

PROJETO TERMODINÂMICA – MINI-GELADEIRA COM PLACA DE PELTIER

Hugo PREVEDEL¹
Cesar HAYASHI²
Murillo PAIANO³

RESUMO: O presente artigo tem como objetivo apresentar um projeto documentado do funcionamento estrutural e energético de uma mini geladeira. Tem-se o intuito de por em prática e analisar os conceitos da Termodinâmica, ciência da física que estuda as relações de calor e energia em geral, bem como a troca de calor de um sistema, gerando a variação de 3 grandezas em específico. São elas: Temperatura, volume e pressão.

O desenvolvimento deste projeto permitirá analisar o comportamento teórico e a prática de um sistema de refrigeração, e desenvolver uma visão crítica usando os conceitos termodinâmicos estudados em sala de aula para potencializar o funcionamento e o rendimento da mini geladeira. Para isto, deve-se evitar e/ou reduzir ao máximo as possíveis trocas de calor do sistema com o ambiente.

Palavras-chave: Troca de calor; Termodinâmica; Mini-Geladeira; Placa Peltier;

1. INTRODUÇÃO

1.1. Trocas de calor e isolamento térmico

Existem três meios para trocas de calor. Condução, convecção e irradiação. A troca de calor através da condução consiste na propagação de energia por meio de agitação molecular. Quando um corpo entra em contato com uma fonte de calor (fogo por exemplo), inicia-se uma alteração nos átomos e moléculas da estrutura. Com o aumento da temperatura, as moléculas tendem a agitar, agitando também as outras partículas em sua volta. A figura 01 ilustra a troca de calor através da condução.

¹ Discente do 4º ano do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. hugo.prevedel@gmail.com.

² Discente do 4º ano do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. eizo_hayashi10@hotmail.com.

³ Docente do curso de Termodinâmica do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. Mestre em Química pela Faculdade UNESP murillopaiano@toledoprudente.edu.br Orientador do trabalho.

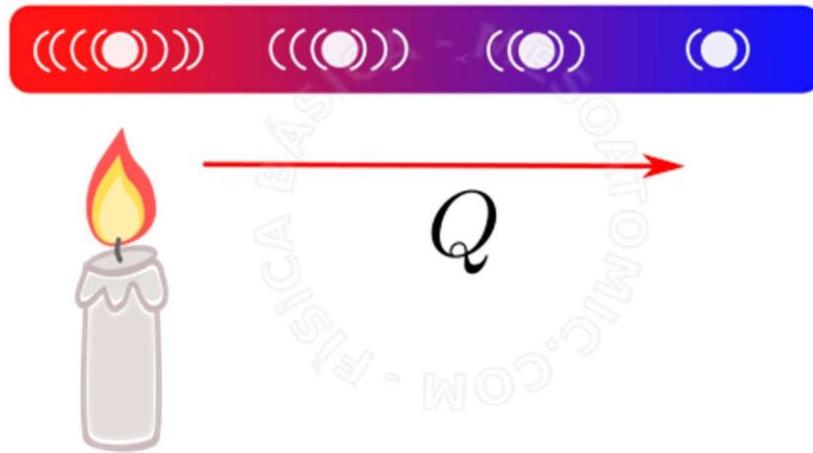


Figura 01 – Troca de calor através da condução

Já a convecção, que está presente nos fluidos, ocorre devido a diferença de densidade do fluido. Esta diferença consiste por conta da diferença de temperatura. Ou seja, o fluido quente fica mais leve, ou seja, menos denso, então tende a ir para baixo, e o fluido com menor temperatura irá para cima, com uma densidade maior (a direção para cima e para baixo foi adotada tendo como referência o aquecimento do sistema abaixo da superfície do recipiente). A figura 02 representa uma ilustração com o conceito da troca de calor devido a convecção.

