

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CAMPUS CAXIAS
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

ANTONIO CÉSAR MIRANDA DE SOUSA

EFEITO PELTIER E SUAS APLICAÇÕES EM CAIXAS TÉRMICAS RENOVÁVEIS

CAXIAS – MA

2024

ANTONIO CÉSAR MIRANDA DE SOUSA

EFEITO PELTIER E SUAS APLICAÇÕES EM CAIXAS TÉRMICAS RENOVÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física Licenciatura da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA Campus Caxias, para obtenção de grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Giovane de Souza Silva
Coorientador: Esp. Julio da Silva Santos

CAXIAS – MA

2024

S237e Sousa, Antonio César Miranda de

Efeito Peltier e suas aplicações em Caxias térmicas renováveis /
Antonio César Miranda de Sousa. __Caxias: Campus Caxias, 2024.

41f.

Monografia (Graduação) – Universidade Estadual do Maranhão –
Campus Caxias, Curso de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. Giovane de Souza Silva.

Coorientador: Prof. Esp. Julio da Silva Santos.

1. Pastilhas peltier. 2. Caixa térmica. 3. Energia fotovoltaica. 4.
Newton – Lei. I. Título.

CDU 620.92

ANTONIO CÉSAR MIRANDA DE SOUSA

EFEITO PELTIER E SUAS APLICAÇÕES EM CAIXAS TÉRMICAS RENOVÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Física Licenciatura da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA Campus Caxias, para obtenção de grau de Licenciado em Física.

Aprovado em: 12/09/2024

BANCA EXAMINADORA

Giovane de Souza Silva

**Prof. Dr. Giovane de Souza Silva (Orientador – UEMA
Campus Caxias)**

Ediomar Costa Serra

**Prof. Dr. Ediomar Costa Serra
(Avaliador – UEMA Campus Caxias)**

Julio da Silva Santos

**Prof. Esp. Julio da Silva Santos.
(Avaliador – UEMA Campus Caxias)**

Dedico este trabalho aos meus pais, por tudo que me deram, ensinaram e pelo que sou hoje, apesar de serem analfabetos, conseguiram me conceder a educação que tenho.

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade”.

- Nicolás Tesla.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver o protótipo de uma caixa termoelétrica utilizando o efeito Peltier-Seebeck alimentado por energia fotovoltaica, que pode facilitar em situações de dificuldade de acesso à energia elétrica. O sistema em forma de caixas térmicas é de grande importância, como um projeto tecnológico que pode ser alimentado por energia renovável, potencialmente substitui sistemas de refrigeração convencionais que usam compressão e expansão de gás. As placas de efeito Peltier são compostas por material semicondutor em pequenos blocos de Bi_2Te_3 dopados tipo **n** e tipo **p**, que utilizam corrente elétrica, criando uma diferença de temperatura, extraindo calor de um dos seus lados, direcionando-o para o outro, onde o lado resfriado pode ser aproveitado para refrigerar pequenos volumes, mantendo alguns produtos com baixa temperatura. Também sendo possível observar o fenômeno de resfriamento de acordo com o padrão da lei de Resfriamento de Newton, que apresentou o modelo de curvas exponencial decrescente.

Palavras-chave: Pastilhas Peltier, caixa térmica, energia fotovoltaica, lei do Resfriamento de Newton.

ABSTRACT

This work aims to develop the prototype of a thermoelectric box using the Peltier-Seebeck effect powered by photovoltaic energy. The system in the form of thermal boxes is of great importance, as a technological project that can be powered by renewable energy, potentially replaces conventional refrigeration systems that use gas compression and expansion, Peltier effect plates are composed of semiconductor material in small blocks of n-type and p-type doped Bi_2Te_3 , that use electric current, creating a temperature difference, extracting heat from one of its sides, directing it to the other, where the cooled side can be used to cool small volumes, where the cooled side can be used to cool small volumes. It is also possible to observe the cooling phenomenon according to the pattern of Newton's law of cooling, who presented the decreasing exponential curve model.

Keywords: Peltier tablets, thermal box, photovoltaic energy, Newton's law of cooling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transferência de Calor em uma panela de pressão.....	15
Figura 2 - Cilindro de expansão	16
Figura 3 – O diagrama esquemático do funcionamento de uma máquina térmica	18
Figura 4 - Conjunto de componentes e o esquema de funcionamento de uma geladeira.....	21
Figura 5 - O comportamento das temperaturas nas curvas de resfriamento de Newton	23
Figura 6 - Esquema de funcionamento de um sistema fotovoltaica.....	24
Figura 7 - Painéis fotovoltaicos	25
Figura 8 - Diagrama esquemático do princípio de funcionamento de usina termoelétrica	26
Figura 9 - Gráfico da corrente contínua	27
Figura 10 - Diodos semicondutores.....	28
Figura 11 - Pastilha Peltier	29
Figura 12 - Comportamento das placas Peltier em teste	30
Figura 13 - Esquema do efeito Peltier - Seebeck	30
Figura 14 – Conjunto de componentes utilizados: A) Pastilha Peltier, B) bateria de nobreak, C) corte na tampa da caixa de isopor (caixa térmica), D) fixação da pastilha na superfície inferior do dissipador de calor, E) acoplagem dos componentes de “D”	32
Figura 15 - A temperatura em função do tempo no teste da pastilha Peltier com o termômetro em contato com a superfície refrigerada.....	34
Figura 16 - O comportamento da temperatura no interior da caixa térmica longe da pastilha peltier	36
Figura 17 - Região restrita da Figura 16 (quadrado vermelho pontilhado) registrando valores mínimos de temperatura	37
Figura 18 - Registro da temperatura de controle no ambiente de realização dos testes.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conjunto de valores de temperatura utilizados para o cálculo da taxa de resfriamento de Newton	35
Tabela 2 - Conjunto de valores de temperatura utilizados para o cálculo da taxa de resfriamento de Newton no interior da caixa térmica.	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral	14
2.2 Específicos	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 O Estudo da Termodinâmica	15
3.1.1 O Estudo do Calor	15
3.1.2 Lei zero	15
3.1.3 Primeira Lei da Termodinâmica	16
3.1.4 A Segunda Lei da Termodinâmica	17
3.1.5 As Máquinas Térmicas	18
3.1.6 As Máquinas Frigoríficas	20
3.1.7 As Curvas de Aquecimento e Resfriamento de Newton	22
3.1.8 Fontes de Energias Fotovoltaica	23
3.1.9 Termoeletricidade	25
3.1.10 Eletromagnetismo	26
3.1.11 O Efeito Peltier-Seebeck	28
4 METODOLOGIA	31
4.1 Materiais utilizados	31
4.2 Construção da Caixa Térmica	31
4.3 Determinação do Rendimento	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Caixa térmica é um dispositivo portátil, fabricado com um material isolante, geralmente isopor ou poliuretano, com uma temperatura ideal para a conservação de alimentos ou bebidas, e outros gêneros para o consumo humano. Possui um pequeno volume interno, necessitando de menor quantidade de energia para atingir e manter a temperatura de conservação.

Na idade média, o modelo de armazenamento utilizando o gelo já era praticado pelos burgueses, onde o seu escravo enchia recipientes com gelo durante o inverno, assim podendo guardar bebidas e comidas para alguns dias ou meses.

No final do século XIX, o cientista James Dewar (1842-1923), com a necessidade de conservar alguns gases liquefeitos, que ele utilizava em suas pesquisas, ele conseguiu inventar uma garrafa térmica, mas somente no ano de 1904 que teve grande utilização como bem de consumo. A primeira caixa térmica portátil veio surgir nos Estados Unidos da América, patenteada pelo cientista Richard C. Lauramy (1917-1988), em 1951 e lançada como bem de consumo para a sociedade em 1952, feita de aço esmalte cromo e cortiça.

As caixas térmicas utilizadas nesses tipos de trabalhos têm a necessidade da utilização de gelo para garantir uma temperatura baixa conseguindo conservar os produtos. O projeto da caixa termoelétrica com Pastilhas Peltier não tem a necessidade de se utilizar gelo, pois as pastilhas realizam o resfriamento.

O sistema de conservação, através de caixas térmicas é de grande importância para a vida da sociedade moderna, pois nos tempos antigos era muito difícil a conservação dos alimentos sem nenhum tipo de tecnologia para ajudar neste sistema. Atualmente, a favor da população e da indústria, não há mais necessidade do resfriamento como nos tempos arcaicos.

O processo de refrigeração foi pioneiro na evolução da humanidade, pois ajudou na organização e enriquecimento da variedade dos estoques de comidas e bebidas, promovendo melhores condições para a segurança alimentar, em virtude do aumento da população mundial, houve também a necessidade de aumento da produção de alimentos, em variedade e quantidade, incluído alimentos perecíveis, como os derivados de carnes e vegetais, que por sua natureza, resistem por pouco tempo sem refrigeração.

Os sistemas de refrigeração convencionais tais como, geladeiras, ar condicionados, freezers, bebedouros, balcões de frigoríficos, câmaras frias, dentre vários tipos de máquinas frigoríficas, todas elas são compostas internamente por um sistema de tubulações ligadas a um compressor, realizando compressão e expansão de um gás refrigerante, que resulta na extração de calor da fonte fria (evaporador), para a fonte quente (condensador).

Existem várias fontes de energia renováveis e não renováveis no mundo que podem alimentar os sistemas de refrigeração, tais como eólicas, fotovoltaicas, hidrelétricas, termoelétricas que são as mais conhecidas. Devido à grande necessidade em atender o aumento populacional e conseqüentemente o consumo da energia elétrica, houve a necessidade de investir principalmente nas renováveis, por promover uma sustentabilidade, ou seja, uma forma de energia que pouco degrada o meio ambiente. E como destaque, entre as fontes sustentáveis temos a fotovoltaica, que funciona através de painéis que coletam luz solar transformando-a em energia elétrica.

