



INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais

Campus Avançado Arcos

INGRIDY CRISTINA FARIA
IVAN JÚLIO DOS REIS MOTTA DE LIMA
JOÃO VITOR TEIXEIRA
JORGE AUGUSTO SOUTO FERNANDES
JÚLIO CÉSAR RANGEL
VICTOR THIAGO TEODORO DUARTE

TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR III
ESTUDO SOBRE O COOLER REFRIGERADOR UTILIZANDO O
MOVIMENTO VORTEX

**INGRIDY CRISTINA FARIA
IVAN JÚLIO DOS REIS MOTTA DE LIMA
JOÃO VITOR TEIXEIRA
JORGE AUGUSTO SOUTO FERNANDES
JÚLIO CÉSAR RANGEL
VICTOR THIAGO TEODORO DUARTE**

**TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR III
ESTUDO SOBRE O COOLER REFRIGERADOR UTILIZANDO O MOVIMENTO
VORTEX**

Trabalho Acadêmico Integrador do terceiro período do curso Bacharel em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, Campus Arcos.

RESUMO

Para gelar bebidas e alimentos em casa, escritórios ou pequenos comércios, usa-se comumente, refrigeradores como a geladeira, porém para que a bebida atinja temperatura ideal recomendada para o consumo leva tempo. Em vista disso, o grupo decidiu criar um modelo que busque resfriar bebidas em prazo menor que as geladeiras através do sistema de movimento vortex com a utilização de um fluido a baixa temperatura, a principal diferença em relação ao métodos convencionais de resfriamento, é que o modelo utiliza da convecção forçada para atingir menores temperaturas.

Durante o desenvolvimento e estudo bibliográfico, os desafios encontrados eram relacionados em como construir um modelo para testes, além da medição do fluxo de calor que existe no sistema. Na conclusão do desenvolvimento do trabalho, o grupo estudou o princípios básicos do resfriamento de fluidos, como também maneiras de formar o modelo de teste.

Palavras-chave: *Cooler*, vortex, convecção, modelo, fluxo, resfriamento.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	JUSTIFICATIVA	7
1.2	OBJETIVO GERAL	7
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1	REFRIGERADORES CONVENCIONAIS	8
3	METODOLOGIA	10
3.1	CRONOGRAMA	10
3.2	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO VORTEX	11
3.3	FLUXO DE CALOR	11
3.4	CONVECCÃO	13
3.5	CONDUÇÃO	14
3.6	DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE CALOR	14
3.7	LEI DE RESFRIAMENTO DE NEWTON	14
3.8	FLUXO DE CALOR POR CONDUÇÃO	15
3.9	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	15
3.10	CÁLCULO DA ÁREA SUPERFICIAL DA LATA	16
3.11	LÍQUIDO DE REFRIGERAÇÃO	17
4	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	20
4.1	CARCAÇA	20
4.2	EIXO SUPORTE	20
4.3	BASE	21
4.4	EQUILÍBRIO DO SISTEMA	22
4.5	RESULTADOS OBTIDOS	22
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
	REFERÊNCIAS	25
	ANEXO A – ÁREA SUPERFICIAL DA LATA	26
	ANEXO B – CÁLCULO DA FORÇA MÁXIMA	28

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo de refrigeração	8
Figura 2 – Refrigeradores convecionais	9
Figura 3 – Escoamento turbulento	11
Figura 4 – Transferencia de calor	12
Figura 5 – Resistencia térmicas em série	12
Figura 6 – Transferência por convecção	13
Figura 7 – Convecção forçada	13
Figura 8 – Agitação das moléculas	14
Figura 9 – Seções da lata	16
Figura 10 – Estrutura do sódio	17
Figura 11 – Polaridade da água	18
Figura 12 – Ligação entre a água e o sal	18
Figura 13 – Diagrama de fases da água	19
Figura 14 – Diagrama de fases da salmoura	19
Figura 15 – Carcaça do protótipo	20
Figura 16 – Eixo suporte	21
Figura 17 – Base do protótipo	21
Figura 18 – Diagrama de corpo livre do modelo	22
Figura 19 – Modelagem final	23

LISTA DE SÍMBOLOS

Q_{cond_i}	Fluxo de calor por convecção interna.
Q_{cond}	Fluxo de transferência de calor por condução.
Q_{conv_0}	Fluxo de calor por convecção externa.
h_i	Coefficiente de transferência de calor do líquido a ser resfriado.
h_o	Coefficiente de transferência de calor do líquido refrigerante.
A	Área superficial da lata.
T_{s_i}	Temperatura da superfície que está em contato com o líquido a ser resfriado.
T_{s_o}	Temperatura da superfície que está em contato com o líquido refrigerante.
T_{∞_i}	Temperatura do líquido a ser refrigerado.
T_{∞_o}	Temperatura do líquido refrigerante.
K	Constante de transferência de calor por condução.
T_q	Temperatura da fonte quente.
T_f	Temperatura da fonte fria.
L	Altura da lata.
r_i	Raio interno da lata.
r_o	Raio externo da lata.
Q	Fluxo de calor.
ΔT	Varição da temperatura do sistema.
R	Resistência.
U_i	Coefficiente global de transferência de calor interno.
U_o	Coefficiente global de transferência de calor externo.
\bar{y}	Localização do centroide no eixo Y.
\bar{x}	Localização do centroide no eixo X.
h	Altura.
D	Distribuição de carga.

1 INTRODUÇÃO

As geladeiras e refrigeradores são eletrodomésticos presentes no nosso cotidiano, tanto para a conservação, quanto para o resfriamento de bebidas e alimentos. Comumente, a principal fonte de alimentação desses aparelhos é a energia elétrica, onde na maioria das vezes ficam sobre à alimentação constante, com isso o grupo decidiu criar um protótipo que fosse acionado somente quando requisitado.

Os refrigeradores convencionais possuem uma transferência de calor natural, o método utilizado para refrigerar é o princípio de vortex juntamente com o líquido refrigerante que é a salmoura, onde a bebida é submetida a rotação para gerar turbulência, esse movimento aumenta a transferência de calor por convecção forçada e condução. A lata será disposta dentro do cooler com a salmoura, responsável por abaixa o ponto de fusão da água, fazendo-a atingir temperaturas negativas e não se congelar. Estimasse que a lata de refrigerante atinja 4°C, temperatura ideal para o consumo, em aproximadamente 1 minuto.

1.1 JUSTIFICATIVA

O projeto edifica-se por gelar bebidas em um tempo relativamente menor do que refrigeradores convencionais, uma vez que refrigerantes são feitos para serem consumidos gelados, gerando insatisfações ao ser consumido em uma temperatura ambiente (25 °C), com isso, o grupo decidiu desenvolver estudos para um possível aprimoramento dos sistemas atuais de refrigeração. O *cooler* refrigerador utilizando o movimento vortex é destinado principalmente para pessoas e mercados onde se deseja reduzir o tempo de refrigeração de bebidas.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um estudo sobre o sistema vortex e de refrigeração. A partir disso, construir um protótipo de um *cooler* que seja capaz de refrigerar bebidas em um tempo relativamente menor que os métodos convencionais atuais.