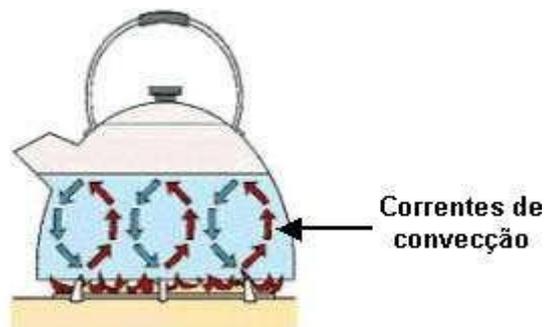


Figura 02 – Troca de calor através da convecção

Para finalizar, tem-se a Irradiação. A propagação do calor ocorre através de ondas de calores (eletromagnéticas). Estas ondas podem ser absorvidas ou refletidas. Estruturas com a coloração mais clara tendem a refletir as ondas de calor, enquanto corpos mais escuros tendem a absorve-las. A figura 03 representa a troca de calor através da irradiação.



Figura 03 – Troca de calor através da irradiação

1.2. Resfriamento eletrônico por placas de Peltier

Partindo para a construção da mini geladeira, o resfriamento do sistema é de suma importância para o sucesso do projeto. Tem-se então como o principal material responsável para resfriar a mini geladeira, a Pastilha Peltier. Esta pequena placa 4 x 4 cm apresenta duas placas de cerâmica. De um lado, a pastilha, alimentada de energia elétrica, aquece significativamente, alcançando temperaturas próximas a 45°C. Devido a diferença de temperatura, o outro lado da pastilha tende a resfriar. Isto é consequência da tensão aplicada nos dois polos da pastilha peltier (positivo e negativo).



Figura 04 - Pastilha de Peltier

A pastilha Peltier apresenta elementos semicondutores, do tipo N e P. Tem-se presente o Telureto de bismuto (Bi_2Te_3) (semicondutor quando utilizado em ligas metálicas). Ligado em uma fonte, a corrente elétrica irá transitar pelos elementos N e P, gerando a redução da temperatura no lado frio, absorvendo o calor ambiente. Este é transportado por elétrons e emitido na outra placa da pastilha, que apresenta uma alta temperatura (elétrons se movem do estado alto para um estágio baixo).

Esta placa é utilizada em bebedouros, aquecedores de assentos de automóveis, entre outros. Chama atenção pelo seu custo-benefício quando usado para atuar em sistemas pequenos, não exigindo de uma diferença de temperatura muito alta.

A figura 05 representa uma imagem ilustrando os semicondutores de tipo P e N na pastilha peltier.



Figura 05 – Semicondutores da Pastilha de Peltier

1.3. Máquinas térmicas refrigeradoras

Máquinas térmicas são sistemas que transformam calor em trabalho, convertendo energia térmica em energia mecânica. A máquina recebe o calor quente, e este é transformado em trabalho. Como não há nada perfeito no mundo da física, este calor quente não é totalmente convertido em trabalho. O calor dissipado é chamado de calor frio. Com estes dados, pode-se achar o rendimento de uma máquina térmica, que nada mais é a razão entre o trabalho realizado pelo calor quente do sistema.



Figura 06 – Representação ilustrada do funcionamento de uma máquina térmica

Um refrigerador opera no sentido inverso da máquina térmica. De forma não-espontânea, o calor frio é transformado em calor quente com a ajuda de uma energia externa fornecida para o sistema. Geralmente nas geladeiras, este trabalho fornecido é gerado através de um compressor que trabalha mecanicamente, para permitir o sentido inverso da

troca de calor.

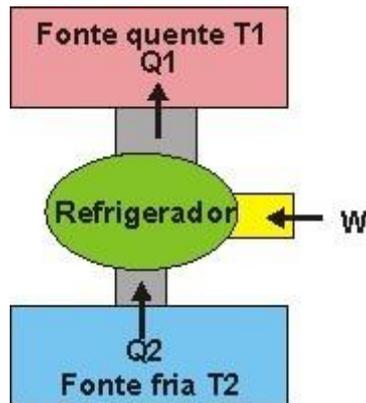


Figura 07 – Representação do funcionamento de um refrigerador

Assim, pode-se calcular a eficiência do refrigerador, dado pela razão entre o calor frio (Q_f) e o trabalho fornecido para o sistema (W).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos principais

- O projeto tem como objetivo principal a construção, através dos conceitos de termodinâmica, de uma geladeira em escala mini (até 5 litros) atingindo temperaturas próximas a de uma geladeira comum, entre 4°C e 5°C. A fonte de calor frio será a pastilha de peltier, alimentada por energia elétrica (12V).