A energia fotoelétrica vem contribuindo cada vez mais na matriz energética nacional e mundial, por ser versátil no que diz respeito às suas formas de instalação, que podem ser em grandes parques fotovoltaicos, com quilômetros de extensão, até pequenos sistemas compactos, como projetos residenciais, isolados ou integrados, e sistemas embarcados, como veículos e máquinas alimentados por energia solar, dentre inúmeras possibilidades de sistema

Há muito tempo, a sociedade se utiliza de várias fontes de energia em busca de uma eletricidade mais limpa e de menor custo benefício, pois já foi usado, desde lenha, bagaço de cana-de-açúcar, e hoje o processo mais utilizado em nosso país no sistema produção de eletricidade é a hidrelétrica. Procurando uma energia limpa e renovável, a indústria do setor vem investindo em energia solar.

As Placas de efeito Peltier, segundo Morais (2019), também conhecidas como pastilhas termoelétricas, utilizam uma diferença de temperatura, onde um lado pode ficar frio e o outro quente, onde se passa uma corrente elétrica contínua por dois condutores. A utilização dessas placas é a maneira mais prática de se utilizar o efeito Peltier como o refrigerador em larga escala, e consiste num arranjo de pequenos blocos de semicondutores de telureto de bismuto (Bi_2Te_3) dopado tipo N e tipo P. Esses dispositivos são utilizados em vários tipos de projetos, onde há pouco espaço, substituindo elementos de refrigeração maiores como, um compressor, uma serpentina e o gás, e possuem menor potência de consumo energético. Assim este trabalho tem como objetivo a construção de um protótipo de uma caixa termoelétrica empregando o efeito Peltier-Seebeck alimentado por energia fotovoltaica.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Desenvolver um protótipo de uma caixa termoelétrica utilizando o efeito Peltier-Seebeck alimentado por energia fotovoltaica.

2.2 Específicos

- Compreender a utilização de energia renovável em um sistema portátil de máquina frigorífica.
- Aplicar as Leis da Termodinâmica na construção de uma caixa termoelétrica.
- Observar o desempenho da temperatura no funcionamento da caixa térmica.
- Analisar o comportamento da Lei de Resfriamento de Newton no sistema.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

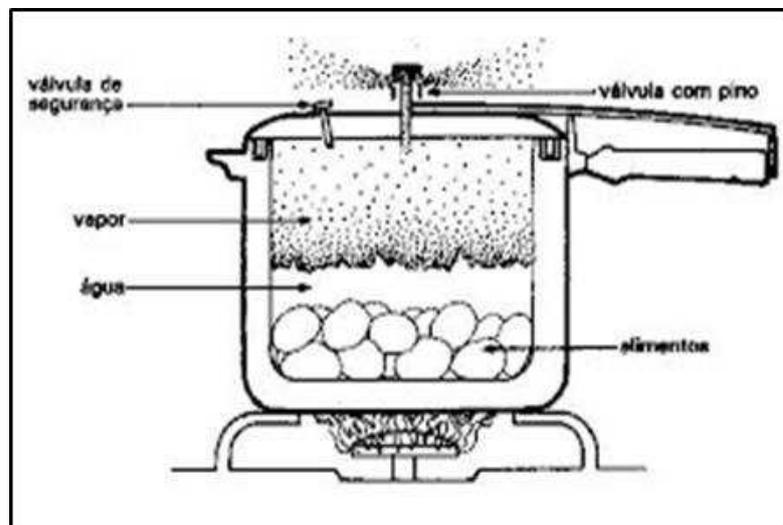
3.1 O Estudo da Termodinâmica

3.1.1 O Estudo do Calor

O estudo do Calor, segundo Resnick (2016), é a passagem de energia térmica de um corpo mais quente para o mais frio, devido uma diferença de temperaturas entre os sistemas. Podemos citar um experimento cotidiano, em que uma lata de refrigerante é retirada da geladeira e deixada em ambiente sem refrigeração, a temperatura da mesma se elevará, e depois mais lentamente, até que as temperaturas da lata e do ambiente chegue a um equilíbrio térmico.

A Figura 1 mostra a transferência de calor através do funcionamento de uma panela de pressão, onde o calor exercido pelo fogo faz com que a água se aqueça fazendo com que os alimentos cozinhem.

Figura 1 - Transferência de Calor em uma panela de pressão



Fonte: Curiosidade - Você sabia.

3.1.2 Lei zero

Quando falamos que dois corpos próximos um do outro trocam calor, ou seja, uma energia passa de fonte de maior temperatura para a de menor temperatura esse mesmo tende a chegar a um equilíbrio térmico. Silva (2022) define a condição de equilíbrio térmico entre corpos, ainda que não estejam em contato entre si, como “Dois corpos estarão em equilíbrio

térmico se ambos tiverem a mesma leitura de temperatura, que pode ser dada por um termômetro de bulbo de mercúrio”.

3.1.3 Primeira Lei da Termodinâmica

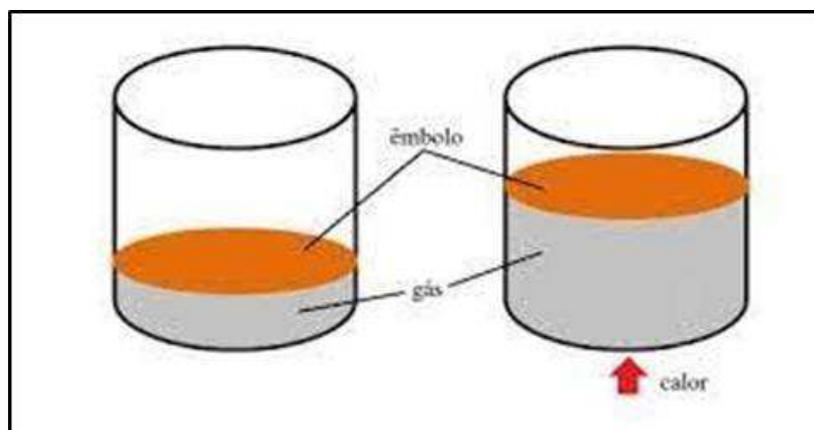
Segundo Resnick (2016), a 1ª Lei da Termodinâmica é uma generalização do princípio da conservação da energia, onde a energia não se perde, ela se transforma, ou seja, como é realizado trabalho através do calor dentro de um sistema isolado. É o sistema que envolve, troca de calor, variação de temperaturas, trabalho e energia interna de um sistema isolado.

A equação (01) abaixo mostra como se comporta a variação da energia interna do sistema ΔU , em que sua unidade é medida em Joule (J), quando ocorre transferência de calor Q , medido em Joule (J) com uma realização de trabalho W , medido em Joule (J).

$$\Delta U = Q - W \quad (01)$$

Conforme Young (2008), esse processo de conservação de energia é bastante amplo, se estende desde um evento que acontece em nosso dia a dia, até os processos de industrialização. Temos vários exemplos que podemos citar como Primeira Lei da Termodinâmica, e um deles é o êmbolo, um dispositivo utilizado em máquinas térmicas, que se movimenta através da pressão exercida pelos fluidos sobre ele. A Figura 2 é um exemplo de esquema de funcionamento de êmbolo.

Figura 2 - Cilindro de expansão



Fonte: Infoenem.

A primeira lei da termodinâmica descrita pela equação (01), conforme Young (2008), é uma generalização do princípio da conservação da energia a fim de incluir a transferência de energia na forma de calor, assim como a realização de trabalho mecânico. Logo, esse princípio pode ser estendido a cada vez mais classes de fenômenos, identificando-se novas formas de energia e de transferência de energia. Em que, ao incluir essa nova forma de energia, a energia total é conservada.

3.1.4 A Segunda Lei da Termodinâmica

O enunciado de Clausius, sobre a Segunda Lei da Termodinâmica conforme Castro (2002) diz que esse princípio acontece de maneira espontânea e natural sem que haja intervenção do homem. Não pode existir transferência de energia térmica de um corpo mais frio para outro mais quente, sem que ocorra ao mesmo tempo mudanças associadas, pois o calor em toda parte manifesta uma tendência a igualar diferenças de temperaturas, ou seja, o sistema tende a chegar a um equilíbrio térmico. A Segunda Lei da Termodinâmica envolve os processos que ocorrem nas máquinas térmicas e o enunciado de Clausius vai contra o princípio de funcionamento das máquinas frigoríficas.

A Segunda Lei da Termodinâmica é a que envolve os processos de entropia, grandeza física que fornece uma medida quantitativa da desordem do sistema. Ela é dada pela equação (02):

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad (02)$$

onde, $\Delta S = S_2 - S_1$, é a variação da Entropia medida em (J/K), Q é a quantidade calor fornecida medida em Joule (J) e T é a temperatura medida em Kelvin (K).

Portanto, pela razão da equação (02) podemos ver o aumento da desordem. Uma vez que, com o aumento da temperatura implica um movimento mais aleatório. Considerando uma substância inicialmente fria, com movimento molecular pequeno, ao fornecer calor Q para a substância, temos um aumento fracionário no movimento e no estado aleatório das moléculas. Se, no entanto, a substância estiver quente, e fornecemos a mesma quantidade de calor, temos um aumento relativamente menor, sendo que já existe movimento molecular da substância. Portanto, a grandeza Q/T, caracteriza o crescimento da desordem de modo apropriado quando o calor flui para o interior de um sistema.

