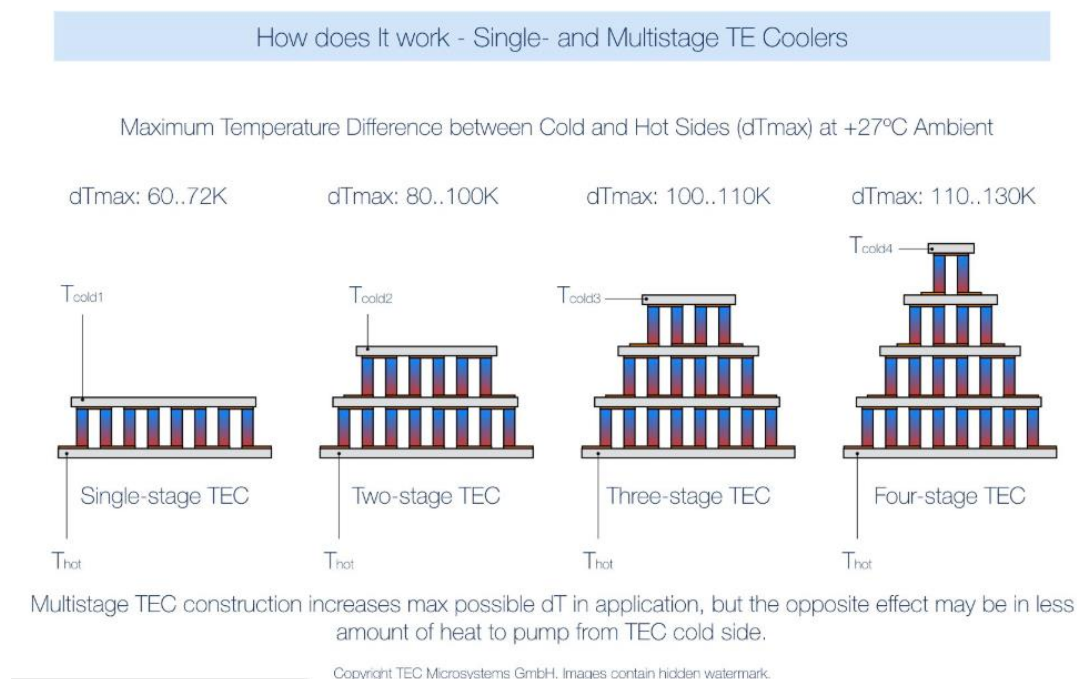
Multistage TE Coolers allow obtaining higher temperature difference between Cold and Hot sides

Copyright TEC Microsystems GmbH. Images contain hidden watermark.

Fonte: Single and multistage Thermoelectric Cooler – TEC Microsystems (2015)

Contudo, a maior diferença de temperatura entre o lado quente e o lado frio fica em torno de 60°C a 72°C ao ser utilizada apenas uma Pastilha Termoelétrica, de acordo com o Fabricante TEC Microsystems. A Figura 4 apresenta as diferenças de temperaturas máximas para módulos de pastilhas termoelétricas ligados em série, com até 4 módulos.

Figura 4 - Diferenças de temperaturas obtidas por cada módulo de ligação em série



Fonte: Max possible temperature difference dT_{max} – TEC Microsystems (2015)

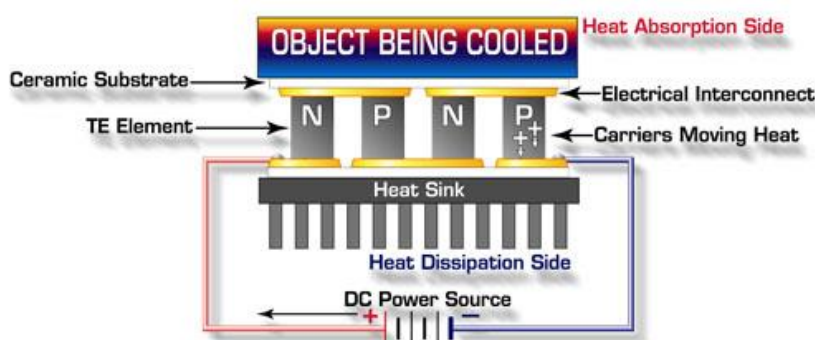
A Pastilha Termoelétrica tem uma ordem de paralelepípedos semicondutores, que ficam em contato com a cerâmica tanto no lado responsável por dissipar calor quanto no lado que absorve. Esses paralelepípedos são dopados adicionando impurezas, para modificar a quantidade de elétrons livres existentes nos mesmos. Os semicondutores com mais elétrons livres são conhecidos como tipo N, e os com menos elétrons são tipo P. Os pares de paralelepípedos semicondutores P e N são configurados de forma que sejam conectados eletricamente em série e termicamente em paralelo. Quando uma corrente é aplicada ao sistema, ela flui através dos semicondutores induzindo uma diferença de temperatura, assim surgindo um lado que dissipará o calor e outro que o absorverá.

O lado que dissipa calor na pastilha termoelétrica, pode aquecer a ponto de ultrapassar a temperatura suportada pela mesma, sendo assim necessários componentes para o auxílio desse processo de dissipação, como por exemplo, a utilização de ventoinhas e dissipadores.

2.4. COMPOSIÇÃO DE UMA PASTILHA TERMOELÉTRICA

A pastilha termoelétrica é composta internamente por materiais semicondutores tipo P e tipo N, onde a ligação entre eles acontece por meio de uma malha condutora, como por exemplo cobre, e esse sistema é isolado do meio externo, geralmente, por uma cerâmica, como representa a Figura 5. A combinação mais comum de semicondutores utilizados na pastilha termoelétrica fica entre o telúrio e bismuto, onde sua combinação forma o telureto de bismuto, que tem a forma de um pó acinzentado e, quando utilizado em ligas metálicas contendo selênio e antimônio, passa a ser um excelente material termoelétrico que pode ser utilizado para refrigeração.

Figura 5 - Composição de um sistema de refrigeração termoelétrico



Fonte: A Guide to Thermoelectrics – FerroTec (2018)

2.5. APLICAÇÕES DA PASTILHA TERMOELÉTRICA

A ausência de peças móveis, faz com que a pastilha termoelétrica seja mais confiável e sem necessidade de muitas manutenções, sendo ideais para locais que são sensíveis a vibrações mecânicas ou com espaço limitado. Outra vantagem é que as pastilhas termoelétricas são capazes de absorver ou repelir o calor, tornando-as muito interessantes onde a estabilização de temperatura é necessária em ambientes com altas variações de temperatura, podendo ser usada tanto como refrigerador quanto como aquecedor. Também vale ressaltar que em determinadas situações, o módulo termoelétrico, é mais econômico do que o método de refrigeração por compressão e também não faz uso de materiais tóxicos para o ambiente. Porém apresenta dificuldade de se manter a eficiência de refrigeração em volumes elevados,

devido ao fato de que, a área na qual a pastilha tem contato com o sistema é pequena, fazendo com que a mesma, tenha dificuldades para absorver o calor quando o volume ou área são elevados.

As aplicações da refrigeração termoelétrica são diversas, sendo elas:

- Mini geladeiras: que são vendidas comercialmente com volumes internos de até 18 Litros;
- Bebedouro: Faz uso da pastilha termoelétrica no reservatório de água, permitindo assim que resfrie a quantidade de água necessária para uso;
- Cooler Eletrônico: Geralmente utilizado para resfriar processadores, onde o lado responsável por absorver o calor fica em contato com o processador, ajudando-o a ficar na temperatura ideal para o seu funcionamento;
- Desumidificador: A pastilha é utilizada em um sistema que tem por objetivo retirar a umidade do ar, para isso, é resfriado o ar, até um ponto em que a água condense, uma vez condensada, essa mesma água é encaminhada para fora do sistema, permitindo assim, retirar a umidade do ar.

2.6. ESTUDOS JÁ REALIZADOS

2.6.1. Geladeira Peltier (2009)

Tem como objetivo averiguar a temperatura do ar no interior de um protótipo de uma geladeira com capacidade 14,5L construída utilizando pastilhas termoelétricas, como demonstra a Figura 6, assim como medir a temperatura de alguns objetos colocados no interior da mesma.

Figura 6 - Protótipo de geladeira realizado em 2009



Fonte: GELADEIRA PELTIER – Agnol . et al. (2009)

Agnol. et al. (2009) afirmam que a geladeira não é recomendada para objetos que necessitam de temperatura abaixo ou próxima de 0°C, pois em seus testes a temperatura de estabilização da mesma não conseguiu ser inferior a 10°C (p. 14).