2.2. Objetivos específicos

- Desenvolver uma análise crítica fundamentada nos conhecimentos de termodinâmica para definir os materiais ideais para aumentar a eficiência da mini geladeira;
- Atingir todas as especificações pré-definidas do projeto;
- Amplificar o conhecimento da ciência da termodinâmica;

3. PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO

3.1. Lista de materiais utilizados

3.1.1. Corpo estrutural

- Caixa térmica de isopor, 5 litros;

- Papel Alumínio;
- EVA;
- Lã de vidro;
- Madeira MDF;
- 02 dobradiças;
- Parafusos diversos;
- Silicone;

3.1.2. Núcleo de refrigeração

- 01 Placa de Peltier 12V;
- 01 Dissipador 40x40mm;
- 01 Dissipador 120x80mm;
- 01 Cooler 40x40mm;
- 01 Cooler 80x80mm;
- Pasta Térmica;

3.1.3. Instalação elétrica

- 01 Fonte de Alimentação chaveada 12V 20A;
- 01 Interruptor;
- Estanho p/ solda;
- 01 Termômetro digital;
- 01 Led 12V;

3.1.4. Outros

- Câmera térmica FLIR, modelo TG165 (Toledo)
- Termômetro químico escala -10 a 150°C
- Béquer de 25 mL
- Água destilada

3.2. Construção do produto

3.2.1 PLANEJAMENTO

Inicialmente tinha-se a premissa de utilizar uma caixa de isopor de 3 Litros para um esfriamento mais rápido, e usar dissipadores maiores tanto na parte interna como na

parte externa para se obter melhores resultados, isso na parte do núcleo de refrigeração. As ideias em relação ao material que iria compor o corpo estrutural foram mantidas. As figuras 8 e 9 representam a ideia inicial da mini geladeira de 3 Litros, onde seu tamanho interno é de 10 cm x 10 cm x 30 cm. Com criação no software Tinkercad.