Esse método, utilizará a salmoura para intensificar o resfriamento do fluido viscoso, que estará contido dentro do material a ser resfriado, em conjunto com a turbulência causada pelo sistema vortex, que aumentará a transferência de calor.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Estudar sobre o movimento ;
- Estudar todos os fenômenos responsáveis pelo aumento da transferência de calor;
- Criar um sistema capaz de gelar bebidas mais rápido que refrigeradores convencionais;
- Criar um protótipo do sistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Desde a Idade da Pedra o homem vem se desenvolvendo e buscando por soluções para a sobrevivência e foi observado que colocar alimentos em locais mais frios, conservava-se melhor, pois a agitação das moléculas diminuem, por esse motivo o gelo é usado há muito tempo para auxiliar na conservação de alimentos.

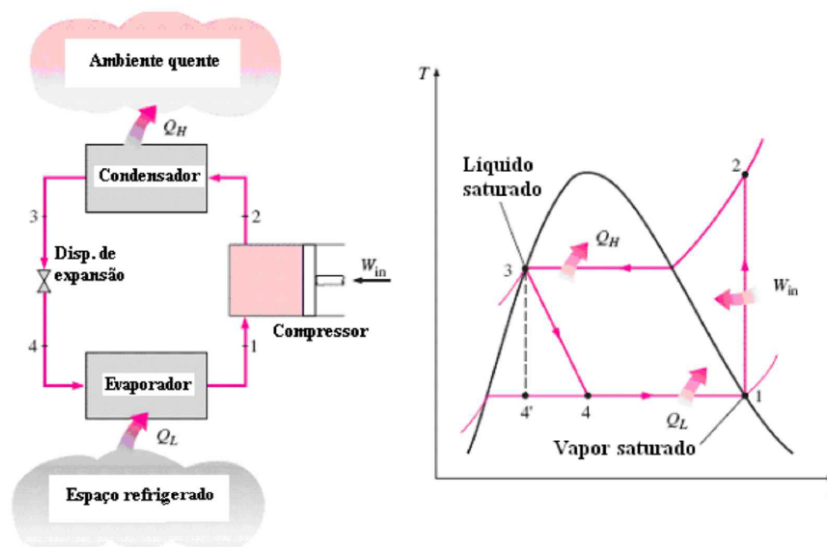
Durante escavações arqueológicas foi observado uma forma antiga de produzir gelo, onde a água era colocada em fôrmas, tampadas e mergulhadas na água; em seguida retiradas e "abanadas" por escravos, fazendo a água da parte exterior evaporar, resfriando o líquido dentro do recipiente até congelar (SEELEN, 2011).

Durante o século XIX e XX, uma indústria australiana necessitava-se aumentar a qualidade de sua cerveja, onde contratou James Harrison para criar um sistema de refrigeração comercial (OLIVEIRA,). Já os primeiros refrigeradores domésticos surgiram nos Estados Unidos no início da década de 1920 (FÍSICA; JI-PARANÁ,).

2.1 REFRIGERADORES CONVENCIONAIS

Os sistemas de refrigeração provocam o resfriamento nos interiores de refrigeradores e freezers através da convecção natural. Os objetivos principais são armazenamentos de alimentos à baixas temperaturas para evitar proliferação de bactérias e o surgimento de bolor ou fermentação. O resfriamento ocorre através do processo de trocas de calor, o refrigerador é uma máquina térmica em que a troca do calor se dá do sistema mais frio (interior da geladeira) para o sistema mais quente (meio externo) Figura 1.

Figura 1 – Ciclo de refrigeração



Fonte: Çengel e Boles (2006,p.494).

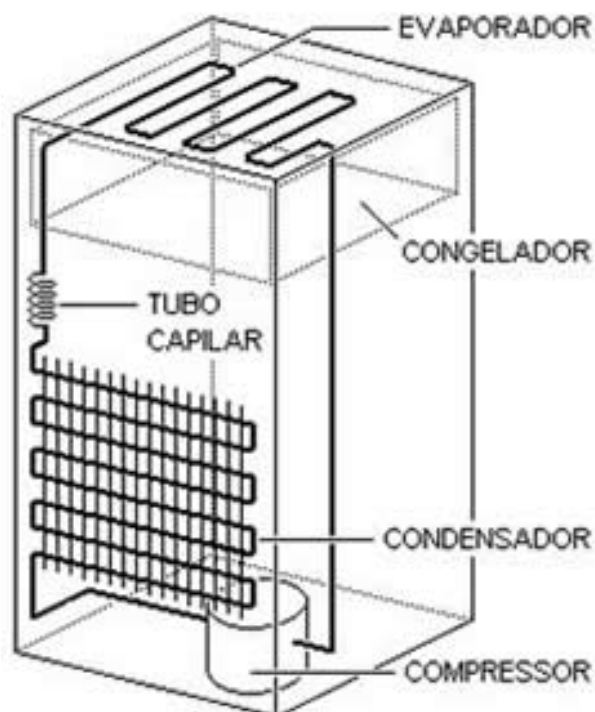
O fluido refrigerante percorre um ciclo termodinâmico que é composto por um compressor, um condensador, um dispositivo de expansão, um evaporador e um tubo de retorno ao

compressor (Figura 2). O ciclo começa no compressor que é acionado por um motor elétrico, sua função é criar diferença de pressão no circuito de refrigeração e fazer circular o gás refrigerante no refrigerador, mantendo a pressão suficiente para que o gás liquefaça em temperaturas próximas da temperatura ambiente. Em seguida o gás passa pelas serpentinas, responsáveis por condensar, a partir do ambiente externo, vapores gerados pelo aquecimento do líquido refrigerante.

O próximo caminho é o tubo capilar que tem como função de receber o fluido refrigerante do condensador e levá-lo até a entrada do evaporador, mantendo a diferença de pressão junto ao compressor. Já o evaporador é responsável pela troca de calor entre o gás refrigerante e o ar interno do refrigerador, o qual absorve o calor interno do refrigerador. E por fim, um tubo de retorno ao compressor denominado linha de sucção.

O sistema de refrigeração consiste em retirar o calor presente no interior do refrigerador através da mudança de fases do fluido refrigerante, alternando o seu estado entre líquido e vapor. O calor é uma energia que flui do meio mais quente para o meio mais frio, por a geladeira ter um ambiente mais frio do que o alimento que está em temperatura ambiente, o mesmo resfria-se até atingir um equilíbrio de acordo com a Lei Zero da Termodinâmica. Desta forma, o ambiente do refrigerador sofrerá um pequeno aumento na sua temperatura, uma vez que a energia (calor do alimento) passou para o mesmo, essa diferença de temperatura provoca a convecção natural.