2.6.2. Projeto de uma micro-adega climatizada de baixo custo (2004)

Tem como objetivo o projeto, como demonstra a Figura 7, prototipagem e estudo de viabilidade econômica de uma micro-adega climatizada de baixo custo utilizando o sistema de pastilhas termoeletrônicas como refrigerador.

Figura 7 - Protótipo de micro-adeega 2004



Fonte: PROJETO DE UMA MICRO-ADEGA DE CLIMATIZADA DE BAIXO CUSTO –
Strazza e Riberi (2004)

Strazza e Riberi (2004) afirmam que a tecnologia de refrigeração mais adequada ao projeto é a utilização de pastilhas termoelétricas que funcionam através da utilização do efeito Peltier, pois além de ser uma tecnologia silenciosa e que não gera problemas de vibração, mostrou-se bastante eficiente durante a realização do ensaio do protótipo (p. 42).

2.6.3. Refrigeração utilizando pastilhas de efeito Peltier (2010)

Foi feito um estudo de eficiência da refrigeração de água utilizando uma placa de efeito Peltier. Para isso, foi implementada uma estrutura de refrigeração de água e foram feitas medições para determinar a eficiência do sistema.

Fernandes. et al. (2010) afirmam que o experimento demonstrou a viabilidade do uso de pastilhas termoelétricas em pequenos dispositivos refrigerados como bebedouros e pequenas geladeiras (p. 31).

3. METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho tem, por objetivo, elaborar e montar um refrigerador fazendo o uso de pastilhas termoeletricas, e constatar se essa tecnologia é capaz de competir com o método de refrigeração convencional (compressão), em termos de eficiência em sua refrigeração e consumo elétrico. Sendo assim, o refrigerador será montado utilizando uma caixa de isopor de 45L para se ter uma comparação direta com frigobares de aproximadamente 45L que utiliza a refrigeração por compressão, e assim comparar os parâmetros de ambas. Para que a tecnologia de refrigeração por pastilhas termoeletricas se apresente viável, é necessário atingir alguns parâmetros, sendo eles: atingir aproximadamente 5°C, ter seu custo de montagem equivalente ou menor do que um frigobar e um consumo energético que permita ser competitivo.

3.1. MODELAMENTO MATEMÁTICO

Para a escolha ideal dos componentes utilizados na montagem do sistema refrigerador os cálculos de calorimetria são necessários. Como foi decidido a realização de um teste empírico os cálculos não foram realizados, bastando apenas observar e analisar os comportamentos do refrigerador.

Caso fosse necessário a realização dos cálculos, os mesmos seriam calculados por meio das equações apresentadas nos sub tópicos a seguir.

3.1.1. Carga Térmica Ativa

A carga térmica ativa consiste na quantidade de energia que deve ser retirada de determinado ambiente para promover a refrigeração no lado desejado. A equação fundamental para calcular a carga térmica ativa é apresentada na Equação 1.

$$Q_{ativo} = \frac{U^2}{R} = U.I = I^2R \quad (1)$$

Em que:

Q_{ativo} = carga térmica ativa em watts (W);

U = tensão aplicada ao sistema resfriado em volts (V);

R = resistência da aplicação e ohms (Ω);

I = corrente da aplicação em amperes (A).

3.1.2. Radiação

É a forma de transferência de calor que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. A equação fundamental para calcular a carga térmica por radiação é apresentada na Equação 2.

$$Q_{rad} = F_e \cdot s \cdot A (T_{amb}^4 - T_c^4) \quad (2)$$

Em que:

Q_{rad} = carga térmica de radiação em watts (W);

F_e = fator de forma (pior caso = 1);

s = constante de Stefan-Boltzman (5.667×10^{-8});

A = área resfriada em metro quadrado (m^2);

T_{amb} = temperatura ambiente em Kelvin (K);

T_c = temperatura do lado frio em Kelvin (K).

3.1.3. Convecção

É a forma de transferência de calor comum para os gases e líquidos. A equação fundamental para calcular a carga térmica por convecção é apresentada na Equação 3.

$$Q_{conv} = h \cdot A (T_{AR} - T_c) \quad (3)$$

Em que:

Q_{conv} = carga térmica de convecção em watts (W);

h = coeficiente de transferência de calor convectivo em $W/m^2 \cdot ^\circ C$;

A = área exposta em metro quadrado (m^2);

T_{ar} = temperatura de ar ambiente em graus celsius ($^\circ C$);

T_c = temperatura da área fria em graus celsius ($^\circ C$).

3.1.4. Condução

É o tipo de propagação de calor que acontece num meio material decorrente das agitações das moléculas. A equação fundamental para calcular a carga térmica por condução é apresentada na Equação 4.

$$Q_{cond} = \frac{k \cdot A}{L} \Delta T \quad (4)$$

Em que:

Q_{cond} = carga térmica condutiva em watts (W);

k = condutividade térmica do material em $w/m \cdot ^\circ C$;

A = área da seção transversal material em metro quadrado (m^2);

L = comprimento do trajeto de calor em metro (m);

ΔT = diferença de temperatura em graus celsius ($^\circ C$).

3.1.5. Convecção e condução combinadas

É o tipo de propagação de calor, que envolve as perdas por Convecção e Condução combinadas. A equação fundamental para calcular a carga térmica por condução e convecção combinadas é apresentada na Equação 5.

$$Q_{passivo} = \frac{(A \cdot x \cdot \Delta T)}{\left(\frac{x}{k} + \frac{1}{h}\right)} \quad (5)$$

Em que:

$Q_{passivo}$ = carga térmica em watts (W);

A = área total exposta do recipiente em metro quadrado (m²);

x = espessura da isolação em metro (m);

k = condutividade térmica da isolação W/m.°C;

h = coeficiente de transferência de calor convectivo W/m².°C;

ΔT = diferença de temperatura em graus celsius (°C).

3.1.6. Cálculo de potência

Potência elétrica é uma grandeza que mensura o quanto de trabalho foi realizado por uma unidade de tempo, tendo como unidade de medida o Watts (W). Devido ao fato de a corrente contínua ter os seus valores de corrente e tensão constantes, a potência elétrica nesse tipo de circuito pode ser facilmente descrita pela Equação 6.

$$P = UI \tag{6}$$

Em que:

P = potência elétrica em watts;

U = tensão em volts;

I = corrente em amperes.

3.1.7. Cálculo de Energia

O cálculo de energia elétrica é realizado utilizando a Equação 7, que pelo Sistema Internacional é dado em Joules (J), porém, usualmente é encontrada como quilowatt-hora ou kWh.

$$E = P\Delta t \quad (7)$$

Em que:

E = Energia Elétrica em kWh;

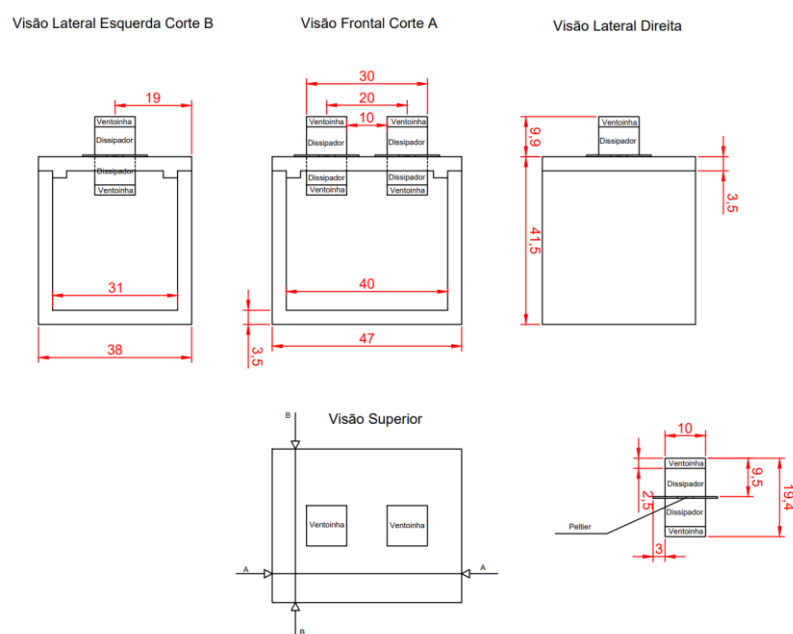
P = Potência Elétrica em kW;

Δt = Variação de Tempo em horas.