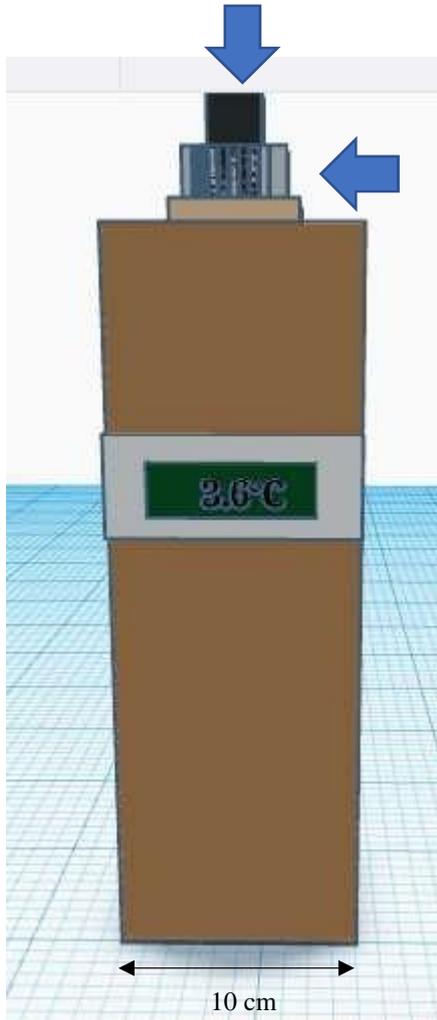


Figura 8: Prototipagem do projeto. Vista frontal. Fonte: Tinkercad

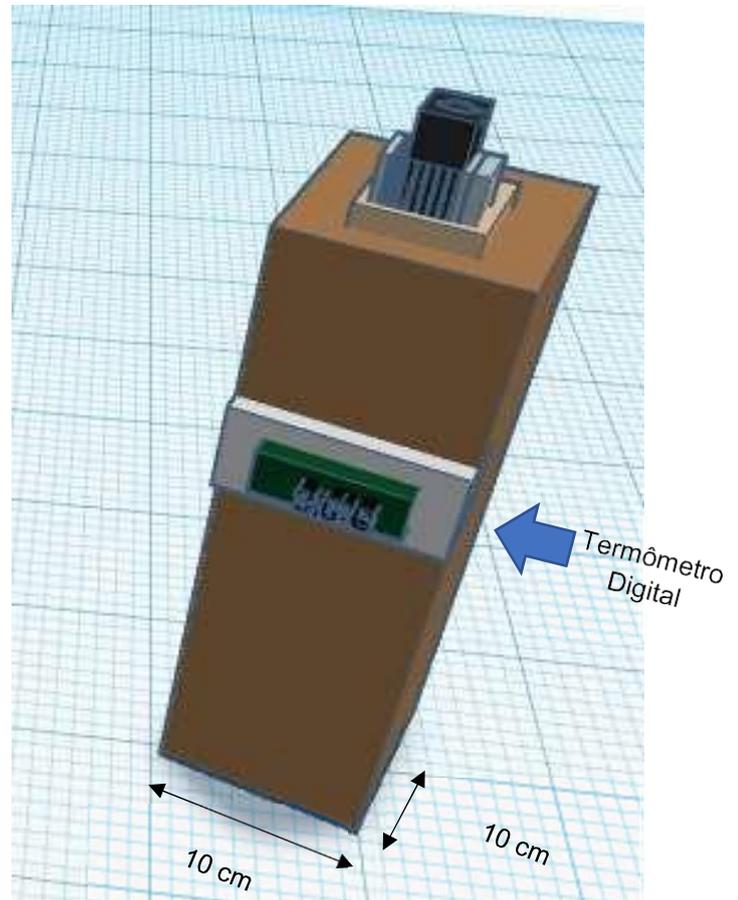


Figura 9: Prototipagem do projeto. Desenho tridimensional. Fonte: Tinkercad

3.2.2 Prototipagem

O protótipo para verificar o funcionamento do núcleo de refrigeração foi feito com o volume de 3 Litros, seguindo o planejamento do projeto. Inicialmente foi montado o núcleo que é o coração do projeto, fazendo com que observássemos o funcionamento do próprio, para verificar quanto tempo demorava para o núcleo interno resfriar, analisar o tempo em que o ar demorava para descer no movimento de convecção. Durante vários testes notou-se que o ar que descia era muito pouco, pelo fato do tamanho do dissipador e cooler

implementados na parte interna da geladeira, ambos estavam restringindo a movimentação pois o espaço para é muito curto , e pelo grupo que se trabalha-se com uma caixa de isopor maior, facilitaria a movimentação do ar, mesmo que o tempo fosse consideravelmente maior.

Após a troca do isopor de 3 Litros para um de 5 Litros, e após ter estudado mais sobre a montagem do núcleo, diminuimos o dissipador interno para o tamanho da placa, para que aumentasse a superfície de contato entre a placa e o dissipador, e o tamanho ideal era um dissipador que fosse do tamanho da placa, ou seja 40x40 mm. Após a montagem para novos testes com as adaptações necessárias, houve mudança considerável na circulação do ar. Porém não se conseguiu chegar abaixo de 10°C durante os testes, então os problemas que faltava resolver era vedar melhor a caixa, para que não houvesse dispersão de calor durante seu resfriamento.

3.2.3 Dificuldades

As dificuldades encontradas nesse projeto, foi em encontrar os problemas após a montagem da mini geladeira, pois a avaliação tem que ser feita no detalhe, olhar todos os passos anteriores, e a maior dificuldade do grupo foi em vedar a mini geladeira, para eliminar qualquer interferência externa sobre o resfriamento. E o manuseio dos materiais, em destaque a placa de Peltier que caso não seja extremamente cuidada durante os testes ela pode queimar, caso não seja usado corretamente a pasta térmica.

3.2.4 Avaliação Preliminar

Na avaliação preliminar feita pelo professor, levou-se a mini geladeira para teste e para pedir auxílio em relação ao que poderia ser melhorado. No dia da avaliação preliminar foi destacado como problema a vedação, e que seria feito ajustes para melhor performance da geladeira.