Figura 2 – Refrigeradores convecionais



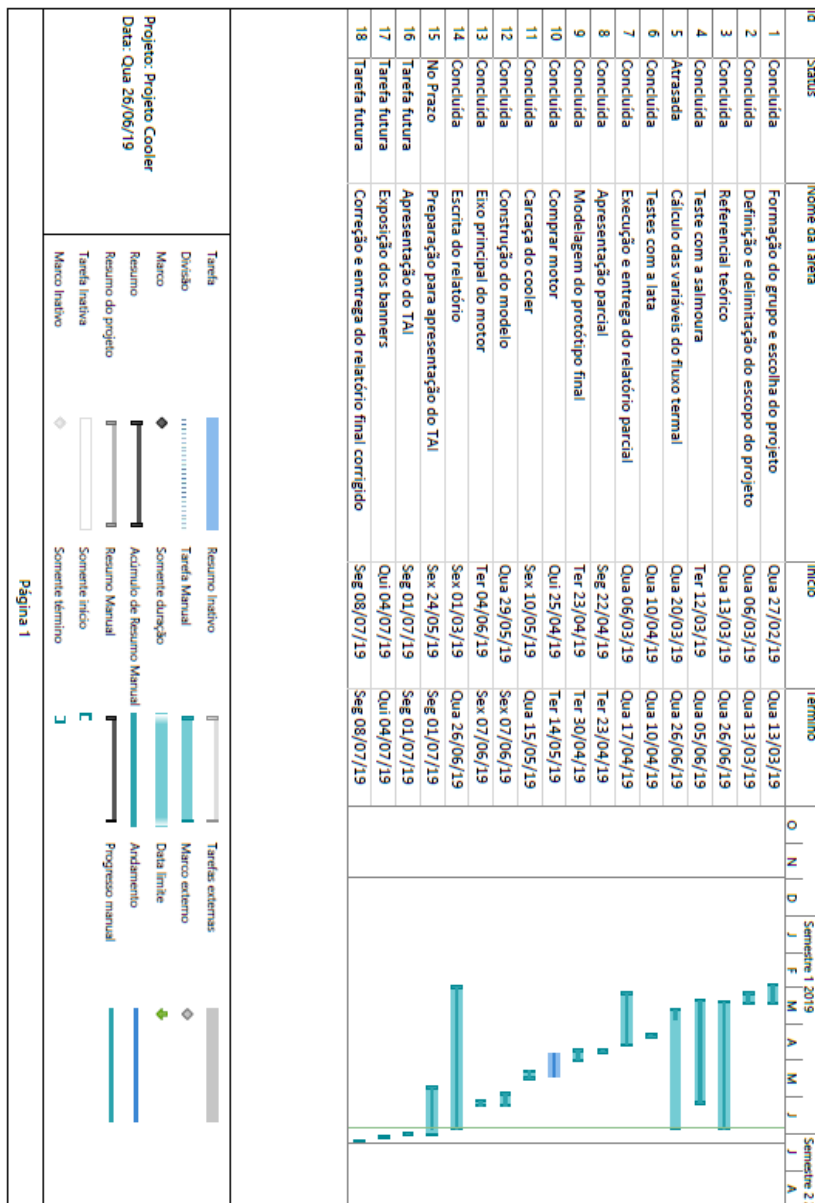
Fonte: Só Física (2019).

3 METODOLOGIA

Utilizou-se o método científico que parte da observação sistemática de fatos, foram realizados estudos e pesquisas sobre o tema, foi observado que é algo inovador, em seguida foram realizadas experiências sobre as principais formas de gelar usadas no sistema que é a salmoura e a rotação, com isso foi possível observar as deduções lógicas e a comprovação científica dos resultados obtidos. Com base em uma pesquisa exploratória, objetivou-se proporcionar maior familiaridade com a transferência de calor. Baseando-se em referenciais bibliográfico e adquiriu-se conhecimentos fundamentais para a execução do Cooler refrigerador..

3.1 CRONOGRAMA

Para melhor organização do trabalho, das tarefas e afazeres do grupo, as atividades foram organizadas em um cronograma de atividades.



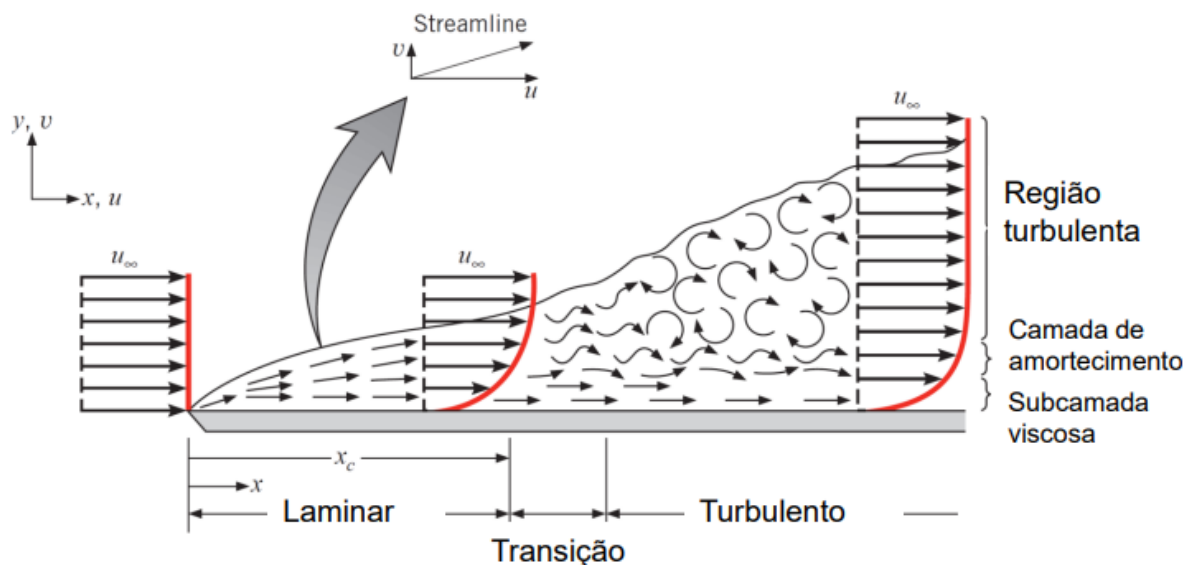
3.2 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO VORTEX

O movimento vortex pode ser considerado como qualquer tipo de fluxo circular, giratório, em torno de um centro de rotação, onde suas linhas de correntes apresentam um padrão circular ou espiral e uma vorticidade, conceito matemático relacionado na dinâmica dos fluidos, este movimento ocorre devido a diferença de pressão de duas regiões vizinhas.

O movimento utilizado no protótipo, onde a vorticidade vai acontecer a partir do movimento de um eixo. O movimento é circular e aleatório, onde ajudará na troca de calor do fluido (água, gelo e sal), com o líquido presente na lata, através da convecção forçada e condução.