3.1.5 As Máquinas Térmicas

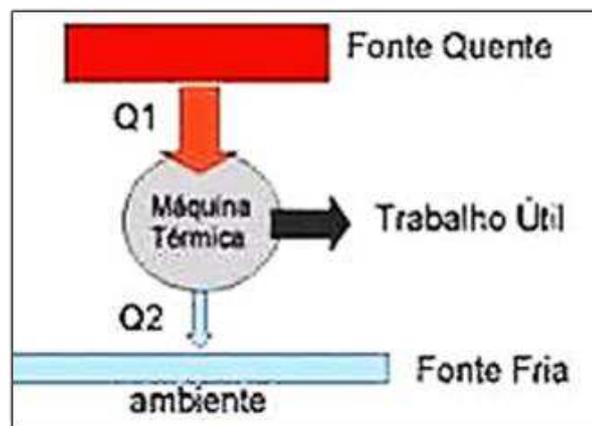
Mesmo com todo avanço industrial através do surgimento da máquina a vapor, houve a necessidade de uma ferramenta com um menor custo de produção.

No século XVII as máquinas térmicas foram aperfeiçoadas por James Watt, amenizando o percentual de perda de calor entre os processos de resfriamento e reaquecimento do cilindro, acoplado um condensador separado. O condensador diminuiu consideravelmente o desperdício de energia e por consequência melhorou a potência, a eficiência e a relação custo-benefício.” (Qgrasselli, 2018)

Conforme Martinelli (2003) as máquinas térmicas são ferramentas com a finalidade de utilizar o calor obtido de uma fonte quente para realizar trabalho dentro de um sistema. Existem vários exemplos de máquinas térmicas, um desses exemplos, é o motor à combustão, onde se usa a energia térmica liberada na combustão, mas que essa energia não é totalmente aproveitada na realização do trabalho, uma grande parte é desperdiçada no ambiente. Esses dispositivos devidos o grande avanço tecnológico estão cada vez mais eficientes e mais presentes no cotidiano da sociedade, seja em casa ou no trabalho.

Todas as máquinas térmicas absorvem calor de uma fonte quente, realizam algum trabalho mecânico e descartam ou rejeitam algum calor na fonte fria, ou seja, com a temperatura mais baixa. A Figura 3 mostra um diagrama esquemático de funcionamento de uma máquina térmica, indicando o fluxo de calor, onde uma fonte quente transfere calor para a máquina, pois uma parte dessa energia é aproveitada e transformada em trabalho e a outra cedida ao ambiente.

Figura 3 – O diagrama esquemático do funcionamento de uma máquina térmica



Fonte: Mundo Educação – UOL

Da Figura 4, temos uma máquina térmica, assim quando uma máquina térmica repete indefinidamente o mesmo ciclo, Q_1 e Q_2 , representam, respectivamente, o calor da fonte quente (absorvido) e o calor da fonte fria (rejeitado) pela máquina durante um ciclo; Q_1 é positivo e Q_2 é negativo. O calor total Q absorvido por ciclo é

$$Q = Q_1 + Q_2 = |Q_1| - |Q_2| \quad (03)$$

A saída útil da máquina é o trabalho da máquina térmica W , realizado pela substância. De acordo com a primeira lei:

$$W = Q = Q_1 + Q_2 = |Q_1| - |Q_2| \quad (04)$$

Se todo o calor da fonte quente Q_1 fosse convertido em trabalho W , assim, teríamos $Q_2 = 0$. Mas a experiência mostra que isso é impossível, sempre existe um calor rejeitado, e Q_2 nunca é zero. Assim, temos a definição de eficiência térmica da máquina, designado pela letra ε , é dada por:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_1} \quad (05)$$

A eficiência térmica ε representa a fração do calor Q_1 que é convertida em trabalho W . Em termos do diagrama da figura 4, a máquina mais eficiente é aquela na qual o tubo que representa o trabalho realizado é o mais largo possível, e o tubo da exaustão, que representa o calor rejeitado, é o mais estreito possível.

O surgimento das máquinas térmicas para a época da revolução industrial, pode ser considerado como um evento de grande inovação dentro das ciências, bem como na organização social. (Grasselli, 2018, pag.12).

Até o surgimento da primeira máquina térmica todo o serviço era praticado totalmente pelo homem, com o uso apenas de ferramentas comuns, pois a chegada dessa tecnologia foi um avanço essencial tanto para a classe trabalhadora quanto para a empresarial.

A utilização destas máquinas retirou o homem da era braçal, levando-o para a era do vapor, substituindo o trabalho do homem pelo trabalho termodinâmico, desenvolvido pelas máquinas a vapor (Grasselli, 2018, pag.12).

3.1.6 As Máquinas Frigoríficas

As máquinas frigoríficas ou refrigeradores tem seu princípio de funcionamento ao contrário das máquinas térmicas. Enquanto as máquinas térmicas utilizam o calor de uma fonte quente para realizar trabalho, as frigoríficas realizam o trabalho para retirar calor de uma fonte fria, sendo um processo mais difícil.

Refrigerador é um dispositivo que utiliza trabalho para transferir energia de uma fonte fria para uma fonte quente por meio de um processo cíclico. Nos refrigeradores domésticos, por exemplo, o trabalho é realizado por um compressor elétrico, que transfere energia do compartimento onde são guardados os alimentos (a fonte fria) para o ambiente (a fonte quente) (Halliday, 2016, p. 574).

No processo de refrigeração, de uma geladeira, por exemplo, se retira calor de uma fonte fria, para uma fonte quente, no caso o meio ambiente, através de um condensador.

Segundo Nussenzveig (2000, p. 208), a função dos refrigeradores é retirar calor Q_2 reservatório da fonte fria, à temperatura T_2 , transferindo calor Q_2 para uma fonte quente com o Q_1 , à temperatura T_1 , que está associada à temperatura ambiente, como no exemplo de uma geladeira, desse modo o fenômeno da refrigeração obedece a equação (06):

$$Q_1 = W + Q_2 \quad (06)$$

Onde Q_2 é o calor transferido da fonte quente (J), W é o trabalho realizado pelo sistema (J) e Q_1 é o calor transferido para o meio ambiente (J).

Conforme Costa (1998), considerando que a tendência natural do calor é passar de uma fonte quente para uma de temperatura mais fria para se manter um sistema refrigerado, é necessário criar-se um fluxo de calor em sentido contrário, no caso das geladeiras, ar-condicionado e outros aparelhos de refrigeração, a utilização da energia elétrica para realizar o trabalho dentro do sistema.

A respeito da refrigeração mecânica por meio de vapores, conforme Costa (1998, p.197):

O sistema de refrigeração mais utilizado atualmente, tanto na técnica da refrigeração industrial como na do conforto, é a refrigeração mecânica por meio de vapores. Consiste, esse processo na produção contínua de líquido frigorífico, o qual, por vaporização, fornece a desejada retirada de calor do meio a resfriar.

Diferente das máquinas térmicas, no sistema de refrigeração se utiliza o trabalho para retirar calor de uma fonte fria para o ambiente para que aconteça a vaporização na máquina frigorífica, onde essa troca de calor acontece através do condensador com o meio ambiente.

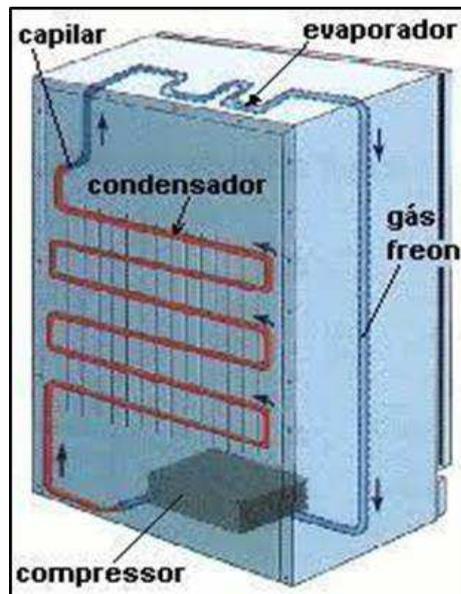
De um ponto de vista econômico, o melhor ciclo de refrigeração é aquele que tira a maior quantidade de calor Q_2 , do interior do refrigerador para o menor trabalho realizado, W . Fazendo a razão de Q_2 com o trabalho realizado W , temos o chamado de coeficiente de desempenho, designado por K , dado pela expressão:

$$K = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}, \quad (07)$$

logo, quanto maior for a razão da equação (07), melhor será o refrigerador. Como sempre medimos Q_1 , Q_2 e W na mesma unidade de energia, assim, K é um número puro sem dimensão.

A Figura 4 mostra o sistema de funcionamento de uma geladeira que inicia o ciclo pelo compressor que fornece uma pressão em um gás (fluido), que passa pelo condensador que retira o calor gás para o ambiente que passa pelo tubo capilar e vai ao evaporador (congelador) e volta par o compressor para reiniciar o ciclo.

Figura 4 - Conjunto de componentes e o esquema de funcionamento de uma geladeira



Fonte: CEPA

De acordo com Costa (1998), para fazer com que um líquido passe para o estado gasoso, é necessário que a variação de temperaturas, ou seja, tensão de seu vapor (função da

temperatura), seja superior à pressão a que a que está submetido o fluido do sistema a ser utilizado no processo de resfriamento. Pois quanto menor for a pressão no sistema de refrigeração, mais baixa será a temperatura conseguida no meio a refrigerar. Assim como acontece no condensador, no evaporador também é realizado uma troca de calor com um efeito diferente, pois o evaporador troca calor com o ambiente a ser refrigerado e o condensador dispersa calor ao meio ambiente.

3.1.7 As Curvas de Aquecimento e Resfriamento de Newton

Segundo Silva (2003, pag. 5), a Lei de Aquecimento e Resfriamento de Newton é aplicável para um sistema em que se possa admitir uma simplificação a mesma temperatura T em todos os seus pontos. Supondo que tal sistema esteja em um ambiente cuja temperatura seja $T_a > T$ havendo um fluxo de calor do mais quente para o mais frio.