3.2.5 Projeto

Para a apresentação final, foram feitos reajustes na carcaça com implementação de imãs para auxiliar no fechamento da porta, acrescentou-se silicone para reforçar a vedação e manteve-se o projeto com as especificações iniciais.

Os passos para vedar a caixa de isopor, foi feito colando a lã de vidro no corpo estrutural de madeira MDF.



*Figura 10: Corpo Estrutural da geladeira.
Fonte: Imagem de smartphone.*



Figura 11: Corpo Estrutural junto com a lã de vidro. Fonte: Imagem de smartphone.

Após colar a lã de vidro, separadamente foi colado o papel alumínio com o lado fosco para dentro, e o brilhante para fora. A figura 12 representa a imagem feita no Tinkercad. A camada amarela simula a lã de vidro, a camada cinza o alumínio, e centralizado a simulação da caixa de isopor.

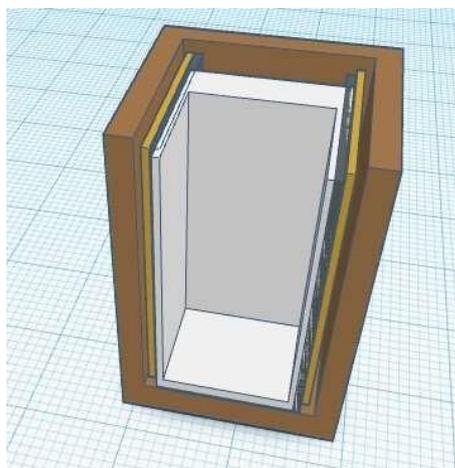


Figura 12: Vista 3D. Ilustrando parte interna da geladeira.

3.2.6 Montagem

NÚCLEO DE REFRIGERAÇÃO

Inicialmente monte faça um recorte na parte superior da caixa de isopor do tamanho da placa de Peltier, para que o encaixe seja perfeito e não haja dispersão de calor por frestas no isopor, em seguida antes de colocar a pasta de Peltier passe pasta térmica de ambos os lados, sendo que o lado quente esteja voltado para fora da caixa e o frio virado para parte interna.

Antes de encaixar a Placa juntamente com o isopor, faça com que o dissipador de tamanho 40x40 mm esteja encaixado no lado frio da placa, e em seguida encaixe-os no recorte feito. Note que o dissipador menor estará do lado interno, dentro do isopor.

Feito isso, faça o encaixe do dissipador maior na placa de Peltier na parte quente, e em seguida coloque o cooler externo em cima do dissipador fazendo com que ele jogue ar no dissipador. O mesmo para o interno, porém o cooler abaixo do dissipador, jogando ar no dissipador. Após a montagem do núcleo foi amarrado com um arame liso, de um extremo ao outro, para apertar o melhor possível e aumentar o contato entre a superfície dos dissipadores com a placa de Peltier.

VEDAÇÃO DO ISOPOR

A vedação feita foi com o papel alumínio na parte externa, sendo que a parte brilhante é voltada para fora para refletir as luzes infravermelha e o outro lado para dentro para manter a refrigeração da geladeira.

PARTE ELÉTRICA

A parte elétrica foi feita conectando os cabos a uma fonte de 12V, fazendo com que ela seja responsável por fornecer energia ao sistema.

CORPO ESTRUTURAL

Apenas para melhorar a parte estética, foi feito recorde da madeira MDF nos moldes da caixa de isopor apenas para sobrepor a mesma, usou-se parafusos, para fixar a base e os lados. E para o encaixe da maçaneta e dobradiças foram usadas arruelas para firmar os itens acrescentados a madeira.

4. RESULTADOS DE AVALIAÇÃO

4.1. Avaliação preliminar

No dia 01 de outubro de 2018, conforme o cronograma do planejamento do projeto, foi realizado o diagnóstico preliminar da mini geladeira. O núcleo de refrigeração estava montado, e o corpo estrutural estava apenas tomando forma do que tinha sido planejado de início, nas dimensões 30cm x 10cm x 10cm. Testou-se a geladeira com uma fonte de 12V e 15A, chegando em temperaturas, no interno da geladeira, próximas a 16°C indicados pelo termômetro digital. Após estabilizar, foram realizadas imagens, através da Câmera térmica FLIR TG165, para obter uma melhor análise das trocas de calor da mini geladeira com o ambiente.