A troca de calor acontece do líquido da lata (refrigerante) para a salmoura, com o intuito de aumentar essa transferência de calor foi utilizado o movimento vortex, provocando um escoamento turbulento, altamente irregular e caótico, resultando em flutuações de velocidade e de pressão. Essa turbulência provoca misturas macroscópicas do fluido, aumentando a convecção do mesmo no interior da lata, resfriando-a de forma mais rápida (Figura 3). Desse modo, os refrigeradores convencionais possuem convecção natural e um tempo de refrigeração alto, já o protótipo tem uma convecção forçada, a qual aumenta a turbulência e a transferência de calor, tornando o protótipo mais viável.

Figura 3 – Escoamento turbulento



Fonte: Incropera, Frank P (2017,p.256).

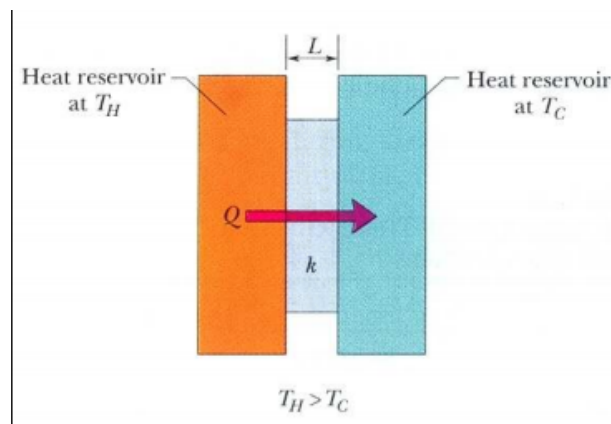
3.3 FLUXO DE CALOR

O principal foco do modelo é analisar e buscar maneiras de melhorar o fluxo de calor por convecção forçada. Onde o sistema vortex com constante movimentação e em conjunto com o líquido refrigerante que é a salmoura, tem a função de aumentar a taxa de transferência de calor e o fluxo termal, definido como a taxa de energia térmica (calor) transferida de uma dada superfície, podendo ser quantificado por seu valor transferido por unidade de área em uma

unidade de tempo (MORAN et al., 2000). Visto isto, é necessário conhecer as variáveis que englobam o processo de resfriamento do líquido.

Para o cálculo da quantidade de calor, define-se que a transferência térmica é a transição de energia de um corpo mais quente para um corpo mais frio, fazendo uma troca de energia calorífica entre dois sistemas de temperaturas diferentes. Considerando que a temperatura final do líquido da lata seja em torno de 3°C , e a temperatura da salmoura permaneça a -4°C , o fluxo de calor será unitário, saindo do líquido da lata para a solução aquosa (Figura 4).

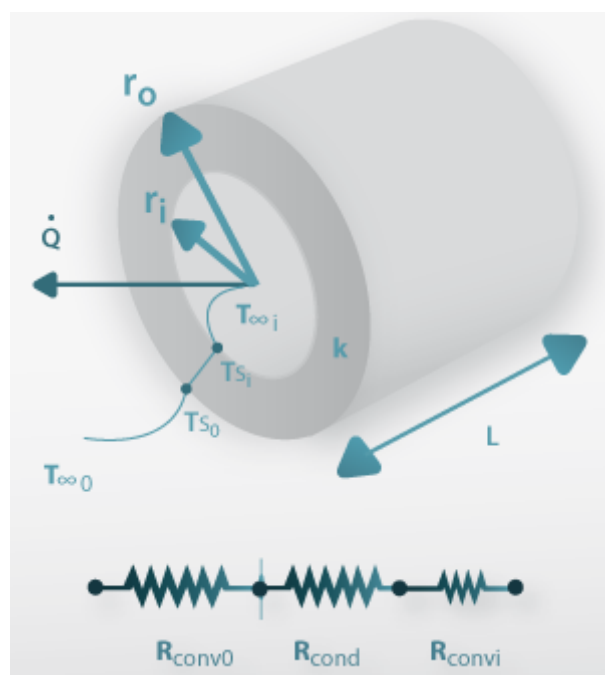
Figura 4 – Transferencia de calor



Fonte: IFSC USP Transferência de calor, 2019

A transferência de calor entre os dois fluidos é separada pela camada de alumínio da lata, essa parede faz com que o sistema crie resistências térmicas em série (Figura 5), pelo fato de haver convecções nos fluidos e condução no sólido.

Figura 5 – Resistencia térmicas em série

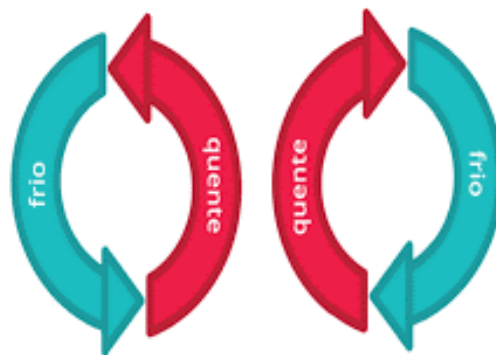


Fonte: labvirtual, 2019.

3.4 CONVECÇÃO

A convecção pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido através da ação combinada de: condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura (QUITES; LIA, 2005). Considerando como o fluido tanto interno quanto externo seja água, por motivos de não encontrar o coeficiente de transferência de calor do refrigerante, e a densidade da água quente ser maior enquanto a da água fria ser menor, o líquido fica em constante movimentação (Figura 6).

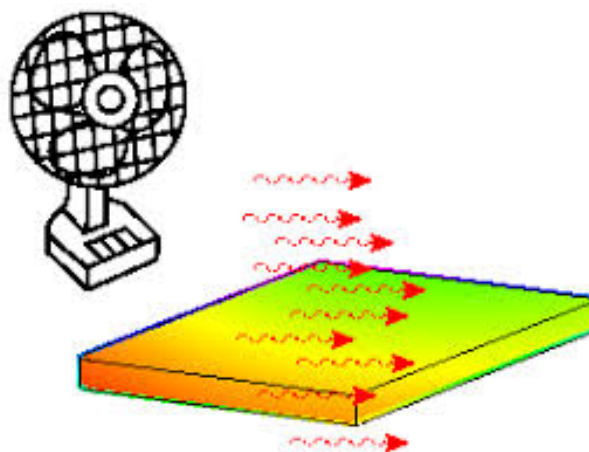
Figura 6 – Transferência por convecção



Fonte: Nova Escola, 2019.

A Convecção forçada é um mecanismo ou tipo de transporte de calor no qual o movimento do fluido é gerado por uma fonte externa (QUITES; LIA, 2005). Essa convecção é utilizada para diminuir o tempo de resfriamento e acelera a taxa de fluxo de calor. A fonte externa utilizada será o movimento do vortex, o qual aumenta o movimento das partículas do fluido na face do corpo, maximizando o gradiente de temperatura e aumentando a taxa de troca de calor (Figura 7).