A lei de resfriamento de Newton nos diz que quando o objeto tem sua temperatura maior do que a do ambiente, chega ao processo de resfriamento e quando a temperatura do corpo se torna menor do que a do meio, se chega ao princípio de aquecimento. Conforme (Miranda, 2019 p. 5) a lei de resfriamento de Newton obedece a equação:

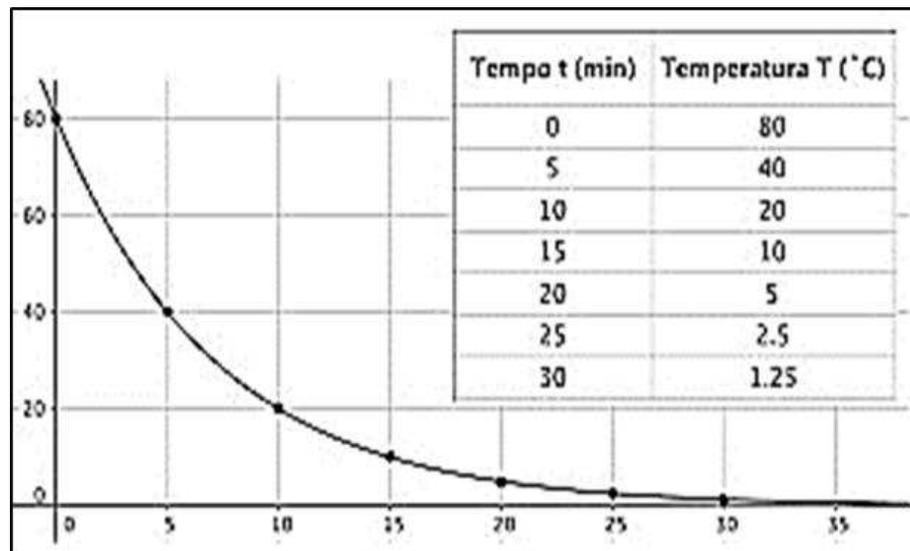
$$\frac{dT}{dt} = k(T - T_a), \quad (08)$$

que produz esse evento físico. Sendo que, $\frac{dT}{dt}$ é a taxa de variação entre a temperatura do corpo e a do meio, k é uma constante de proporcionalidade, T é a temperatura do o corpo observado e T_a é temperatura do meio ambiente. Resolvendo a equação (08) por uma simples integração de separação de variável, obtemos:

$$T = T_a - Ce^{kt}, \quad (09)$$

onde C é uma constante. Como um exemplo da utilização da equação (09), o resfriamento de um certo volume de água a 80°C em um ambiente a 0°C , por exemplo, notaremos um comportamento mostrado na Figura 5.

Figura 5 - O comportamento das temperaturas nas curvas de resfriamento de Newton



Fonte: SIMÕES, M. A.

A Figura 5 mostra o comportamento da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em função do tempo seguindo as curvas de aquecimento e resfriamento de Newton, onde é uma função exponencial que inicia à 80°C e chega à 27°C .

3.1.8 Fontes de Energias Fotovoltaica

3.1.8.1 Energia Solar

O uso da energia solar fotovoltaica vem crescendo em larga escala em todo o planeta, o Brasil é um grande exemplo por possuir um potencial elevado, em virtude da posição geográfica, possui muitas promissoras para a instalação de grandes parques fotovoltaicos. Mesmo sendo um país com grandes fontes de energia hídrica, a utilização das placas fotovoltaicas na geração de energia elétrica atualmente é bem expressiva.

Conforme Lana (2021) a energia fotovoltaica utiliza a luz do sol como fonte energética para a produção de eletricidade. Tendo como principais vantagens ser uma fonte de energia limpa, gratuita e renovável, trazendo benefícios ambientais, econômicos e sociais.

O estudo sobre a energia solar segundo Machado (2015), ocorre entre materiais semicondutores, em que a condução elétrica é variável nesses arranjos, organizados na forma de placas fotovoltaicas, fazem a conversão da energia vinda da luz solar em corrente elétrica viável para ser aproveitada. Tal fenômeno foi descoberto em 1839 por Admond Bacquerel,

quando nas extremidades de uma estrutura feita de materiais semicondutores, surgiu uma diferença de potencial elétrico.

Os processos de energia solar produzidas por placas fotovoltaicas são capazes, de fabricar energia elétrica através das chamadas, placas fotovoltaicas ou placas solares. Essas placas são fabricadas de materiais semicondutores capazes de converter a energia solar em elétrica, hoje os elementos mais utilizados são o germânio e o silício, por serem mais abundantes na natureza e apresentar ligações químicas mais eficiente (Almeida, 2015).

A Figura 6 mostra um diagrama esquemático de funcionamento de um sistema fotovoltaico, onde o painel solar recebe a luz do sol e transformando em energia elétrica contínua, que passa pelo controlador de cargas, para proteger as baterias de sobrecargas, essa corrente é conduzida ao inversor que transforma a corrente das baterias em alternada, passando pela caixa de distribuição e depois para o consumo dos eletrodomésticos.

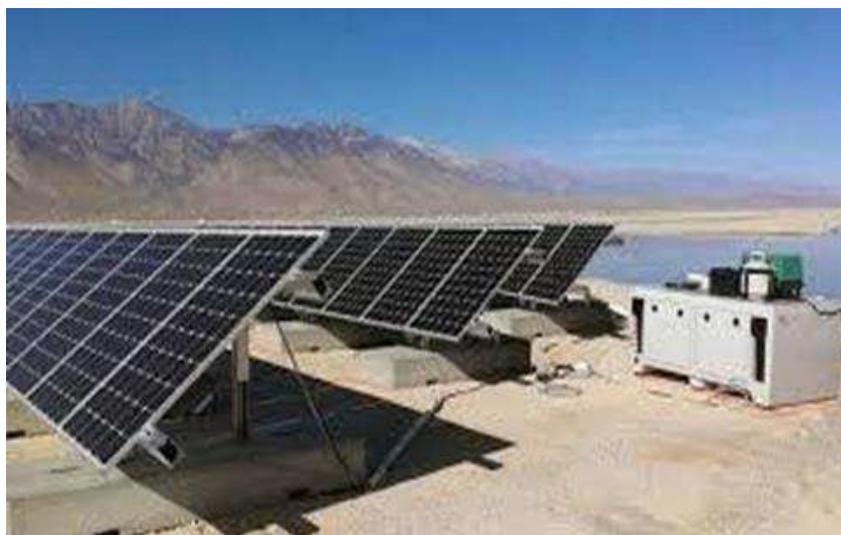
Figura 6 - Esquema de funcionamento de um sistema fotovoltaica



Fonte: ECO aquecedores.

Conforme Machado (2015), apesar de ser um investimento com um retorno financeiro rentável, um dos principais motivos da pouca utilização da energia fotovoltaica no Brasil, é o preço que ainda é bastante alto para a população. Apesar de o Brasil ser um país onde o clima favorece muito, para a instalação desses sistemas, esses equipamentos são importados de outros países, por esse motivo, os custos de aquisição e manutenção tornam-se elevados. A Figura 7 mostra um parque de geração energia fotovoltaica, composta por painéis coletores de luz solar, montados para produzir energia elétrica.

Figura 7 - Painéis fotovoltaicos



Fonte: Energia wise.

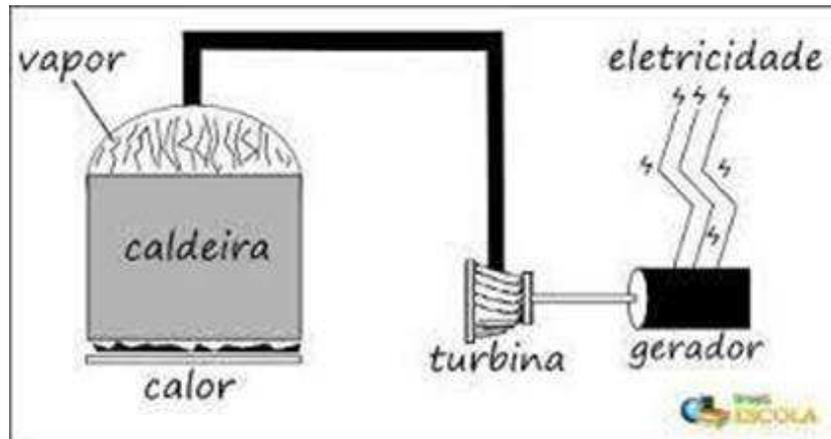
3.1.9 Termoeletricidade

3.1.9.1 Usinas termoelétricas

Uma usina termelétrica é uma instalação industrial utilizada para a produção de energia a partir da liberação de calor por qualquer material combustível que possa gerar calor. Conjunto de obras e equipamentos que interagem de forma a produzir eletricidade a partir da queima de combustíveis fósseis, biocombustíveis, ou outras fontes de calor, como o urânio, por exemplo (Gomes, 2016).

Os processos mais utilizados na produção termoelétrica são compostos basicamente por ferramentas como: Caldeira, Turbina, Gerador, Condensador e Bomba. A Figura 8 mostra o esquema de uma usina termelétrica, onde o combustível é queimado, fornecendo calor para a caldeira que produz o vapor que movimenta a turbina gerando energia mecânica rotacional que movimenta o eixo de um o dínamo elétrico que produz eletricidade.

Figura 8 - Diagrama esquemático do princípio de funcionamento de uma usina termelétrica



Fonte: Brainly.

Segundo Gomes (2016), de uma forma geral, o funcionamento de uma usina termelétrica se dá por meio da produção de energia térmica proveniente da queima de um combustível em energia mecânica e elétrica, e, embora existam diferentes tipos de usinas termelétricas, a diferença entre elas consiste na forma em que a energia térmica é obtida.

3.1.10 Eletromagnetismo

3.1.10.1 Carga elétrica

Em todo material é de natureza já existir carga elétrica, pois até mesmo no ar que respiramos ela existe dependendo do modo em que esse ar se encontra, se for em um dia seco ele se estará carregado e para sabermos basta ter algum atrito.