Figura 13 – Foto térmica do diagnóstico preliminar exibindo a parte externa do núcleo de refrigeração. Detalhe aponta para temperatura de 24,1°C. Fonte: Câmera térmica FLIR TG165 (Toledo).

Analisando a figura 13, nota-se que há um “vazamento” no encaixe do núcleo no corpo da mini geladeira. Ou seja, o sistema não estava isolado o suficiente para reduzir ao máximo as trocas de calor.

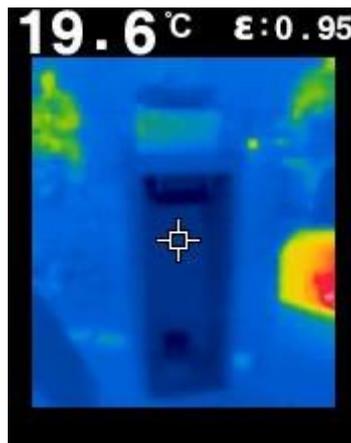


Figura 14 - Foto térmica do diagnóstico preliminar exibindo a geladeira aberta. Detalhe aponta para temperatura de 19,6°C. Fonte: Câmera térmica FLIR TG165 (Toledo).

Conforme registrado na figura 14, a mini geladeira apresentou uma temperatura de 19,6°C no interno da geladeira. Uma temperatura relativamente alta para o projeto.

A partir das análises e discussões na avaliação preliminar, notou-se que para obter uma mini geladeira que atinja temperaturas menores, algumas mudanças no projeto deveriam ser feitas para a avaliação final.

4.2. Avaliação final

No dia 12 de novembro de 2018, foi realizado a apresentação e avaliação da mini geladeira, onde foram analisados o IRT (Índice de Resfriamento por Tempo), criatividade e personalização, e feito uma apresentação breve, relatando um pouco de como foi o projeto ao longo do semestre.

4.2.1 Índice de Resfriamento por tempo (IRT)

Para poder ser realizada a análise deste critério, foi coletado dados da temperatura da mini geladeira durante um período de 2 horas a cada 15 minutos, onde foram tiradas fotos térmicas com a câmera térmica, para verificar se o termômetro digital está em conformidade com as fotos tiradas, feita as coletas de dados. Na imagem abaixo está a tabela de acompanhamento térmico (temperatura x tempo) da geladeira. Detalhe na tabela onde está * foi tirado foto com a câmera térmica.

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|------|-------|----|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Tempo (min) | 0,001 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 |
| Temperatura (°C) | 22 | 13,6 | 11,7* | 11 | 10,9 | 10 | 9,2 | 8,8 | 8,5 | 7,9 | 7,4 | 7 | 6,6* |

Tabela 1: Acompanhamento térmico da mini geladeira para avaliação da eficiência térmica em função do tempo.

As figuras 15, 16 e 17 mostram imagens realizadas com a câmera térmica, para identificar possíveis trocas de calor da geladeira com o ambiente.

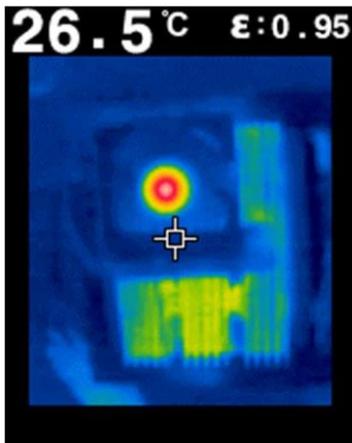


Figura 15:Foto térmica do projeto final exibindo a geladeira na vista superior. Detalhe aponta para temperatura de 26,5°C. Fonte: Câmera térmica FLIR TG165 (Toledo).