Figura 7 – Convecção forçada

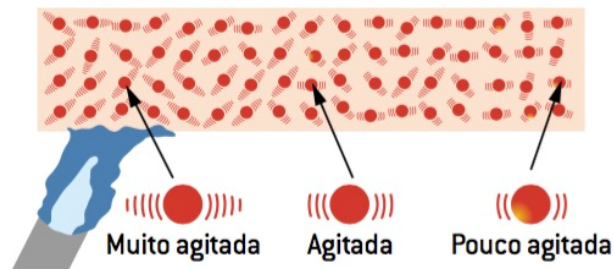


Fonte: Solidworks, 2019.

3.5 CONDUÇÃO

A condução é a transferência de energia térmica entre átomos e/ou moléculas vizinhas em uma substância, devido a um gradiente de temperatura, a diferença de temperatura entre duas regiões em um mesmo meio ou entre dois meios em contato no qual não se percebe movimento global da matéria na escala macroscópica (QUITES; LIA, 2005) (Figura 19).

Figura 8 – Agitação das moléculas



Fonte: Cola da web, 2019.

3.6 DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE CALOR

Para determinar o fluxo de calor do sistema, inicialmente considera-se que o fluxo seja igual em todas as partes (Equação 1).

Onde:

Q_{conv_i} : fluxo de calor por convecção no interior da lata.

Q_{cond} : fluxo de calor por condução através da parede da lata.

Q_{conv_o} : fluxo de calor por convecção na salmoura.

$$Q_{conv_i} = Q_{cond} = Q_{conv_o} \quad (1)$$

3.7 LEI DE RESFRIAMENTO DE NEWTON

A Lei de Resfriamento de Newton é uma aplicação em equações diferenciais utilizada para resolver problemas relacionados à variação de temperatura e será utilizada para encontrar o fluxo de calor por convecção dos líquidos (Equação 2 e 3).

Onde:

h_i : coeficiente de transferência de calor por convecção no líquido a ser resfriado

A_i : área superficial do interior da lata de alumínio.

T_{∞_i} : temperatura no fluido do interior da lata.

T_{∞_o} : temperatura da salmoura.

$$Q_{conv_i} = h_i \cdot A_i \cdot (T_{\infty_i} - T_{s_i}) \quad (2)$$

$$Q_{conv_o} = h_o \cdot A_o \cdot (T_{s_o} - T_{\infty_o}) \quad (3)$$

3.8 FLUXO DE CALOR POR CONDUÇÃO

O fluxo de calor por condução presente na parede da lata (Equação 4).

Onde:

K : é o coeficiente de transferência de calor por condução.

A : área superficial da lata.

T_{s_i} : temperatura da parede interna da lata.

T_{s_o} : temperatura da parede externa da lata.

r_o : raio externo da lata.

r_i : raio interno da lata.

$$Q_{cond} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot K \cdot A \cdot (T_{s_i} - T_{s_o})}{\ln(r_o/r_i)} \quad (4)$$

3.9 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Utilizando a relação da equação 1 foi possível determinar a fórmula de taxa de transferência de calor que é dado pela Equação 7.

Onde:

Q é o fluxo de calor.

R_{conv_i} é a resistência a convecção do fluido contido na lata.

R_{cond} é a resistência a condução da parede da lata.

R_{conv_o} é a resistência a convecção na salmoura.

ΔT é a variação da temperatura entre a salmoura e o líquido a ser resfriado.

R_{total} é a resistência total, caracterizada como a soma de todas as resistências a transferência de calor no sistema.

$$T_{\infty_i} - T_{\infty_o} = Q \cdot (R_{conv_i} + R_{cond} + R_{conv_o}) \quad (5)$$

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{total}} \quad (6)$$

O cálculo da resistência total (Equação 7) exige variáveis que já são conhecidas, como: altura da lata (L), área superficial da lata (A) [Anexo A], condutividade térmica do alumínio (K), raio externo (r_o), raio interno (r_i), porém não foi possível encontrar o coeficiente de transferência de calor do líquido refrigerante (h_o) e coeficiente de transferência de calor do líquido a ser refrigerado (h_i), onde estes com o conhecimento agregado até o terceiro período de Engenharia Mecânica não foi possível estimar com precisão aceitável, mas calcular esses coeficientes de transferência são interesses futuros do grupo, onde são variáveis associadas ao fluxo total de calor (Equação 2), para que assim seja finalizado o cálculo da taxa da troca de calor total

(Anexo A). Uma vez conhecendo esse fluxo que é correlacionado à velocidade de resfriamento, o aprimoramento desta posteriormente se torna factível. Vale ressaltar, que de acordo com a Equação 3, o coeficiente de transferência de calor é proporcional ao fluxo de calor, ou seja, quanto maior esse coeficiente maior será o fluxo termal.

Onde:

U_o : coeficiente de transferência de calor total na salmoura.

U_i : coeficiente de transferência de calor total no líquido a ser resfriado.

L : altura da lata.

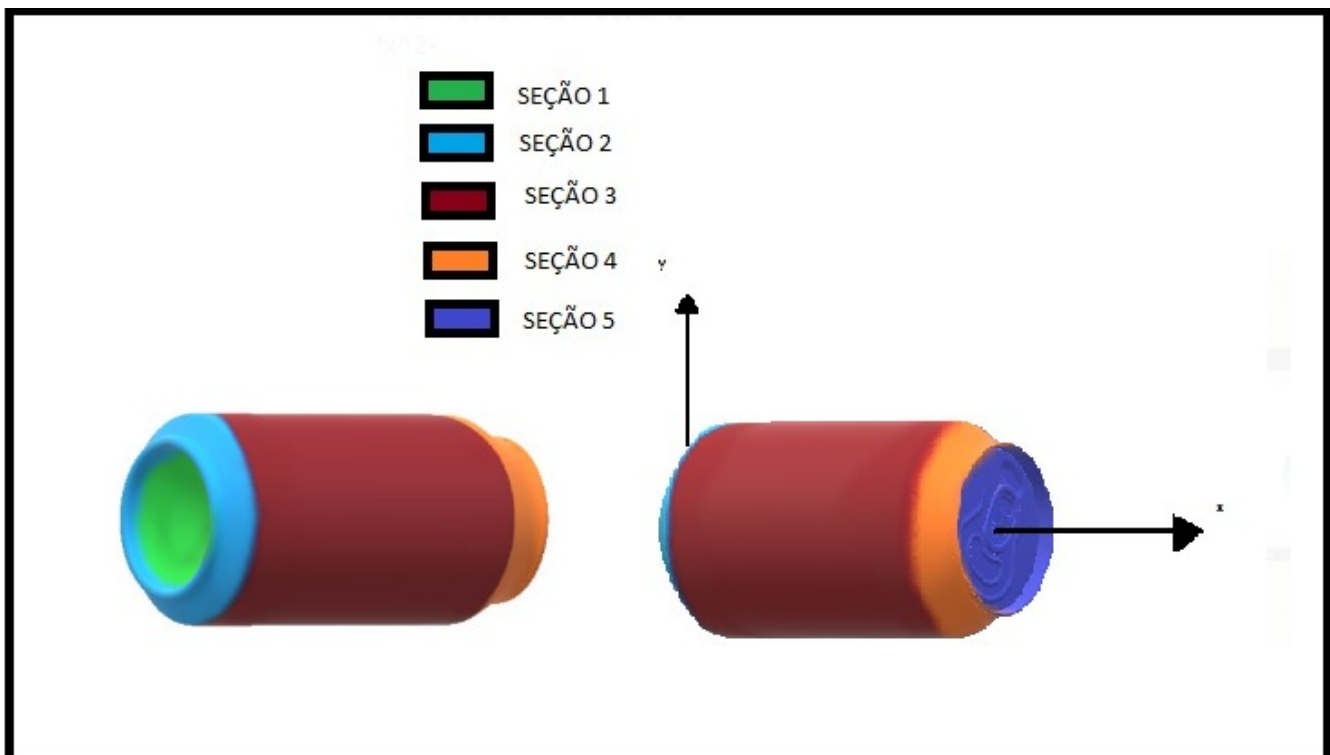
$$R_{total} = \frac{1}{A_i \cdot h_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot K} + \frac{1}{A_o \cdot h_o} = \frac{1}{A_i \cdot U_i} = \frac{1}{A_o \cdot U_o} \quad (7)$$