3.2. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para o início do protótipo, foi necessário realizar um projeto de como se pretendia montá-lo, como pode ser observado na Figura 8, contendo suas dimensões e localizações dos componentes. Por se tratar de um trabalho empírico, foi necessário ter em mente o que e como seria montado, tendo como base os projetos já realizados utilizando o sistema de resfriamento por pastilhas termoeletrônicas.

Figura 8 - Desenho base para montagem do protótipo



Para a montagem do protótipo foram necessários uma série de componentes, ferramentas e instrumentos, contendo também seus devidos custos, todos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Componentes, ferramentas e equipamentos

Refrigerador Termoelétrico			Ferramentas e Equipamentos	
Materiais	Quantidade	Preço	Descrição	Quantidade
Radiador	4	R\$ 82,90	Multímetro ET-110A	1
Pastilha Termoelétrica Peltier 12706	2	R\$ 56,00	Alicate de Corte	1
Fonte 12V-15A	1	R\$ 25,00	Chave Philips	1
Cabo de Força	1	R\$ 12,00	Tesoura	1
Pasta Térmica 5g	1	R\$ 4,00	Termopar (Multímetro)	1
Caixa de Isopor 45L	1	R\$ 30,00	Termopar com Display	2
Fita Metálica 48mm x 20m	1	R\$ 3,10	Furadeira	1
Cabos Extensores	1	R\$ 10,00	Serra de Arco	1
Fita Isolante	1	R\$ 5,00	Mini Serra de Arco	1
Chapa de Compensado 435 x 247 x 4mm	1	R\$ 14,69	Lima	1
Nylon 1mm	1	R\$ 12,29	Caneta Permanente	1
Valor Total		R\$ 254,98	Regua	1
			Estilete	1
			Pistola de Cola Quente	1

Após o cálculo de custo dos materiais necessários para projeto, constatou-se que o valor total do mesmo foi de R\$254,98 que se demonstrou com um preço inferior aos demais encontrados no mercado, como demonstra a Tabela 2.

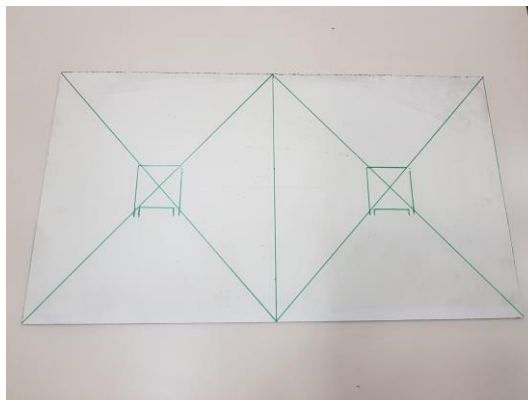
Tabela 2 - Preços comerciais de refrigeradores com porte médio de 45 Litros

Preços Encontrados no Mercado			
Marca	Modelo	Capacidade (Litros)	Preço
Midea	MRC06B1	45	R\$ 609,00
Husky	CKK50-193	46	R\$ 998,00
Haier	Hsa02wndww	47	R\$ 699,00

Assim que o projeto, materiais e ferramentas se encontravam em mãos, foi iniciado o desenvolvimento do protótipo.

A primeira etapa foi fazer as marcações guias referentes a localização das pastilhas termoelétricas na chapa de compensado, como demonstra a Figura 9, para guiar o corte onde estariam alocadas as pastilhas, passagens dos condutores, fixadores dos radiadores e termopares. A chapa foi cortada com uma serra de arco de forma adequada para que tivesse dimensões compatíveis com a tampa.

Figura 9 - Marcação dos centros das pastilhas termoelétricas



Após desenhadas as marcações, iniciou-se o corte da chapa. Foi cortado a área referente ao perímetro da pastilha termoelétrica com o auxílio de uma furadeira e para o acabamento da mesma uma lima e um mini arco de serra. Após a finalização dos cortes, foi adicionado uma camada de fita metálica, como demonstra a Figura 10.

Figura 10 - Chapa envelopada e cortada



Tendo a chapa de compensado pronta, a mesma foi utilizada como referência para facilitar a marcação da localização dos centros dos radiadores na tampa da caixa de isopor. Após tais marcações foram feitos os cortes seguindo o perímetro dos radiadores demarcados com o auxílio de um estilete. Uma vez terminado os cortes a tampa e a caixa receberam uma camada de fita metálica, como demonstram as Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Tampa envelopada por fita metálica, com os cortes necessários



Figura 12 - Caixa de isopor sendo envelopada



Uma vez pronta a estrutura, onde foram alocados os componentes responsáveis pela refrigeração. Foi iniciado a montagem dos mesmos.

O primeiro componente a ser montado foi o sistema de refrigeração (pastilhas termoelétricas entre os radiadores), como demonstram as Figuras 13 e 14, para tal montagem foi necessário constatar o sentido de rotação das ventoinhas e o lado em que as pastilhas termoelétricas absorvem calor. Após ter as informações necessárias, foram retirados 2 parafusos das diagonais de cada ventoinha, para que assim tivesse por onde o fio de cobre ser passado a fim de melhorar o contato dos radiadores com cada lado da pastilha.

Figura 13 - Sistema de refrigeração

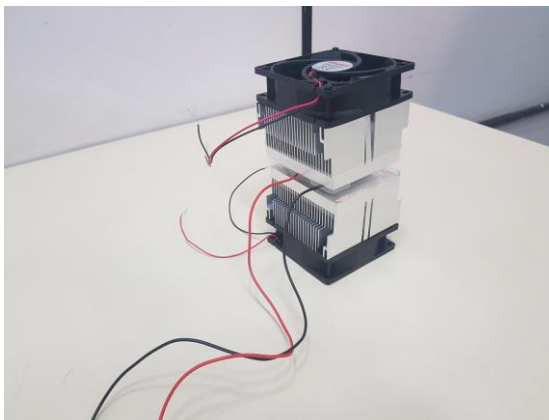
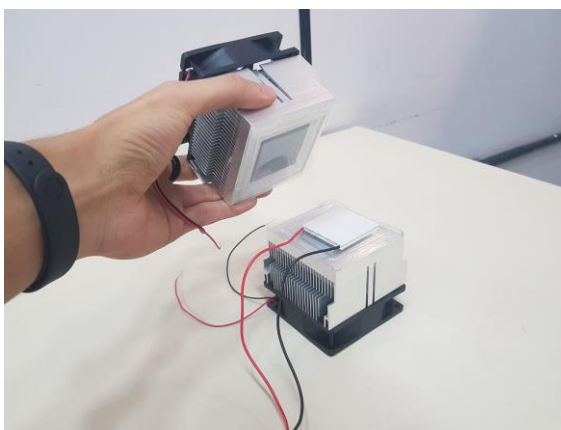
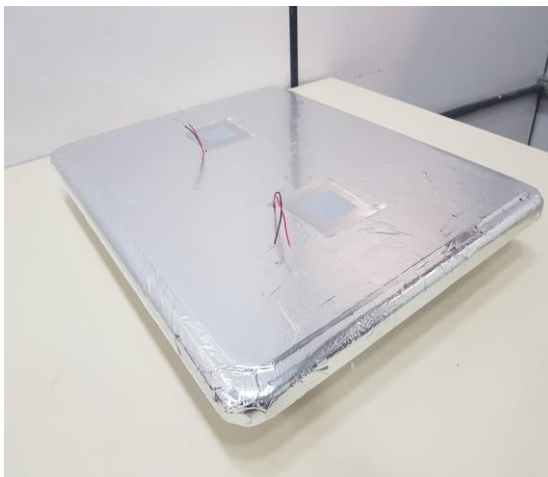


Figura 14 - Interior do sistema de refrigeração



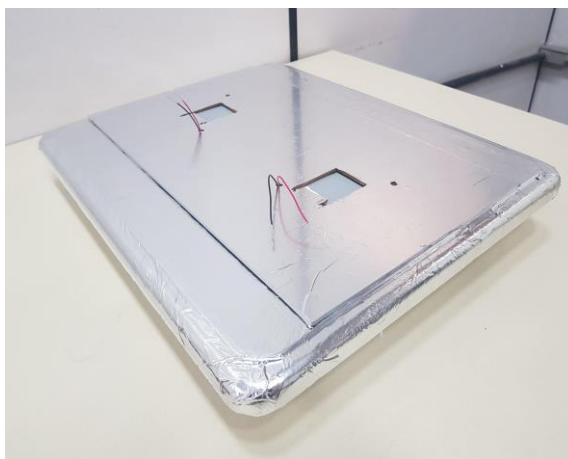
Finalizados os passos anteriores, foi dado o início a montagem do Refrigerador, onde foi encaixado primeiro os dois radiadores inferiores da tampa, responsáveis por auxiliar o lado que absorve calor da pastilha, ajustados para ficarem rentes à superfície da tampa e fazendo a devida passagem dos condutores, como demonstra a Figura 15.