A carga elétrica é uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria. É uma propriedade associada à própria existência dessas partículas, e essas cargas podem ser encontradas na natureza de dois tipos: cargas positivas e cargas negativas (Haliday, 2016. p. 29)

3.1.10.2 Corrente elétrica

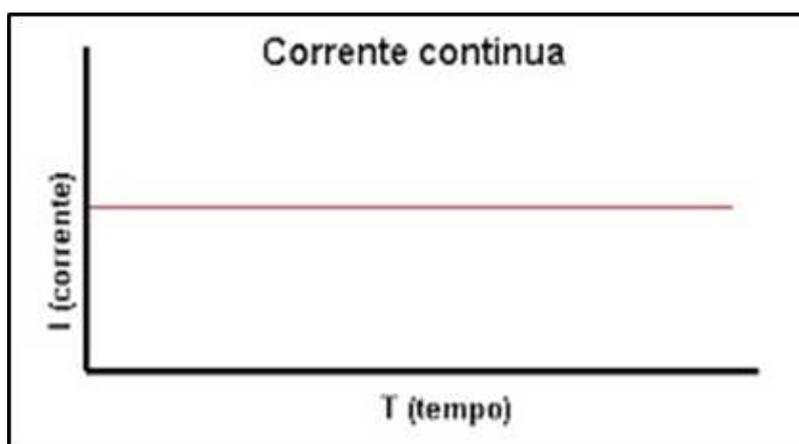
Em circuito elétrico, só existe um movimento ordenado de elétrons, ou seja, um movimento de elétrons dentro do material condutor se houver uma Diferença de Potencial (ddp) para movimentar esses elétrons em um fluxo organizado.

“Mesmo, uma corrente elétrica seja um movimento de partículas carregadas, nem todas as partículas que se movem, produzem corrente elétrica. Para que exista corrente elétrica através de uma dada superfície, é necessário que haja um fluxo líquido de cargas através superfície” (Halliday, 2016, p. 320).

3.1.10.3 Corrente elétrica contínua

A corrente contínua é aquela em que o movimento dos elétrons tem apenas um sentido, ou seja, não precisa ter um fluxo de corrente indo e voltando pelos condutores. Esse tipo de corrente foi descoberto por Tomas Edson, e era bastante utilizada em residências na época, mas por ter uma grande perda de potência, deixou de ser usada. A corrente contínua é bastante utilizada em sistemas elétricos de computadores, celulares, esse tipo de corrente é a mesma que existe nas baterias e pilha.

Figura 9 - Gráfico da corrente contínua



Fonte: CCCA

3.1.10.4 Semicondutores dopados

Na natureza existem materiais condutores de eletricidades, os materiais isolantes e os que não são condutores e nem isolantes, os chamados semicondutores onde os mais utilizados são compostos por matérias como o germânio (Ge) e os silício (Si) por serem mais abundantes na natureza, e apresentarem propriedade semicondutoras. Um exemplo comum são os diodos semicondutores comerciais (Figura 10), que apresentam uma grande variedade de modelos comerciais, de acordo com o tipo de aplicação.

Figura 10 - Diodos semicondutores

Fonte: Oficina Brasil.

A versatilidade dos semicondutores grandemente aumentada se introduzirmos um pequeno número de átomos (chamados de impureza) na rede cristalina; este processo é conhecido como dopagem. Tipicamente em um semicondutor dopado, apenas 1 átomo de silício em cada 10^2 é substituído por uma impureza (Halliday, 2016, p. 604).

Quase todos os dispositivos semicondutores podemos utilizar semicondutores dopados. Os semicondutores podem ser do tipo n e tipo p (Halliday, D. 2016, p.604).

3.1.11 O Efeito Peltier-Seebeck

Conforme Moraes (2019, p.15), o efeito de Peltier - Seebeck, descoberto em 1834, é um fenômeno termoelétrico que produz um gradiente de temperatura (T_q e T_f) quando se aplica uma ddp em um circuito elétrico fechado que gera uma corrente contínua que atravessa um corpo formado por uma junção de vários condutores ou semicondutores distintos, onde dependendo do sentido de passagem da corrente elétrica, uma das junções absorve o calor e a outra o libera.

As placas Peltier- Seebeck são bastante pequenas, quadradas, feita de um material cerâmico bastante resistente. Essas pastilhas são bastante versáteis, pois em um sistema de refrigeração podem substituir matérias de grande porte, como compressor, condensador e um evaporador, por exemplo, e um material leve, com mostra a Figura 11.

Figura 11 - Pastilha Peltier

Fonte: Amazon

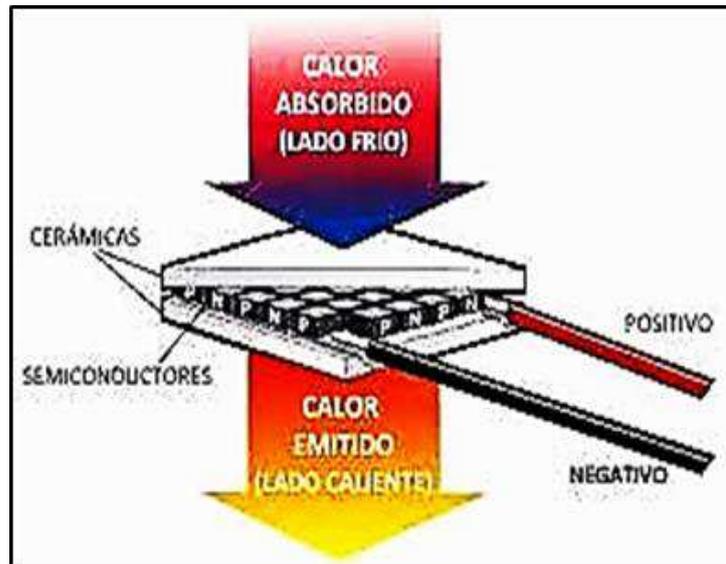
As células de efeito Peltier, também conhecidas como pastilhas termoelétricas utilizam o efeito de aquecer ou esfriar quando se passa corrente elétrica contínua por dois condutores. A pastilha Peltier-Seebeck é a maneira mais prática de se utilizar o efeito Peltier como refrigerador em larga escala, e consiste num arranjo de pequenos blocos de telureto de bismuto - Bi_2Te_3 dopados, tipo N e tipo P (Morais, 2019, p. 16).

Alguns modelos de placas Peltier-Seebeck tem uma faixa de temperatura e trabalho, ou seja, uma diferença de temperatura bem grande, algumas chegam a uma diferença de, -30°C a 70°C . As pastilhas Peltier quando aplicado uma ddp, um lado esfria e o outro aquece, o problema é que elas sozinhas não conseguem se desfazer desse calor, elas precisam de um modo de dissipação muito eficaz do lado que aquece, para que o lado frio caia bastante sua temperatura, ao contrário a pastilha não vão funcionar adequadamente, então é preciso de um dissipador de calor para retirar o excesso.

Conforme Bueno (2018), as placas Peltier – Seebeck são fabricadas de materiais semicondutores do tipo *p* e tipo *n* agrupados em pares. Quando os fluxos de elétrons passam por esses materiais, uma face fica aquecida e a outra refrigerada, como detalha a figura 12, a forma como são as pastilhas Peltier – Seebeck, onde se observa o lado frio e o lado quente da mesma, o material com que é feito, a parte externa do semicondutor, e os fios positivo e negativo. De acordo com Moraes (2019, p.16):

Entre as vantagens do uso dos módulos PeltierSeebeck, destaca-se: leveza, precisão no controle de temperatura, baixo ruído, ausência de vibração e de gás e menor manutenção, podendo assim substituir todo o sistema de refrigeração. Vale ressaltar que cada pastilha tem seu próprio limite da quantidade de calor que ela pode transferir.

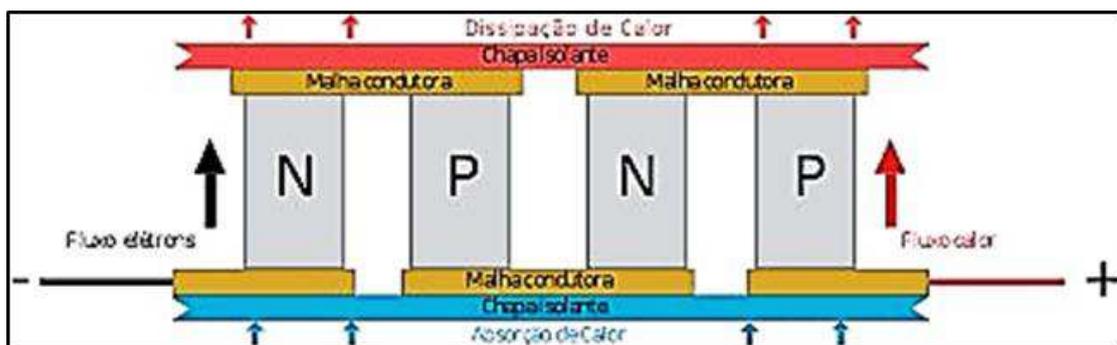
Figura 12 - Comportamento das placas Peltier em teste



Fonte: Arduino e eletrônica.

A Figura 13 mostra o princípio de funcionamento do efeito Peltier – Seebeck, onde na parte superior mostra como é feita a dissipação do calor, a parte em que tem o fluxo de elétrons e que acontece o fluxo de calor, na parte direita da figura o condutor negativo e na esquerda o positivo.

Figura 13 - Esquema do efeito Peltier - Seebeck



Fonte: Portal do eletrodoméstico.