3.10 CÁLCULO DA ÁREA SUPERFICIAL DA LATA

Uma vez que se sabe que a área influencia diretamente na determinação de variáveis associadas a transferência de calor, é necessário que esta seja encontrada. Dado que neste trabalho o grupo considerará latas de 350 ml convencionais, onde é preciso considerar as curvas de sua geometria, para que o valor encontrado seja condizente.

Para a facilitação do cálculo da área, separou-se a lata em 5 seções (figura 9), onde a seção 3 e 5 podem ser calculadas utilizando a área superficial de um cilindro, e a área superficial de um disco respectivamente [ANEXO A].

Figura 9 – Seções da lata



Fonte: Os próprios autores.

Verificou-se que a Seção 2 (AZUL) e a Seção 4 (LARANJA) possuem formatos irregulares, devido a isso utilizou-se o método de revolução de superfície (STEWART, 2006). Para encontrar as funções que descrevem as curvas dessas seções, foi utilizado o Software MatLab e o método de ajuste de curvas quadráticas, obtendo-se as funções [ANEXO A] e posteriormente foi possível calcular suas respectivas áreas superficiais, a partir da revolução das superfícies em torno do eixo X. Onde o resultado obtido foi de $2,90 \times 10^{-3} m^2$ e $2,10 \times 10^{-3} m^2$ respectivamente para seção 2 e 4.

Já a seção 5 foi calculada como uma calota esférica, obtendo $1,67 \times 10^{-3} m^2$ [ANEXO A].

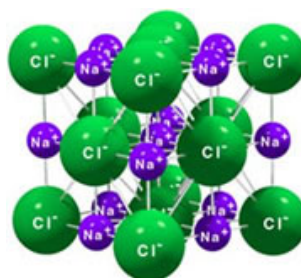
A área total encontrada é dada pela soma da área das 5 seções, sendo de $15,12 \times 10^{-3} m^2$.

3.11 LÍQUIDO DE REFRIGERAÇÃO

O líquido utilizado para a refrigeração foi a salmoura, solução homogênea de água e sal, onde o sal é responsável por fazer o gelo derreter mais rápido, fenômeno denominado como criometria, a qual estuda o abaixamento da temperatura de fusão ou de solidificação de um líquido quando ele é adicionado um soluto. Dessa maneira, essa reação é endotérmica, ou seja, absorve calor, que segundo (ASSUMPÇÃO et al., 2010) um processo endotérmico é aquele que absorve calor do ambiente em contato.

O composto iônico NaCl (Cloreto de Sódio) apresenta os íons de Na^+ e Cl^- associados, a proporção é de 1 átomo de Na pôr 1 de Cl, ilustrado pela Figura 10.

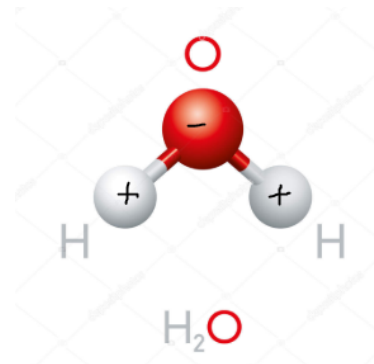
Figura 10 – Estrutura do sódio



Fonte: *ResearchGate*, 2019.

Já a água é uma molécula tri atômica formada por 2 átomos de H (Hidrogênio) a cada 1 de O (Oxigênio) (Figura ??). A água H₂O é uma ligação covalente, ou seja, possui polaridade molecular com um lado positivo e um negativo, causando atração ou repulsão (Figura 11).

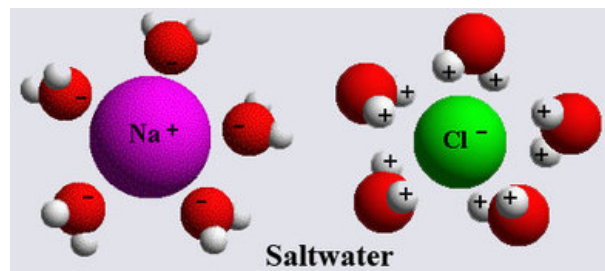
Figura 11 – Polaridade da água



Fonte: *Fine Art America*, 2019.

Quando o sal é misturado com a água, os íons se interagem, cada íon de Cl (negativo) se liga com um hidrogênio H (parte positiva), e cada Na (positivo) se liga com o O (negativa) (figura 12). Como na água existem uma concentração alta de moléculas, elas cercam os íons.

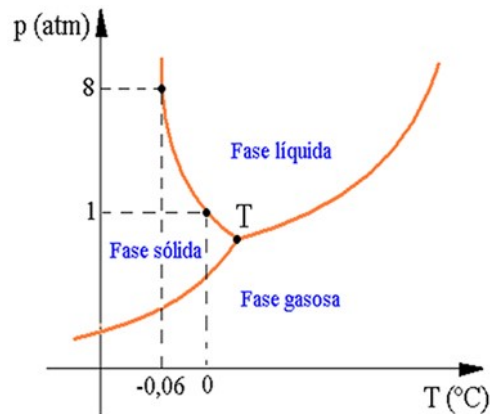
Figura 12 – Ligação entre a água e o sal



Fonte: *weebly Mr. Fish*, 2015.