Figura 15 - Radiador na tampa



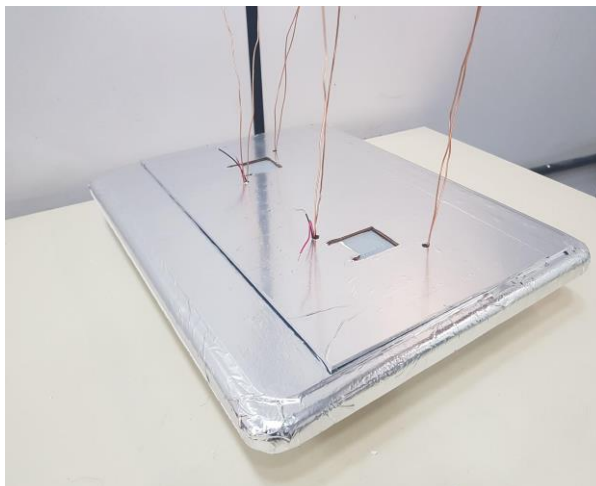
O próximo passo, foi posicionar a chapa de compensado, de forma que ficasse na localização exata, para garantir que as pastilhas termoelétricas tenham contato com a pasta térmica, responsável por melhorar a troca de calor. Uma vez posicionada, continuou a passagem dos condutores pela mesma, como demonstra a Figura 16.

Figura 16 – Chapa de compensado com a passagem dos cabos dos radiadores



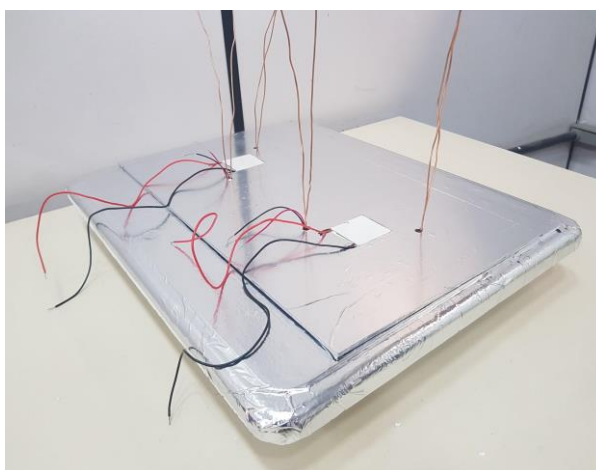
Com boa parte da estrutura já montada, foi possível iniciar o processo de passagem do fio de cobre, como demonstra a Figura 17, responsável por manter o sistema de refrigeração fixo e aplicando pressão entre os radiadores e a pastilha termoelétrica.

Figura 17 - Passagem do fio de cobre para fixação dos radiadores na chapa



Com a estrutura fixada, foram encaixadas as pastilhas termoelétricas, como demonstra a Figura 18, nos seus respectivos espaços na chapa de compensado atentando ao posicionamento das mesmas, testando as pastilhas para garantir que as mesmas estavam em perfeito funcionamento garantindo que o lado que absorve calor estava com a face virada para baixo e verificando se o contato da pastilha com o radiador estava bem feito.

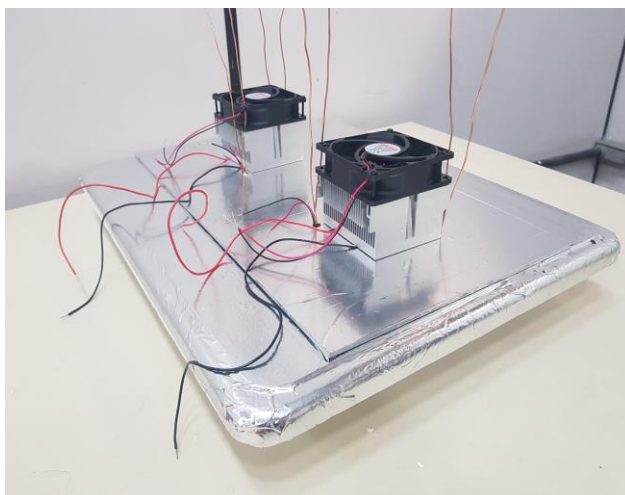
Figura 18 - Pastilha termoelétrica fixada na chapa em contato com o radiador



Tendo feito todas as passagens de condutores e fios, iniciou-se a última etapa de montagem do sistema de refrigeração, antes de fazer as ligações elétricas. Os arames foram passados em furos da ventoinha do radiador, como demonstra a Figura 19, e uma vez tendo passado os arames tanto nos radiadores inferiores, quanto nos

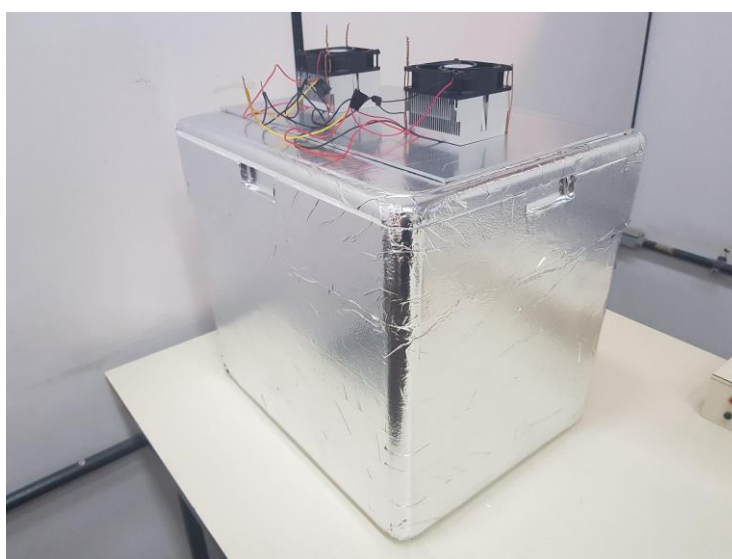
radiadores superiores, deu-se início ao processo de amarração, a fim de proporcionar a pressão necessária entre os radiadores e a pastilha para melhor troca de calor.

Figura 19 - Radiador encaixado finalizando o sistema



Ao término da montagem do sistema de refrigeração na tampa da caixa, os cabos de seus componentes foram associados de forma que as ventoinhas e as pastilhas termoelétricas ficassem em paralelo com a fonte, como demonstra a Figura 20.

Figura 20 - Refrigerador finalizado



3.2.1. Melhorias realizadas

Com o desenvolvimento bruto do protótipo, foi notado que, algumas melhorias poderiam ser realizadas para melhor eficiência do refrigerador. Com essas melhorias, foi possível não só, melhorar a refrigeração, como também, o rendimento energético.

Para as melhorias da refrigeração, foram tomadas duas medidas, sendo elas, o uso de nylon no lugar do arame, por não ser um material condutor de calor e ser de fácil manuseio, possibilitando assim, que prendesse melhor o sistema como um todo, aplicando uma maior pressão e contato entre os radiadores e a pastilha, e também foram vedadas as aberturas na tampa por onde se passam os condutores, utilizando silicone.

Já, para as melhorias de eficiência energética, foram tomadas três medidas, sendo elas, o aumento da seção dos condutores, para uma melhor distribuição da corrente e melhorias nas emendas, soldando e utilizando fita isolante, para minimizar as perdas pelo efeito Joule nesses condutores e emendas.

4. ENSAIOS REALIZADOS

Todas as medidas e ensaios apresentados foram feitos na residência dos participantes, simulando assim um local de uso comum do refrigerador.