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a confecção deste trabalho foram:

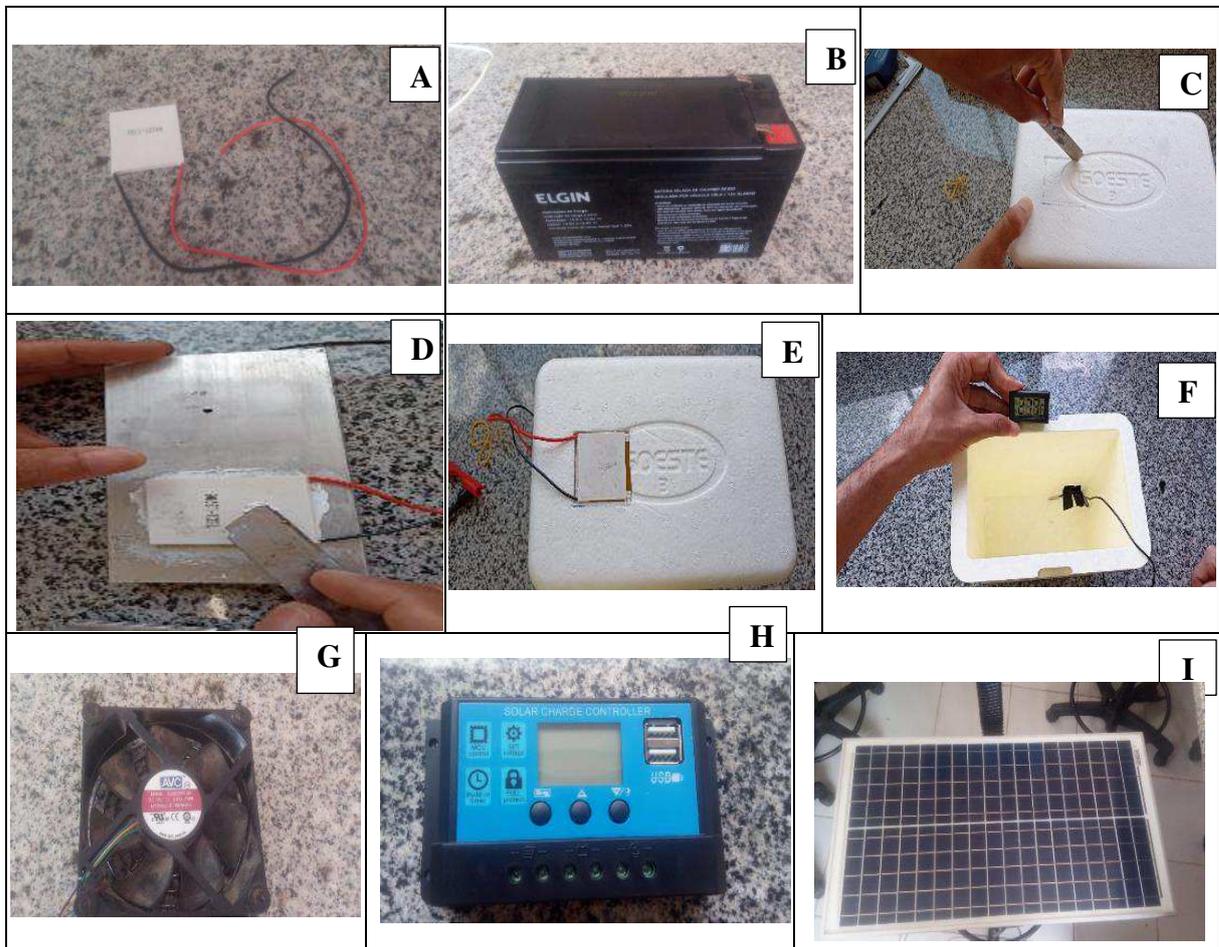
- Computador para pesquisas de artigos, trabalhos científicos e vídeos para estudo e entendimento do conteúdo apresentado no projeto.
- Duas fontes de alimentação, que têm a função de inverter a corrente alternada para contínua.
- Uma bateria de nobreak, de 14V, 1,35A, para a alimentação do circuito elétrico do projeto da caixa térmica.
- Dois coolers de 12V cada, um de 0,25 A e outro de 0,41 A.
- Pastilha Peltier de 12V e 6A, 40 mm, modelo TEC1-12706 que tem a função de célula de refrigeração no projeto.
- Condutores elétricos para fazer a conexão entre a bateria e a placa Peltier para a alimentação do circuito.
- Dois dissipadores termoeletrônico, que servirá para retirar calor do sistema da caixa térmica, para que ele possa resfriar o interior da caixa.
- Uma caixa de isopor, onde ficará as pastilhas Peltier, e que terá a função de um evaporador no projeto da caixa térmica.
- Uma placa fotoelétrica que fornecerá energia contínua para a bateria e onde a mesma alimentará o sistema da caixa térmica.
- Um controlador de corrente que terá a função de transformar a energia contínua que vem da placa para a bateria.
- Dois termômetros, um ambiente e outro digital, para medir a temperatura ambiente e a da caixa térmica.

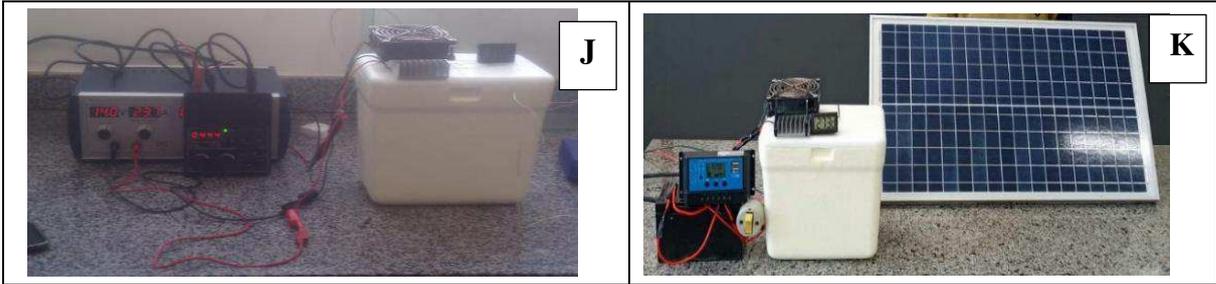
4.2 Construção da Caixa Térmica

A construção do protótipo aconteceu no Laboratório de Ensino de Física da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Campus Caxias, pavilhão F, localizado na Praça Duque de Caxias, s/n, Morro do Alecrim, no período de janeiro a março de 2024.

Inicialmente todos os componentes foram testados, a caixa foi preparada, fazendo um corte em formato quadrado, com auxílio de um estilete (Figura 14 C). Em seguida, a pasta térmica foi aplicada sobre as superfícies da pastilha, em ambos os lados (Figura 14 D), para uni-la com os dois dissipadores de calor e seus respectivos coolers (Figura 14 E e G). Depois disso, os dissipadores com a pastilha foram colocados no furo da caixa, onde a parte fria da pastilha fica para dentro e a quente para fora da caixa, o outro passo foi conectando o controlador da caixa, na bateria e na placa solar, pois esse controlador tem a função de baixar a tensão que vem do painel fotovoltaico para a bateria.

Figura 14 – Conjunto de componentes utilizados: A) Pastilha Peltier, B) bateria de nobreak, C) corte na tampa da caixa de isopor (caixa térmica), D) fixação da pastilha na superfície inferior do dissipador de calor, E) acoplamento dos componentes de “D”





Fonte: Próprio autor, 2024.

4.3 Determinação do Rendimento

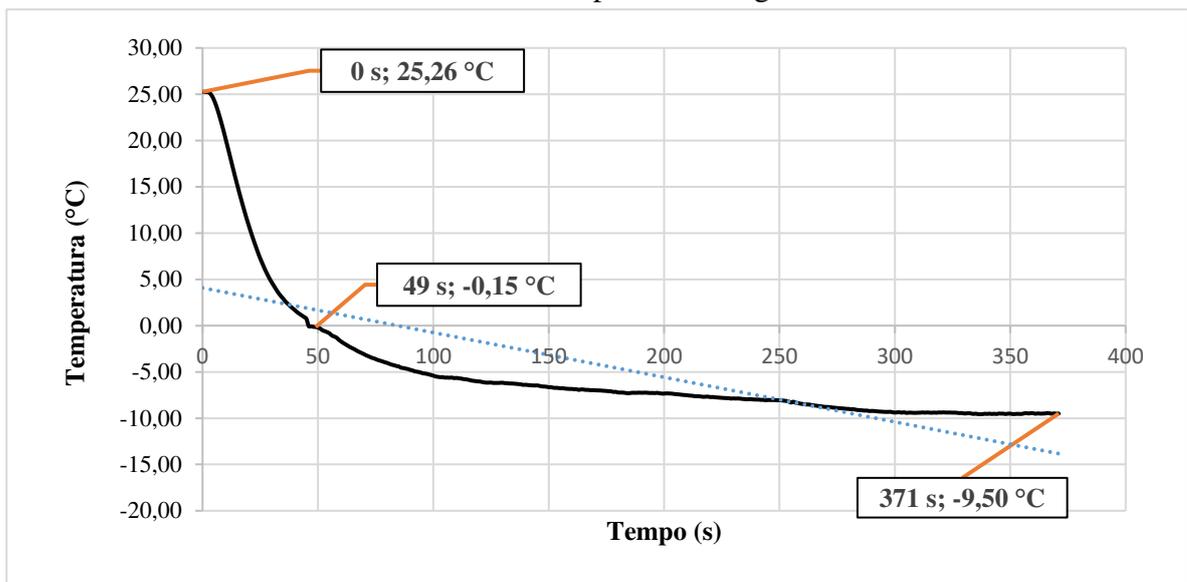
Todos os materiais do projeto da caixa térmica foram testados e todos os dados esperados foram obtidos com sucesso. O dissipador conseguiu retirar calor da pastilha o suficiente para que um lado esfriasse a uma temperatura bem baixa, porém dentro da caixa, porém não resfriou dentro da caixa o suficiente para chega a mesma temperatura da superfície da placa, pois a bateria não tem carga o suficiente para fazer com que a pastilha resfriasse dentro da caixa. Mesmo assim a energia aplicada à pastilha do projeto da caixa térmica foi capaz de fazer com que a caixa realizasse trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo a sequência de construção da caixa térmicas, como descrita na metodologia, logo após o monitoramento das temperaturas obtidas, durante o funcionamento de todo o projeto montado, os resultados foram obtidos e demonstrados a partir de figuras, tabelas e descritos a seguir.