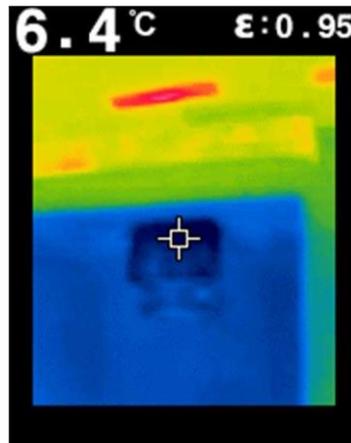


Figura 16:Foto térmica do projeto final exibindo a geladeira aberta. Detalhe aponta para temperatura de dissipador interno com 6,4°C. Fonte: Câmera térmica FLIR TG165 (Toledo).



Figura 17:Foto térmica do projeto final exibindo a geladeira fechada. Detalhe aponta para temperatura de dissipador externo com 33,7°C. Fonte: Câmera térmica FLIR TG165 (Toledo).

Para encontrar o IRT, foi necessário que fosse gerado um gráfico de dispersão no Excel, para facilitar a visualização da tabela, e inserido uma linha de tendência do tipo logarítmica, para exibir os valores necessários para encontrar o índice da mini geladeira. Abaixo segue o gráfico:

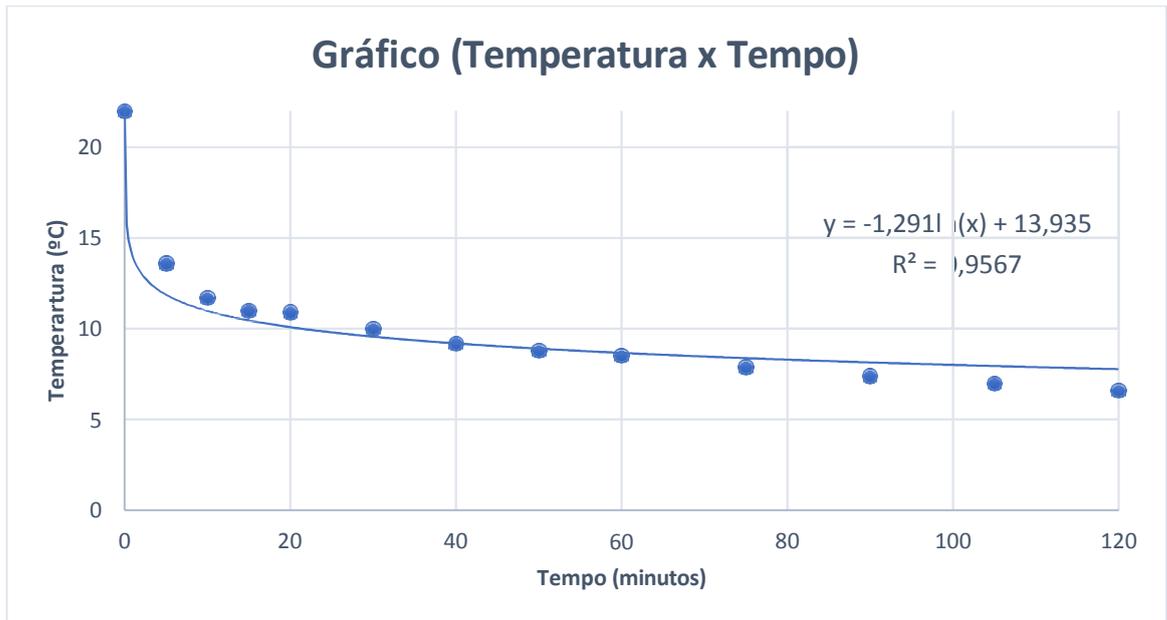


Figura 18: Gráfico de Dispersão (temperatura x tempo)

A equação que está sendo apresentada na imagem acima refere-se à equação logarítmica de IRT. Sendo que os dados que serão utilizados para o cálculo do índice são as letras com destaque em negrito.

$$y = \mathbf{-1,291\ln(x) + 13,935}$$

$$\mathbf{R^2 = 0,9567}$$

A equação para o cálculo do índice de resfriamento por tempo é:

$$IET = -\frac{1}{\mathbb{R}^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Trocando os dados obtidos pela função logarítmica dada no Excel, chegou-se a seguinte conclusão:

$$IET = -\frac{1}{1,291,0,9567} \quad (\text{Equação 2})$$

$$IET = 0,81$$

Conclui-se que o índice de Resfriamento por tempo da mini geladeira foi de 0,81 de acordo com os dados coletados.