Para a constatação da eficiência do refrigerador foram elaborados 7 ensaios, sendo eles:

1. Gelar o refrigerador vazio com 1 sistema refrigerador;
2. Gelar o refrigerador vazio com 2 sistemas refrigeradores;
3. Gelar uma Garrafa de plástico com 0,5 Litro de água utilizando 1 sistema refrigerador;
4. Gelar uma Garrafa de plástico com 0,5 Litro de água utilizando 2 sistemas refrigeradores;
5. Manter resfriada uma Garrafa de plástico com 0,5 Litro de água utilizando 2 sistemas refrigeradores;
6. Gelar uma Garrafa de plástico com 1,5 Litros de água utilizando 2 sistemas refrigeradores;
7. Gelar uma Garrafa de plástico com 5,0 Litros de água utilizando 2 sistemas refrigeradores;

4.1. METODOLOGIAS E MEDIÇÕES DOS ENSAIOS

Para as medições de temperatura e corrente foram utilizados 2 Termopares com Display (Precisão de 1 décimo) e 1 Multímetro Minipa ET-110A + Termopar (Precisão de 1 décimo para corrente e 1 unidade para temperatura). Os Medidores foram posicionados de acordo como a Figura 21.

Figura 21 - Posicionamento dos medidores



Para os ensaios nº 1 e nº 2, o refrigerador teve sua temperatura medida em conjunto com a do ambiente através dos Termopares com Display, após medições no tempo 0, foi ligado o sistema de refrigeração. A cada 5 minutos foram anotadas as temperaturas registradas pelos Termopares com Display e corrente registradas pelo Multímetro Minipa ET-110A, até o tempo pré-determinado de 90 minutos.

Para os ensaios nº 3, 4, 6 e 7, foram utilizados, um Termopar com Display para a temperatura do fluido, um Termopar com Display para a temperatura da caixa e 1 Multímetro Minipa ET-110A + Termopar para a temperatura ambiente. As temperaturas marcadas pelos equipamentos foram registradas a cada 10 minutos durante 240 minutos.

No ensaio nº 5, dois Termopares com Display foram utilizados para medir a temperatura dos fluidos fora do refrigerador e dentro do refrigerador, enquanto o Multímetro Minipa ET-110A foi utilizado para medir a temperatura ambiente. As garrafas de 0,5 Litro foram previamente resfriadas em uma geladeira comercial convencional, atingindo a temperatura de estabilização de 4,8°C. Foram retiradas da geladeira comercial e uma posicionada no interior do refrigerador e outra fora do refrigerador. A cada 3 minutos durante 60 minutos, as temperaturas marcadas pelos equipamentos foram registradas.

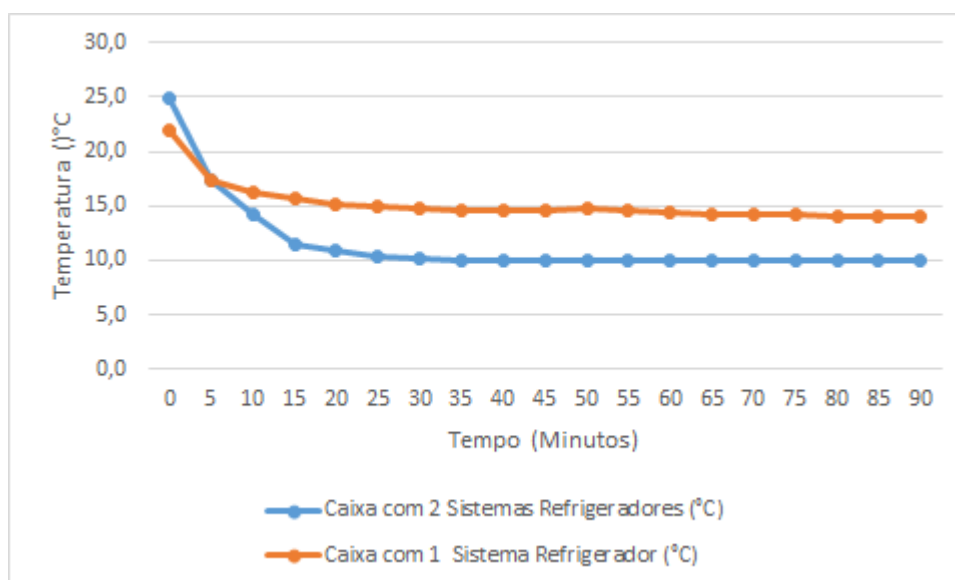
5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. ENSAIOS

5.1.1. Números 1 e 2

Os ensaios com o refrigerador em vazio têm como objetivo a constatação da temperatura de estabilização e da corrente utilizada pelos refrigeradores no percorrer de 90 minutos, com 1 e 2 sistemas refrigeradores ativos. Os dados obtidos foram plotados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Temperatura de estabilização do refrigerador vazio



Como pode-se observar a temperatura ao se utilizar apenas 1 sistema refrigerador se estabiliza em 14°C, já utilizando 2 sistemas a temperatura de estabilização cai para 9,9°C.

As medições de corrente demonstraram um grau de continuidade se estabilizando em 7,7 Amperes ao decorrer dos 90 minutos de ensaio no caso de 2 Sistemas Refrigeradores, mesmo em diferentes graus de temperatura, como demonstra a Tabela 3.

Tabela 3 - Medições de corrente x tempo

ENSAIO N°1 E N° 2 (MEDIÇÃO DE CORRENTE)		
Tempo (min)	Corrente com 2 Refrigeradores (A)	Corrente com 1 Refrigerador(A)
0	8,3	4,2
5	7,7	3,9
10	7,7	3,9
15	7,7	3,8
20	7,7	3,8
25	7,7	3,8
30	7,7	3,8
35	7,7	3,8
40	7,7	3,8
45	7,7	3,8
50	7,7	3,8
55	7,7	3,8
60	7,7	3,8
65	7,7	3,8
70	7,7	3,8
75	7,7	3,8
80	7,7	3,8
85	7,7	3,8
90	7,7	3,8

Pode-se concluir que o refrigerador mantém sua corrente constante em regime permanente, apresentando somente uma corrente de pico em seu transitório.

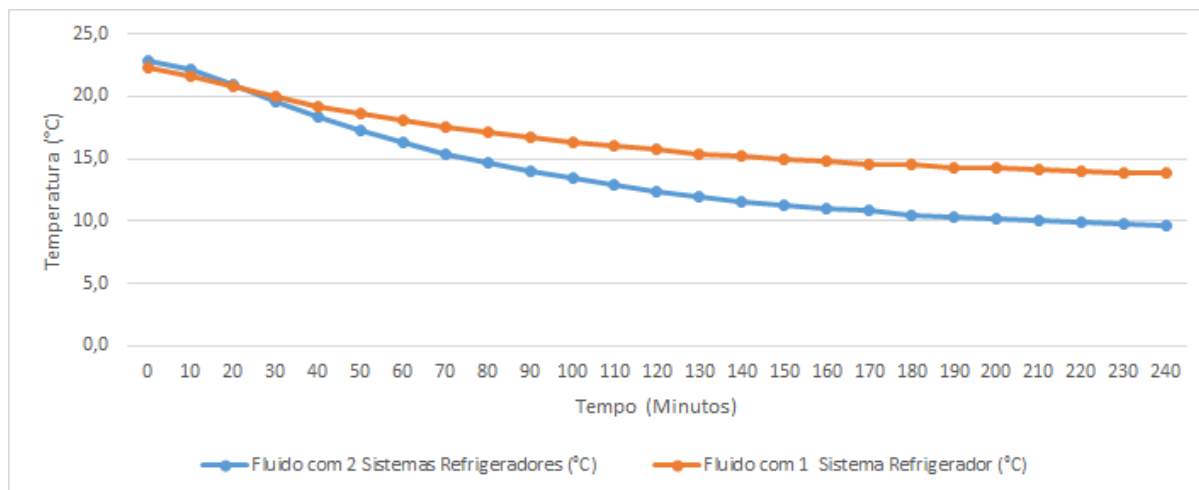
Considerando que a tensão de saída da fonte é de 11,14 Volts e a sua corrente se estabilizou em 7,7 Amperes no caso de 2 Sistemas refrigeradores ativos.

O refrigerador consome uma potência de 85,78 Watts no caso de 2 Sistemas Refrigeradores, calculada utilizando a Equação 6. Já para o Refrigerador com 1 Sistema refrigerador sua potência cai para 42,332 Watts, calculada utilizando a Equação 7.