A Figura 15 mostra o comportamento da temperatura em função do tempo, referente ao um teste em que o termômetro se encontrava em contato direto com a superfície refrigerada da pastilha Peltier, com a finalidade de monitorar a eficiência máxima da pastilha. Foi observada uma diminuição em alguns instantes, hora de forma brusca, hora mais lenta, com o intervalo de tempo maior. O gráfico mostra que a queda da temperatura forma uma curva que obedece a lei de aquecimento e resfriamento de Newton.

Figura 15 - A temperatura em função do tempo no teste da pastilha Peltier com o termômetro em contato com a superfície refrigerada



Fonte: Próprio autor, 2024.

Na Figura 15 estão marcados três pontos importantes no estudo em questão, dos quais o primeiro, em 0 segundo e temperatura de 25,26°C, corresponde à temperatura inicial do experimento. O segundo ponto, em 49 segundos, é a temperatura em que o sistema para atinge valores negativos, de -0,15°C, observando assim um trecho no gráfico de variação rápida de temperatura, demonstrado máxima eficiência em todo o experimento. A partir disso, os intervalos de tempo ficam maiores e a queda de temperatura fica menor até chegar à mínima registrada pelo termômetro de -9,50 °C, no instante de 371s (6min 11s), tornando-se constante.

O fato da temperatura no gráfico fica constante a partir do instante 370s (6min 11s), é porque a pastilha não conseguiu extrair calor do sistema, ou seja, da sua superfície.

Os resultados da Figura 15 indicam um padrão correspondente à Lei de Resfriamento de Newton. Para a construção da Tabela 1, foram escolhidos alguns valores utilizado na construção da Figura 15, de forma a resumir o estudo, tendo em vista que são muitos pontos, porém buscando conservar o padrão observado, escolhendo dados como forma de amostra.

Tabela 1 - Conjunto de valores de temperatura utilizados para o cálculo da taxa de resfriamento de Newton

T_a (°C)	T (°C)	t (s)	K (°C/s)
25	24,85	4	-0,78
	20,16	10	-0,26
	10,84	20	-0,22
	4,66	30	-0,16
	1,67	40	-0,13
	-0,21	50	-0,10
	-1,71	60	-0,08
	-3,09	70	-0,079
	-4,03	80	-0,07
	-9,56	90	-0,065

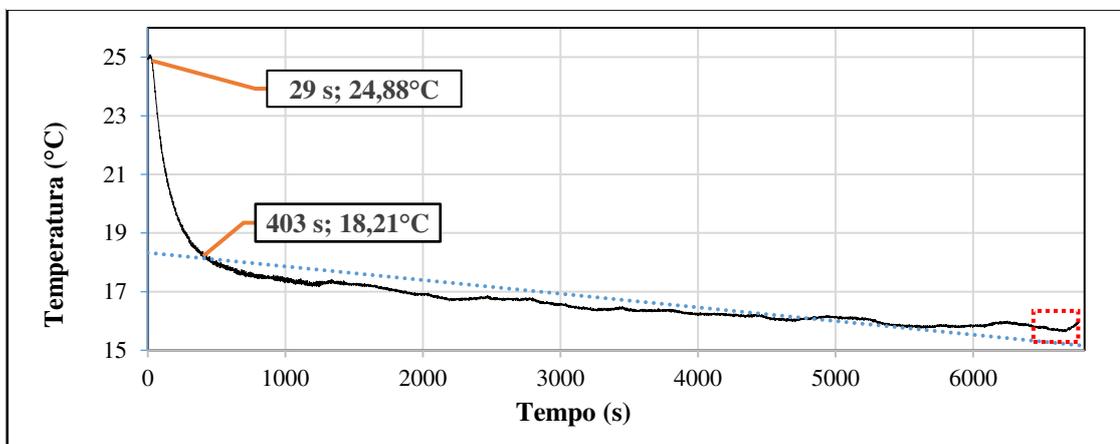
Fonte: Próprio autor, 2024.

Na Tabela 1, estão elencadas a grandezas componentes as Lei de Resfriamento de Newton, inicialmente temos a temperatura (Equação 08 e 09), selecionando 10 valores de amostra de **T(°C)** em seus respectivos intervalos de tempo **t(s)**, para as temperaturas encontradas no conjunto de pontos da curva, tendo como média de temperatura ambiente da sala onde foi realizado o experimento, **T_a(°C)** com o valor de 25°C, foram calculados os valores de para a taxa de resfriamento de Newton, **K(°C/s)**, indicando na tabela que no ponto com o tempo de 4 segundos, a taxa de resfriamento foi de -0,78°C/s, isso significa que nesse trecho da curva, o sistema obteve a máxima redução de temperatura por unidade de tempo. Outro ponto que foi observado, considerado mediano em redução de temperatura foi em 1,67°C, em 40 segundos, onde se observou o valor de - 0,13 °C/s. Na mesma análise, as condições mínimas encontradas foram em -9,56°C, no tempo de 90 segundos com uma taxa de resfriamento K igual

a $-0,065$ °C/s, indicando a pastilha Peltier já estava em condições de máximas em seu funcionamento reduzindo bastante sua eficiência, conseguindo uma redução muito pequena de temperatura.

A Figura 16 corresponde ao mesmo padrão do experimento da Figura 15, porém diferenciando em algumas condições, onde nessa etapa, a temperatura registrada é referente a um termômetro no ambiente interno da caixa térmica (Figura 14 F), para monitorar a o comportamento da temperatura internamente, onde poderia ser colocado algum alimento para ser refrigerado.

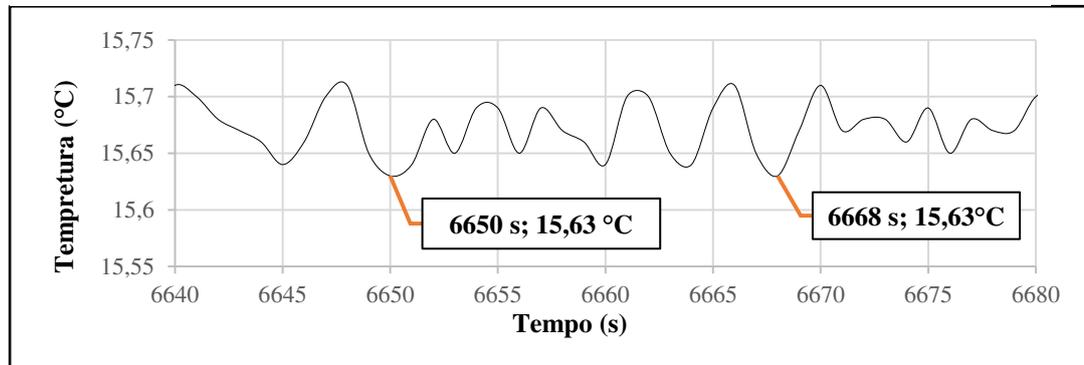
Figura 16 - O comportamento da temperatura no interior da caixa térmica longe da pastilha peltier



Fonte: Próprio autor, 2024.

Na Figura 16 mostra a temperatura registrada no interior da caixa em momento de refrigeração do ambiente interno, que se inicia com $24,88^{\circ}\text{C}$, em seguida ocorre uma queda dentro de um intervalo de 400 segundos (6 min e 40 s), até chegar à temperatura de $18,21^{\circ}\text{C}$. Após esse intervalo, a taxa de resfriamento K reduz e permanece em ritmo mais suave, os intervalos de tempo prosseguem até 6650 segundos (1 h 50min e 50s) e 6668 segundos (estabilizando em $15,63^{\circ}\text{C}$ (Figura 17). O quadrado em destaque em vermelho (figura 16), se refere a um trecho da curva em que o sistema, atingiu a temperatura mínima de resfriamento, considerada estável, pois o mesmo não mais apresentou capacidade de resfriamento, assim não conseguindo reduzir ainda mais a temperatura. Esse intervalo é apresentado com maior destaque na Figura 17.

Figura 17 - Região restrita da Figura 16 (quadrado vermelho pontilhado) registrando valores mínimos de temperatura



Fonte: Próprio autor, 2024.

Para a construção da Tabela 2, foi usada a mesma forma de abordagem na construção da Tabela 1, utilizando 10 valores de temperatura, nesse caso, contidos na Figura 17, da mesma maneira com a finalidade de amostragem do estudo.

Tabela 2 - Conjunto de valores de temperatura utilizados para o cálculo da taxa de resfriamento de Newton no interior da caixa térmica.