Quando se adiciona uma quantidade excessiva de NaCl na água, não há moléculas o suficiente para cercar os íons, gerando assim um corpo de fundo, havendo uma mistura bifásica. A água destilada é uma substância pura que não possui nenhuma outra composição, a medida que a pressão sobre ela aumenta, mais baixa é a temperatura de fusão. Um exemplo é o gráfico abaixo (Figura 13), onde com a pressão atmosférica é 1atm, a fusão do gelo se dá a 0°C, quando a pressão é 8atm a fusão do gelo se dá a -0,06°C.

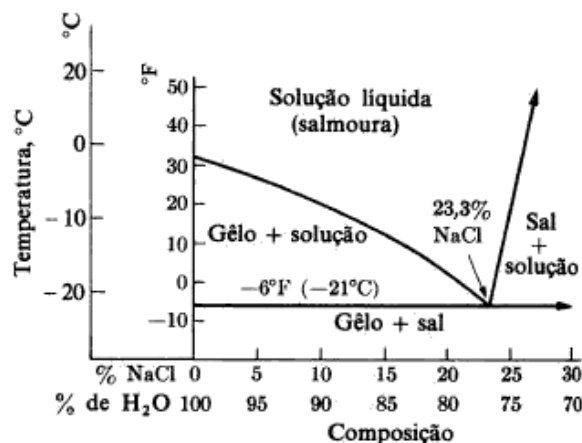
Figura 13 – Diagrama de fases da água



Fonte: Mundo Educação, 2019.

O gráfico abaixo (Figura 14) mostra a mistura da salmoura, onde se observa quatro fases diferentes: a fase homogênea, onde se tem 100% de líquido; a fase solução mais a fase gelo (líquido+sólido); a fase sal mais solução (a solução passa de saturada para insaturada, apresentando um corpo de fundo, o soluto não se dissolve mais no solvente); e a fase gelo mais sal (dois sólidos que não são capazes de se misturar, se dissolver). É possível observar na Figura 14, a fase líquida resfriando-se, transformando-a em duas fases sólidas diferentes a uma porcentagem de 23,3% de NaCl, esse fenômeno é denominado ponto eutético, onde uma fase líquida se transforma em pelo menos duas fases sólidas.

Figura 14 – Diagrama de fases da salmoura



Fonte: Mundo Educação, 2019.

No projeto, não há interferência caso ocorra o corpo de fundo, uma vez que o sal precipitado estará em rotação elevada, fazendo-o suspender-se e associar-se a solução, mas não torna-se uma solução homogênea.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

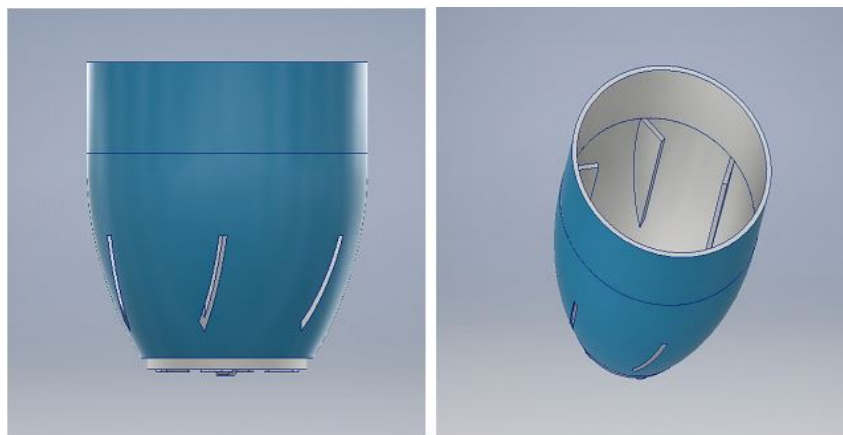
A seguir será descrito os componentes do sistema com os materiais e suas respectivas funções.

4.1 CARÇAÇA

A carcaça do projeto é um tronco de um parabolóide, pois o formato do mesmo tem o objetivo de manter o líquido refrigerante mais próximo da lata possível. O material utilizado é o alumínio, por ser um bom condutor de calor, pois "os elétrons estão livres na ligação metálica, assim o trânsito de calor é rápido no metal, o tornando um bom condutor"(FELTRE, 2004). Devido o alumínio ser um bom condutor, o mesmo tende a ganhar calor do ambiente, para isso a carcaça será envolvida por outra carcaça de poliuretano, o qual é isolante térmico, responsável por não deixar transferir o calor do ambiente para dentro do sistema.

Incorporado no interior da carcaça, foram construídas aletas para atrapalhar o sentido de rotação da água, onde foi constatado empiricamente que elas forçavam a água a se aproximar da lata, fazendo a mesma ter maior superfície de contato entre a lata e o líquido refrigerante.

Figura 15 – Carcaça do protótipo



Fonte: Os próprios autores.

4.2 EIXO SUPORTE

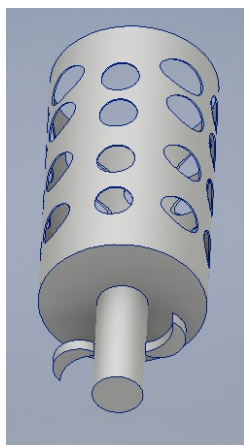
O suporte da lata é sustentado por um eixo fixo que é conectado no motor junto as hélices laminares de arraste na parte inferior da carcaça. O suporte é constituído por quatro barras na vertical para aumentar a superfície de contato entre a lata e o fluido refrigerante. Sua posição é no centro da circunferência e sua altura é abaixo do centróide do parabolóide 4.2, fazendo com que a movimento do fluido não tombe o sistema. Considerando o corpo em equilíbrio em funcionamento, há conservação do momento angular, pois quando a somatória das forças externas são nulas o momento angular é conservado. Assim, o peso é centralizado no centro da circunferência inferior do tronco do parabolóide.

Centróide do tronco do parabolóide:

$$\bar{x} = 0,00cm$$

$$\bar{y} = 21,51cm$$

Figura 16 – Eixo suporte



Fonte: Os próprios autores.

4.3 BASE

A base consiste em suportar o peso da carcaça, evitar um possível tombamento, assim auxiliando em manter o projeto em equilíbrio, e ser apoio para o motor de 380W, com 3600rpm, o qual é responsável pelo movimento circular do sistema.