5.1.2. Números 3 e 4

Os ensaios com as garrafas de 0,5 Litro têm o objetivo principal de constatar a diferença na curva de resfriamento das mesmas no decorrer de 240 minutos. Os dados obtidos foram plotados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Diferença de temperaturas atingidas por 1 e 2 sistemas refrigeradores ligados com 1 garrafa de 0,5 Litro



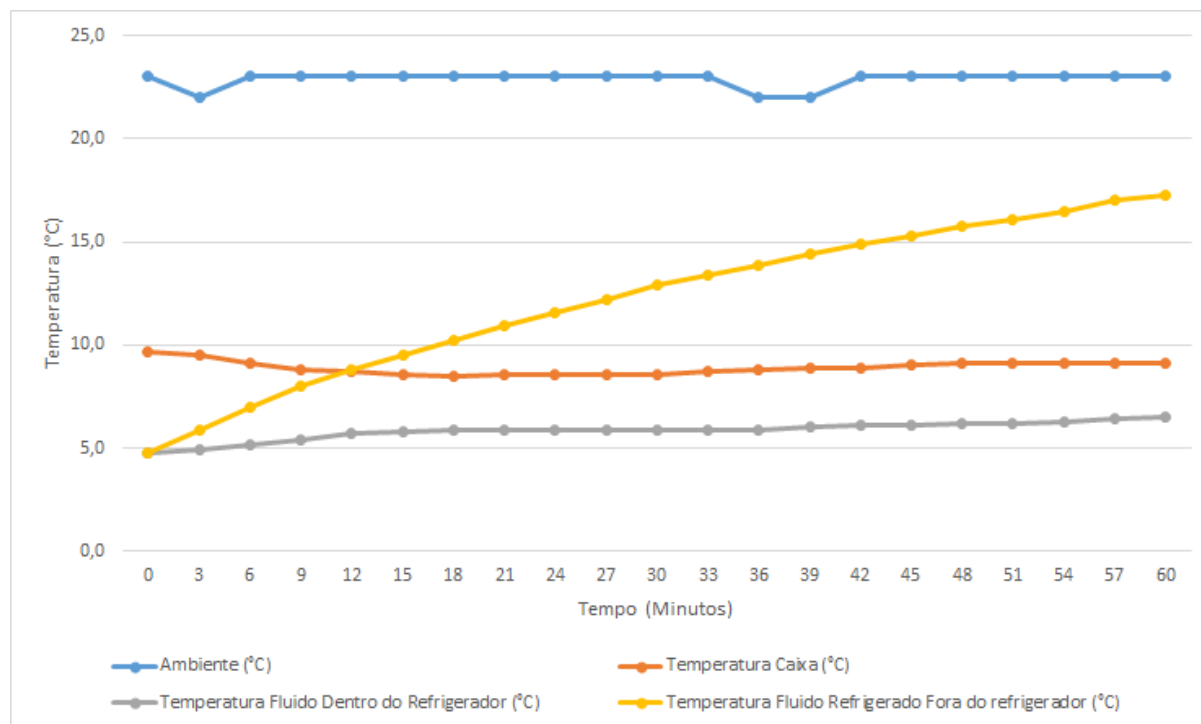
Ao analisar o gráfico pode-se verificar que a falta de 1 sistema refrigerador causa a diferença de 4,2 °C de temperatura final. Pode-se também afirmar que o refrigerador a partir dos 190 minutos começou a estabilizar-se em uma queda de 0,1°C a cada 10 minutos no caso de 2 refrigeradores, e ao se utilizar 1 refrigerador esse tempo de estabilização se manteve o mesmo.

Pode-se concluir que ao utilizar 1 ou 2 sistemas refrigeradores a única diferença será a temperatura de estabilização, sendo 13,9°C para 1 refrigerador e 9,7°C para 2 refrigeradores.

5.1.3. Número 5

O ensaio tem como objetivo a constatação da curva de eficácia em manter o objeto refrigerado ao longo de 60 minutos com a geladeira pré resfriada. Os dados obtidos foram plotados no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Comportamento da temperatura da garrafa plástica de 0,5 Litro gelada no interior do refrigerador



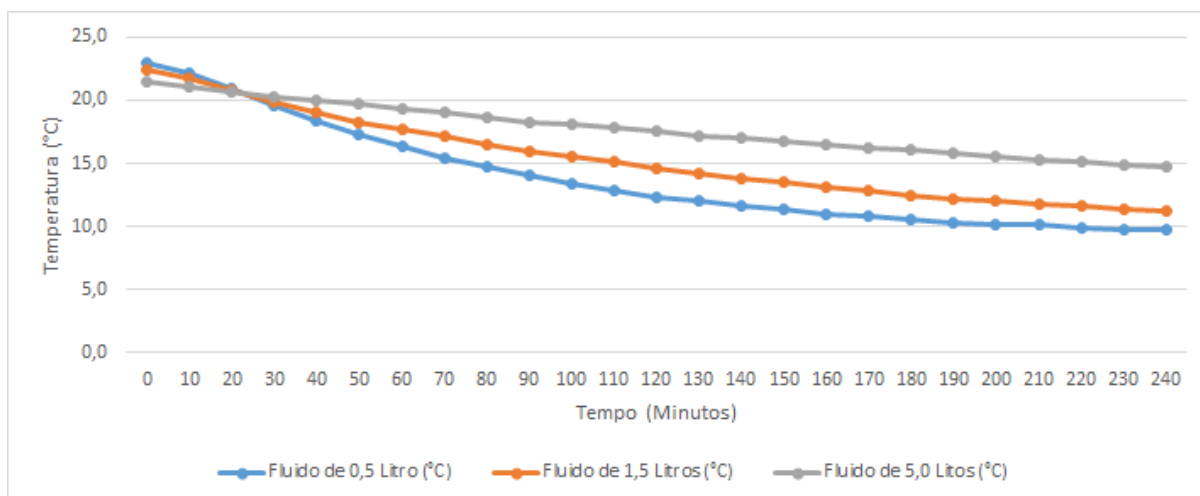
Os resultados demonstram que o Refrigerador tem a capacidade de reduzir a elevação da temperatura final em 10,5°C no decorrer de 60 minutos, quando comparado com o mesmo fluido fora do refrigerador.

Para o tempo de ensaio pode-se notar também uma variação de temperatura média de 0,09°C a cada 3 minutos no caso do fluido dentro do refrigerador e no caso do fluido em contato com a temperatura ambiente a variação média foi de 0,65°C a cada 3 minutos.

5.1.4. Números 6 e 7

Os ensaios têm como objetivo a constatação da temperatura atingida pelos fluidos em volumes diferentes no interior do refrigerador no decorrer de 240 minutos. Os dados obtidos foram plotados no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Temperatura em volumes diferentes x tempo



Ao analisar o gráfico pode-se notar que para os volumes de 1,5 e 5,0 Litros em 240 minutos de ensaio, não foi possível alcançar a temperatura de estabilização, que consistem na perda de 0,1°C a cada 10 minutos.

Pode-se concluir que, para volumes acima ou igual a 1,5 Litros o tempo de estabilização será superior a 240 minutos.

5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao serem analisados os ensaios em conjunto, pode-se constatar que o protótipo com o uso de 2 Sistemas Refrigeradores, estabiliza a temperatura interna em torno de 9,7 °C, quando localizado em uma temperatura ambiente de 23°C. Para analisarmos o custo benefício do consumo energético e da temperatura interna do refrigerador a base de pastilhas termoeletrônicas é necessária uma comparação direta com frigobares que possuem o mesmo volume.

De acordo com os dados Técnicos do Frigobar Midea MRC 06B1 fornecidos ao consumidor, presentes na Tabela 4.

Tabela 4 - Especificações técnicas Midea Refrigerador MRC

MODELO MRC	06B1	06B2	10B1	10B2	12B1	12B2
Tensão (V)	127	220	127	220	127	220
Frequência (Hz)	60					
Corrente (A)	1,20	0,71	1,30	0,73	1,20	0,95
Classe Climática	T					
Fluido Refrigerante	R-600a					
Massa (peso) de Refrigerante (g)	16		20		28	
Agente Expansor	Ciclopentano					
Sistema de Degelo	Manual					
Capacidade (L)	45		93		124	
Dimensões Externas (mm)						
Largura x Altura x Profundidade	472 x 492 x 450		472 x 860 x 450		501 x 860 x 540	
Massa (peso) do Produto (kg)	17,0	14,9	22,1	20,8	25,7	24,5

Fonte: UM MRC Aura – Midea (2017)

Pode-se afirmar que levando em consideração a Tensão e Corrente do Modelo MRC 06B1, é possível calcular a potência resultante e energia consumida no período de 1 mês em regime permanente.