Um ponto a ser destacado é que os reajustes de vedação feitos pós avaliação preliminar foram essenciais para o bom desempenho do projeto, que no gráfico anterior, consegue-se visualizar um salto de 22°C no início da cronometragem para 13,6°C num tempo de 5 minutos. Mostrando que na avaliação preliminar que foi feito teste sem a vedação a temperatura demorava um tempo considerado como alto para haver uma queda na temperatura. E com a vedação, e os ajustes sendo feitos, mostrou que ela é um fator essencial para um bom desempenho de um motor térmico.

4.2.2 Cálculos

Serão incluídos outros cálculos em relação a mini geladeira.

4.2.2.1 Quantidade de calor retirada

Através da fórmula $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, pode-se obter a quantidade de calor retirada do sistema durante as 02 horas em que ficou ligada a mini geladeira. Com os dados obtidos sobre a massa de água colocada para teste dentro da mini geladeira, tais como:

$$m \text{ (massa)} = 10,044 \text{ g}$$

$$c \text{ (calor específico)} = 1 \left(\frac{\text{cal}}{\text{g}} \text{ } ^\circ\text{C} \right)$$

$$\Delta T \text{ (Temperatura Final - Inicial)} = 6.6 - 22$$

Trocando os valores:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{(Equação 3)}$$

$$Q = 649,6 \text{ J (Joules)}$$

4.2.2.2 Potência Térmica

É a quantidade de calor que um corpo absorve por unidade de tempo, com a fórmula $P = Q/\Delta T$. Com os dados anteriores já obtidos, sabemos que a potência térmica da mini geladeira é de:

$$P = Q/\Delta T \quad \text{(Equação 4)}$$

$$P = 0,09 \text{ (Watts)}$$

4.2.2.3 Capacidade de Refrigeração Interna (BTU)

BTU é uma unidade utilizada nos Estados Unidos e no Reino Unido que serve para determinar a potência de refrigeração de vários aparelhos. Para se calcular o BTU da mini geladeira, basta usar as fórmulas $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, porém os dados utilizados para massa são em relação as propriedades do ar, e o calor específico do ar.

Lembrando que para achar a massa do ar, é necessário usar a fórmula $m = d \cdot V$, onde o d representa a densidade específica, e o V apresenta o volume interno da caixa de isopor.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$Q = m \cdot 0,24 \cdot (6,6 - 22) \quad (1)$$

Achando a massa do ar separadamente na equação (2):

$$m = d \cdot V \quad (2)$$

$$m = 120,4 \times 10^{-3} \cdot (5000) \quad (2)$$

$$m = 6,0205 \text{ gramas} \quad (2)$$

Voltando a equação, substitui-se o valor da massa em (1):

$$Q = 6,0205 \cdot 0,24 \cdot (6,6 - 22) \quad (1)$$

$$Q = 22,25 \text{ cal} \quad (1)$$

Transformando em BTU, é só usar uma regra de três, onde 1 BTU equivale a 252 cal., ou seja, a capacidade de refrigeração em BTU da mini geladeira é de 0,09 BTUs.

5. CONCLUSÃO

Finalizado o projeto, e, após o feedback realizado na apresentação final, notou-se que os objetivos especificados foram atingidos dado a importância com a experiência no envolvimento na projeção da mini geladeira. Foi possível observar, além da teoria, as leis termodinâmicas na prática, entendendo conceitos e desenvolvendo análises críticas para atingir um melhor desempenho no “mini refrigerador”.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DE OLIVEIRA, André Rui Poletti. LEISMANN, Ismael Augusto. **Cooler Peltier Microcontrolado.**

Disponível em: <<http://www.ppgia.pucpr.br/~santin/ee/2007/1s/3/>>. Acesso em: 28 de ago. 2018

DOS SANTOS, Luiz Ricardo. **Refrigeração.**

Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/refrigeracao/>>
Acesso em: 30 de ago. 2018

PUCCI, Luís Fábio Simões. **Termodinâmica: O refrigerador como máquina térmica.** Disponível em:

<<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/termodinamica-2-o-refrigerador-como-maquina-termica-1.htm>>. Acesso em: 01 de set. 2018.