T_a (°C)	T (°C)	t (s)	K (°C/s)
25	24,97	1	- 3,5
	24,94	4	- 3,8
	24,93	7	- 2,0
	24,86	30	- 0,33
	23,95	50	- 0,32
	21,96	100	- 0,06
	18,56	338	- 0,029
	17,26	1500	- 0,007
	16,23	4000	- 0,003
	15,63	6650	- 0,002

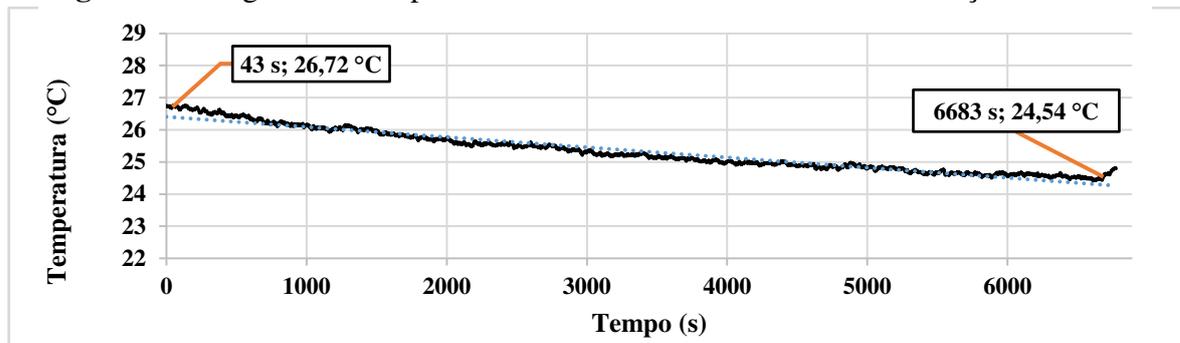
Fonte: Próprio autor, 2024.

Na Tabela 2 a grandezas componentes as Lei de Resfriamento de Newton (Equação 08 e 09), assim como foi feito no tratamento de dados da Tabela 1, selecionando 10 valores de amostra de T (°C) em os intervalos de tempo t (s), para as temperaturas na Figura 17, como

média de temperatura ambiente, $T_a(^{\circ}\text{C})$ igual a 25°C e os valores da taxa de resfriamento $K(^{\circ}\text{C}/\text{s})$ calculados. A taxa de resfriamento foi de $-3,5^{\circ}\text{C}/\text{s}$, representando a maior variação na temperatura interna da caixa. Outro ponto considerado mediano entre os valores foi em $23,95^{\circ}\text{C}$, no tempo de 50 segundos, onde se observou uma redução de temperatura de $-0,32^{\circ}\text{C}/\text{s}$.

Nessa nova análise, as condições mínimas de temperatura foram em $15,63^{\circ}\text{C}$, no tempo de 6650 segundos (1h 50min 50s) com uma taxa de resfriamento K igual a $-0,002^{\circ}\text{C}/\text{s}$, uma redução muito pequena de temperatura nesta etapa. A Figura 18 representa a uma situação de controle, onde um termômetro, teve sua ponta de prova localizada no ambiente externo à caixa, para monitorar a temperatura ambiente da sala em que foram realizados os testes.

Figura 18 - Registro da temperatura de controle no ambiente de realização dos testes



Fonte: Próprio autor, 2024.

A variação de temperatura no ambiente da sala registrou valor máximo de $26,72^{\circ}\text{C}$ em 42s correspondente a um intervalo próximo ao início do experimento, como valor mínimo de $24,54^{\circ}\text{C}$ em 6683s (1h 53min e 23s), apresentando uma queda bem lenta, formando um padrão linear, tendo como média a temperatura de $25,63^{\circ}\text{C}$, indicando uma variação muito pequena em relação aos registros de temperatura no interior da caixa térmica, considerando que a temperatura do ambiente da sala não influenciou significativamente nos testes.

6 CONCLUSÃO

Levando em consideração o objetivo do trabalho, que é o uso das pastilhas de Peltier para a construção da caixa térmica como inovação no processo de refrigeração, onde pode ser utilizada para conservar bebidas, alimentos ou qualquer produto de pequeno porte. Pode-se concluir que, para essa aplicação, o componente citado é viável, pois se utiliza uma fonte de energia renovável e limpa que não agride e nem prejudica o meio ambiente. Mesmo possuindo suas dimensões reduzidas, onde é possível o não uso de gases nocivos à saúde e a camada de ozônio e também ausência de ruído, ainda mostra que é uma tecnologia com bastante desempenho.

O projeto desenvolvido, foi preciso fazer alguns testes até atingir o objetivo final, serviu também para demonstrar que as placas Peltier podem ser de grande utilidade no que diz respeito a refrigeração e que podem ter muita eficiência, mas é preciso uma análise e estudo completo das variáveis antes de atingir uma solução efetiva.

Os testes feitos com as pastilhas alcançaram o resultado esperado, que foi uma temperatura efetivamente baixa, onde a inicial do sistema foi de 25 °C que chegou aproximadamente à mínima -10° C, na qual foi capaz de resfriar o interior da caixa térmica.

O principal motivo que levou a utilização das placas Peltier para essa aplicação é a relação entre potência e desempenho térmico, para alcançar as temperaturas encontradas, não foi preciso a utilização de várias pastilhas de Peltier, o que não aumentou o consumo de energia elétrica.

Com monitoramento do desempenho das temperaturas registradas no protótipo, foi possível observar o fenômeno de resfriamento de acordo com o padrão da lei desenvolvida por Sir Isaac Newton (1643 – 1727), que apresentou o modelo de curvas exponencial decrescente, de acordo com as soluções das equações 08 e 09, que são do tipo separáveis e resultam em funções de base e^x , onde x representa as grandezas de tempo (t) e taxa de variação de temperatura (K).

Portanto, através do projeto foi possível demonstrar um grande salto tecnológico em que poucos dispositivos podem substituir um sistema, sendo preciso o uso de vários materiais, que é o caso dos sistemas de refrigeração das máquinas frigoríficas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Scherer. **Fonte Alternativa De Energia: Energia Solar**. 2015.

BUENO, Alisson Luiz; DALOSKI, Leandro Cesar; ALMEIDA, Rafael Dalbello. **Aplicação de pastilhas Peltier para fabricação de Hidromel**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Automação Industrial), 39 p. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

BUGLIA, Fernando. **Entenda a Primeira Lei da Termodinâmica**. Disponível em: <<https://infoenem.com.br/entenda-a-primeira-lei-da-termodinamica/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

CASTRO, Reginaldo; FERRACIOLI, Laércio. **Segunda Lei da Termodinâmica: Um estudo do seu Entendimento por Professores do Ensino Médio**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2002.

CEPA. **Refrigeradores domésticos – Geladeira**. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Refrigeracao/geladeira.htm>>. Acesso em: 6 set. 2024.

COSTA, Ennio Cruz. **Física aplicada à construção: Conforto térmico, 4 ed**. Editora: Blucher, São Paulo, 1991.

ECOQUECEDORES. **Ecoaquecedores, Aquecedores solares, energia solar, aquecimento de piscina, painéis de led**. Disponível em: <<https://ecoaquecedores.com.br/energia-solar-fotovoltica-off-grid/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

ENERGIA WISE; **Painéis Solares**. Disponível em: <<https://energiawise.com.br/tag/paineis-solares/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

FAGUNDES, Aline Walter Reculiano; SANTOS, Priscila Miranda Engelhardt; BARBOZA, Claudemir Miranda, DE DEUS, Juliano Alves. **Modelagem Matemática na Lei de Resfriamento de Newton: Experiência com Garrafas Térmicas**. Rio Branco, 2019.

GOMES, Layane. **Avaliação do potencial energético aplicado à uma usina termelétrica de fontes renováveis**. Universidade de Brasília - UnB. Brasília – DF, 2016.

GRASSELLI, Erasmo. **Uma abordagem das máquinas térmicas no ensino de termodinâmica sob a ótica da aprendizagem significativa**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira – PR, 2018.

HALLIDAY, David, RESNICK, WALKER, Jearl Robert. **Fundamentos de Física**. Rio de Janeiro: LTC, vol. 2. 10 ed. 2016.

HALLIDAY, David. WALKER, Jearl, RESNICK, Robert.; **Fundamentos da física**. Rio de Janeiro. LTC, vol. 3. 10 ed. 2016.

HALLIDAY, David.; WALKER, Jearl Robert.; RESNICK, R. **Fundamentos da física**. Rio de Janeiro; LTC, vol. 4. 10 ed. 2016.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. São Paulo – SP. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/mande-seu-e-mail/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

MACHADO, Carolina; MIRANDA, Fábio. Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, 2015.

MORAES, Rafael. **Aprendizagem de conceitos físicos a partir da construção de uma mini geladeira de pastilhas Peltier**; Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Instituto de Saúde e Biotecnologia – ISB, 2019.

MYTHOS; SILVA, Matheus; LANA, Thiago; SILVA, José. **Energia Solar Fotovoltaica: Revisão bibliográfica**. Faculdades Integradas de Cataguases.

NUNSENZVEIG, Moysés. **Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações, Ondas e Calor**: Blucher, 4 ed, São Paulo, 2000.

OFICINA BRASIL. **Diodos semicondutores: funções, aplicações e testes**. Disponível em: <<https://oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/diodos-semicondutores-funcoes-aplicacoes-e-testes>>. Acesso em: 6 set. 2024.

Pastilha Termoelétrica Peltier Tec1-12706. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/tec1-Pastilha-Termoel%C3%A9trica-Peltier-Tec112706/dp/B071H9LK9K>>.

SANTOS, M. A. S. **Segundo Princípio da Termodinâmica**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/segundo-principio-termodinamica.htm>>. Acesso em: 6 set. 2024.

SILVA, Carlos, DINIZ, Hélio, MEYER, Ivo, RESENDE, Sara, VIEIRA, Neylor. **Projeto de uma máquina frigorífica a ar – água a CO₂, em ciclo subcrítico**. Editora: Conhecimento Livre, ed.1, 2022.

SILVA, Wilton. Máquinas Térmicas I: Motores de Combustão Interna. **Medidas de Calor Específico e Lei de Resfriamento de Newton: um refinamento na análise dos dados experimentais**. ENJUÍ, 2003.

VOCÊ SABIA. **Como funciona uma panela de pressão**. 2014. Disponível em: <<https://www.vocesabia.net/ciencia/como-funciona-a-panela-de-pressao/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física 2 – termodinâmica e ondas**. 12 ed. São Paulo, 2008.