Para se comparar ao Protótipo do refrigerador foi desconsiderado o sistema responsável pelo desligamento do motor e ligamento do mesmo ao se atingir a temperatura desejada. A potência calculada do frigobar resulta em 152,4 Watts, calculado utilizando a Equação 6, e a energia consumida em 1 mês 109,728 kWh, calculado utilizando a Equação 7, já sua energia com o sistema de Liga/Desliga cai para o consumo de 37,44 kWh, calculado utilizando a Equação 7.

O Protótipo consome em regime permanente sem o Sistema Liga/Desliga o total de 61,76 kWh de energia consumida em 1 mês, calculado utilizando a Equação 7, e possui a potência de 85,78 Watts, calculado utilizando a Equação 6.

Como pode-se observar o refrigerador Midea MRC 06B1 consome aproximadamente 1,78 vezes mais energia que o protótipo para conseguir realizar a refrigeração adequada.

O protótipo não atinge a temperatura necessária de 5°C ou menos exigida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), portanto no seu estado atual, não

se demonstra competitivo com o frigobar ao qual foi comparado, ou seja, o protótipo não se demonstra apto a comparação devido ao fato de não atingir a temperatura necessária.

5.3. ADVERSIDADES ENCONTRADAS

A temperatura não atingiu o valor mínimo estipulado pela ANVISA, que retarda ou evita a proliferação de bactérias que afetam produtos perecíveis, os fatores que contribuíram para que o refrigerador não atingisse os parâmetros adequados, foram:

- A vedação e a isolamento térmica não foram eficazes no sentido de reduzir a troca de calor entre o ambiente interno e externo da caixa, fazendo com que a temperatura do ambiente interferisse de forma significativa com a temperatura interna;
- As pastilhas utilizadas nos refrigeradores não foram capazes de absorver o ganho de calor proveniente do ambiente externo, devido às perdas por isolamento e vedação, e ainda fazer com que o interior da caixa se estabilizasse na temperatura adequada de acordo com os parâmetros da ANVISA;
- Após os ensaios foi verificado o acúmulo de água no dissipador interno (inferior da tampa), por ter chegado a temperaturas em que a umidade presente no ar condensasse. Isto poderia diminuir a vida útil do sistema refrigerador, devido a possíveis oxidações no alumínio e possibilidade de curto circuito se atingisse as partes elétricas da ventoinha posicionada abaixo do mesmo.

6. CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Ao término dos ensaios e das análises realizadas, o método de refrigeração termoelétrica, por mais que não atingisse a temperatura exigida pela ANVISA, se demonstrou passível a estudos que buscam soluções para os problemas de vedação, capacidade de absorção térmica e acúmulo de água, tendo assim a possibilidade de substituir totalmente o método de refrigeração por compressão, possibilitando uma economia global de energia elétrica.

Contudo pode-se concluir que o refrigerador comercial por método de compressão, não deve ser substituído pelo protótipo construído. Porém em casos de viagens de longa duração, em que os alimentos perecíveis necessitam de baixas temperaturas, o protótipo tem seu uso justificado.

Para que o refrigerador possa ter seus problemas solucionados foram propostos os estudos abaixo:

- O uso de 3 pastilhas termoelétricas e outros modelos de pastilhas, para obter uma maior capacidade de resfriamento, sem que ultrapasse a potência do método de refrigeração à compressão;
- A exploração da inversão do sentido da corrente, fazendo com que se pudesse escolher entre refrigerar ou aquecer, no interior da caixa, ampliando assim as possibilidades do protótipo;
- Implementar um sistema Liga/Desliga, para que se pudesse adequar o consumo, fazendo uso de um circuito responsável por verificar a temperatura no interior da caixa, e com base nessa informação, o circuito desligaria ou ligaria o sistema por inteiro ou parcialmente, a fim de otimizar o consumo de energia e estabilizar em uma determinada temperatura;
- Estudar formas de aprimorar a isolamento térmica entre o interior e exterior da caixa, como também a vedação da mesma, possibilitando assim, com que o sistema tivesse menos perdas, o que facilitaria a aplicação das melhorias anteriormente citadas.

7. REFERÊNCIAS

Refrigeration Aberto em: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Refrigeration>> Acesso em: 08 de outubro de 2018.

Timeline of low-temperature technology Aberto em: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_low-temperature_technology> Acesso em: 08 de outubro de 2018.

Thermoelectric effect Aberto em: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect> Acesso em: 08 de outubro de 2018.

Ice House (Building) Aberto em: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_house_\(building\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_house_(building))> Acesso em: 08 de outubro de 2018.

Kakimoto, Luis. **Gerando eletricidade por diferença de temperatura**. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2013_sem1/LuisC_Siervo_F609_RF3.pdf> Acesso em: 15 de outubro de 2018.

Efeitos termoeletrônicos. Aberto em: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Alexsandro/efeitos_termoeletricos.html> Acesso em: 23 de outubro de 2018.

Peltier Guide I. Aberto em: Heat, Part I. Disponível em: <<http://www.heatsink-guide.com/peltier.htm>> Acesso em: 15 de novembro de 2018.

Laser Cooling. Aberto em: Hyperphysics. Disponível em: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/optmod/lascool.html>> Acesso em: 15 de novembro de 2018.

Pastilhas Termoeletrônicas. Aberto em: Peltier. Disponível em: <<http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>> Acesso em: 27 de novembro de 2018.

Análises Termodinâmicas. Aberto em: YouTube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=c9uA6qxYg50>> Acesso em: 27 de novembro de 2018.

Cargas Térmicas. Aberto em: Danvic. Disponível em: <<http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>> Acesso em: 27 de novembro de 2018.

Você sabe o que é carga térmica? Aberto em: TECMEC. Disponível em: <<http://tecmecc.org.br/voce-sabe-o-que-e-carga-termica/>> Acesso em: 30 de novembro de 2018.

Teixeira, Mariane. **Radiação, Condução e Convecção.** Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/radiacao-conducao-conveccao.htm>> Acesso em: 30 de novembro de 2018.

Caixa Térmica Isopor de 45L Aberto em: Mercado Livre Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-960288757-caixa-termica-de-isopor-de-45-litros-da-isoterm-com-alca-_JM> Acesso em: 02 de dezembro de 2018.

Frigobar Husky reino unido 46 litros Aberto em: Lojas Americanas Disponível em: <https://www.americanas.com.br/produto/31177883/frigobar-husky-reino-unido-46-litros-110v?WT.srch=1&epar=bp_pl_00_go_pla_ed_refrigerador_gmv&gclid=Cj0KCQiAi57gBRDqARIsABhDSMptW2yamz9RbOaFOipZ0EdRN3y6hKi5AZ7bqX7SSUyc2x6jRmGtQX4aAtmLEALw_wcB&opn=YSMESP&sellerId=22558590000105> Acesso em: 02 de dezembro de 2018.

Frigobar Haier hsa02wndww 47 litros Aberto em: Lojas Americanas Disponível em: <https://www.americanas.com.br/produto/28718896/frigobar-haier-hsa02wndww-47-litros-compressor-geladeira?WT.srch=1&epar=bp_pl_00_go_pla_ed_refrigerador_gmv&gclid=Cj0KCQiAi57gBRDqARIsABhDSMq98dOiCwgKopSfFpd72YCLkxhYJioEoQCGonVS-jJqeHMk2ZggPQsaAoKpEALw_wcB&opn=YSMESP&sellerId=197371900017> Acesso em: 02 de dezembro de 2018.

Frigobar Midea Branco 45L Aberto em: Lojas Americanas Disponível em: <https://www.americanas.com.br/produto/28137337/frigobar-midea-branco-45l-mrc06b1-110v?WT.srch=1&cor=Branco&epar=bp_pl_00_go_pla_ed_refrigerador_gmv&gclid=Cj0KCQiAi57gBRDqARIsABhDSMoLyWjtacoDYS7zcfOZBDyrVdj4O2_Qt8rJOa1kq39uMWbN0P1uZVAaAmC2EALw_wcB&opn=YSMESP&sellerId> Acesso em: 02 de dezembro de 2018.

Temperatura e higiene garantem segurança dos alimentos Aberto em: Agência Nacional de Vigilância Sanitária Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-](http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=247677&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=temperatura-e-higiene-garantem-seguranca-dos-alimentos&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultado-de-busca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dgeladeira%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true)

[1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=247677&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=temperatura-e-higiene-garantem-seguranca-dos-](http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=247677&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=temperatura-e-higiene-garantem-seguranca-dos-alimentos&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultado-de-busca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dgeladeira%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true)

[alimentos&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultado-de-busca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-](http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=247677&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=temperatura-e-higiene-garantem-seguranca-dos-alimentos&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultado-de-busca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dgeladeira%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true)

[1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dgeladeira%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true](http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=247677&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=temperatura-e-higiene-garantem-seguranca-dos-alimentos&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultado-de-busca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dgeladeira%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true)

[1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dgeladeira%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true](http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=247677&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=temperatura-e-higiene-garantem-seguranca-dos-alimentos&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultado-de-busca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dgeladeira%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true)

[1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dgeladeira%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true](http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=247677&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=temperatura-e-higiene-garantem-seguranca-dos-alimentos&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultado-de-busca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dgeladeira%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true) Acesso em: 20 de novembro de 2018.

Manual do Produto Frigobar Midea Aberto em: Midea Disponível em: <http://cdn.mideadobrasil.com.br/downloads_docs/0a51d-Manual-do-produto---Frigobar-Midea-124L.pdf> Acesso em: 20 de novembro de 2018.

Frigobar Midea 45L Acesso em: Midea Disponível em: <<https://www.mideadobrasil.com.br/pt/modelo/descricao/42/frigobar-midea-45l>> Acesso em: 20 de novembro de 2018.

Ferraro, Nicolau. **Efeitos estudados em física e seus descobridores**. Disponível em: <<http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2015/03/especial-de-sabado.html>> Acesso em: 10 de outubro de 2018.

Thermoelectric Coolers Aberto em: TEC Microsystems Disponível em: <<https://www.tec-microsystems.com/faq/thermoelectric-coolers-faq.html>> Acesso em: 10 de outubro de 2018.

Thermoelectric Modules Aberto em: Ferro TEC Disponível em: <<https://thermal.ferrotec.com/technology/>> Acesso em: 10 de outubro de 2018.

APÊNDICE A – TABELA DOS ENSAIOS 1 E 2

ENSAIOS 1 E 2						
Tempo (min)	Ambiente (°C)	Caixa com 1 Sistema Refrigerador (°C)	Corrente com 1 Refrigerador (A)	Ambiente (°C)	Caixa com 2 Sistemas Refrigeradores (°C)	Corrente com 2 Refrigeradores (A)
0	23,7	21,9	4,2	24,3	24,9	8,3
5	23,1	17,3	3,9	23,9	17,4	7,7
10	23,1	16,3	3,9	23,8	14,3	7,7
15	23,1	15,6	3,8	23,9	11,5	7,7
20	23,1	15,2	3,8	24,1	10,9	7,7
25	23,1	15,0	3,8	24,1	10,3	7,7
30	23,2	14,8	3,8	24,1	10,1	7,7
35	23,3	14,6	3,8	24,1	9,9	7,7
40	23,7	14,6	3,8	24,2	9,9	7,7
45	24,1	14,6	3,8	24,1	9,9	7,7
50	23,8	14,7	3,8	24,2	9,9	7,7
55	23,2	14,6	3,8	24,1	9,9	7,7
60	23,3	14,4	3,8	24,1	9,9	7,7
65	23,1	14,3	3,8	24,2	9,9	7,7
70	23,2	14,2	3,8	24,2	9,9	7,7
75	23,3	14,2	3,8	24,1	9,9	7,7
80	23,3	14,1	3,8	24,2	9,9	7,7
85	23,3	14,1	3,8	24,1	9,9	7,7
90	23,2	14,0	3,8	24,2	9,9	7,7

APÊNDICE B – TABELA DOS ENSAIOS 3 E 4

ENSAIOS 3 E 4						
Tempo (min)	Ambiente (°C)	Caixa (°C)	Fluido com 1 Sistema Refrigerador (°C)	Ambiente (°C)	Caixa (°C)	Fluido com 2 Sistemas Refrigeradores (°C)
0	23	22,7	22,3	24	24,0	22,9
10	23	18,4	21,6	23	15,9	22,2
20	23	17,2	20,8	23	13,4	20,9
30	23	16,5	20,0	24	12,5	19,6
40	23	16,1	19,2	24	11,9	18,4
50	23	15,7	18,6	24	11,5	17,3
60	23	15,3	18,1	23	11,2	16,3
70	23	15,1	17,5	24	10,9	15,4
80	23	14,9	17,1	23	10,6	14,7
90	23	14,8	16,7	23	10,3	14,0
100	23	14,5	16,3	23	10,2	13,4
110	23	14,3	16,0	23	10,1	12,9
120	23	14,3	15,7	23	9,9	12,3
130	23	14,2	15,4	23	9,8	12,0
140	23	14,1	15,2	23	9,6	11,6
150	23	14,1	15,0	23	9,6	11,3
160	23	14,0	14,8	23	9,5	11,0
170	23	14,0	14,6	23	9,4	10,8
180	23	13,9	14,5	23	9,3	10,5
190	23	13,9	14,3	23	9,3	10,3
200	23	13,8	14,2	23	9,3	10,2
210	23	13,8	14,1	23	9,3	10,1
220	23	13,8	14,0	23	9,3	9,9
230	23	13,8	13,9	23	9,2	9,8
240	23	13,7	13,9	23	9,2	9,7

APÊNDICE C – TABELA DO ENSAIO 5

ENSAIO 5				
Tempo (min)	Ambiente (°C)	Temperatura Caixa (°C)	Temperatura Fluido Dentro do Refrigerador (°C)	Temperatura Fluido Refrigerado Fora do refrigerador (°C)
0	23,0	9,7	4,8	4,8
3	22,0	9,5	4,9	5,9
6	23,0	9,1	5,2	7,0
9	23,0	8,8	5,4	8,0
12	23,0	8,7	5,7	8,8
15	23,0	8,6	5,8	9,5
18	23,0	8,5	5,9	10,2
21	23,0	8,6	5,9	10,9
24	23,0	8,6	5,9	11,6
27	23,0	8,6	5,9	12,2
30	23,0	8,6	5,9	12,9
33	23,0	8,7	5,9	13,4
36	22,0	8,8	5,9	13,9
39	22,0	8,9	6,0	14,4
42	23,0	8,9	6,1	14,9
45	23,0	9,0	6,1	15,3
48	23,0	9,1	6,2	15,8
51	23,0	9,1	6,2	16,1
54	23,0	9,1	6,3	16,5
57	23,0	9,1	6,4	17,0
60	23,0	9,1	6,5	17,3

APÊNDICE D – TABELA DOS ENSAIOS 6 E 7

ENSAIOS 6 E 7						
Tempo (min)	Ambiente (°C)	Caixa (°C)	Fluido de 1,5 Litros (°C)	Ambiente (°C)	Caixa (°C)	Fluido de 5,0 Litros (°C)
0	23	22,7	22,4	22	22,1	21,5
10	23	17,2	21,8	23	17,3	21,1
20	23	15,6	20,8	23	16,3	20,7
30	22	15,1	19,9	23	16,1	20,3
40	22	14,7	19,1	22	15,8	20,0
50	22	14,3	18,3	22	15,6	19,7
60	22	14,1	17,7	23	15,3	19,3
70	22	13,8	17,1	22	15,2	19,0
80	22	13,5	16,5	22	15,0	18,7
90	22	13,2	16,0	22	14,8	18,3
100	22	12,9	15,5	22	14,5	18,1
110	22	12,8	15,1	22	14,4	17,8
120	22	12,5	14,6	22	14,2	17,5
130	22	12,3	14,2	22	14,0	17,2
140	22	12,1	13,8	22	13,9	17,0
150	22	11,9	13,5	22	13,7	16,8
160	22	11,8	13,1	22	13,5	16,5
170	22	11,6	12,8	22	13,4	16,2
180	22	11,3	12,5	22	13,2	16,1
190	22	11,2	12,2	22	13,1	15,8
200	22	11,2	12,0	22	13,0	15,6
210	22	11,2	11,8	22	12,8	15,3
220	22	11,1	11,6	22	12,7	15,1
230	22	11,1	11,4	22	12,5	14,9
240	22	11,0	11,2	22	12,2	14,7