Figura 17 – Base do protótipo



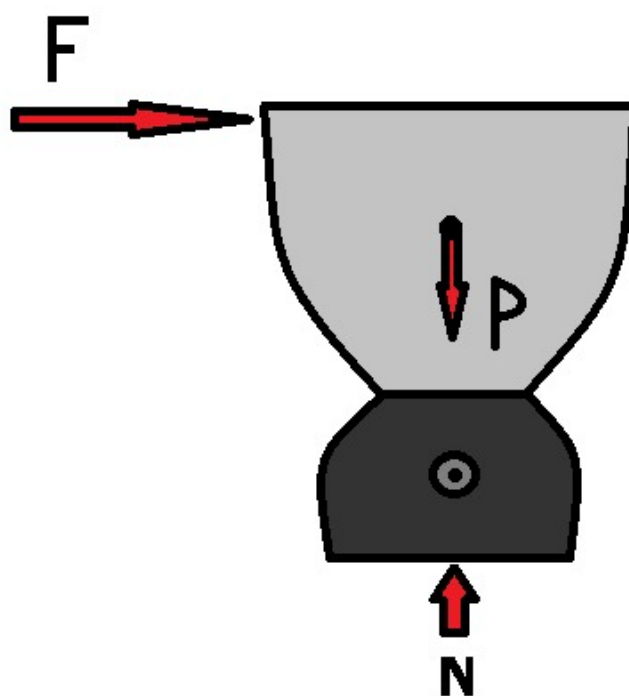
Fonte: Os próprios autores.

4.4 EQUILÍBRIO DO SISTEMA

Devido a geometria que o modelo apresenta, sendo estreito e alto, o equilíbrio do corpo, considerando o mesmo estático, pode ser prejudicado por atuações de forças externas. Pelo fato da altura ser maior que a largura, o momento é maior no eixo X, fazendo com que qualquer força superior à força de atrito estático aplicada no sentido horizontal, com a máxima distância da base em relação ao eixo y, poderá ocasionar um possível escorregamento ou tombamento.

O modelo do protótipo quando está com o fluido, consirando que o somatório de forças e momentos devem ser iguais a zero, a força máxima no sentido horizontal é de 33,27N, para que o objeto se mantenha em equilíbrio e não ocorra o tombamento Anexo B.

Figura 18 – Diagrama de corpo livre do modelo

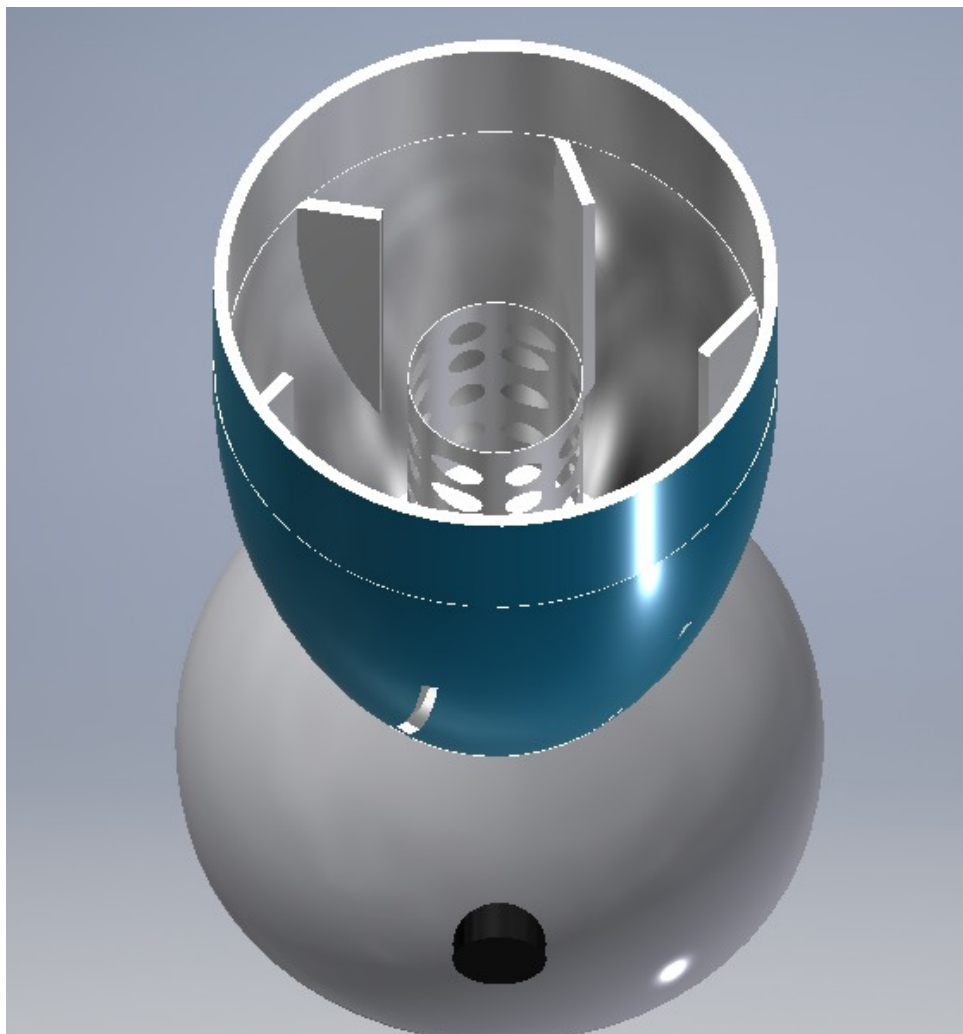


Fonte: Os próprios autores.

4.5 RESULTADOS OBTIDOS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou analisar e obter conhecimentos sobre sistemas e formas de refrigerar um fluido em um tempo relativamente baixo em relação aos refrigeradores convencionais. Alguns cálculos não puderam ser concluídos nesse período e terá continuidade no próximo semestre.

Figura 19 – Modelagem final



Fonte: Os próprios autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou analisar e obter conhecimentos sobre sistemas e formas de refrigerar um fluido em um tempo relativamente baixo em relação aos refrigeradores convencionais, onde com auxílio das matérias cursadas no terceiro período de bacharelado em Engenharia Mecânica, como conhecimentos de períodos posteriores para solucionar e entender de forma concisa eventuais problemas e dúvidas criadas durante a execução dos estudos, foi possível observar suas aplicações na prática na área de projetos.

Visto que nesse trabalho o principal foco é entender e buscar maneiras de melhorar o fluxo de calor a partir da convecção forçada, cujo a variável que limitou a não conclusão deste cálculo foi o coeficiente de transferência de calor (h), que exige conhecimento na área de mecânica dos fluidos, termodinâmica e transferência de calor, um método que deverá ser utilizado será um software que modele o comportamento que esse fluido possui no sistema.

Onde o modelo criado, foi disposto com algumas características que ajudam na velocidade de resfriamento, por exemplo, a diminuição da temperatura do fluido refrigerante e permanência do mesmo no estado líquido a temperaturas mais baixas, onde reduz o ponto de fusão da solução. Também encontrou-se formas de associar a geometria escolhida para o modelo e a uma maior transferência de calor, no qual o modelo criado nesta etapa está sujeito a otimizações futuras com auxílio das próximas disciplinas do bacharelado.

REFERÊNCIAS

- ASSUMPÇÃO, M. H. M. T.; WOLF, L. D.; BONIFÁCIO, V. G.; FATIBELLOFILHO, O. Construção de um calorímetro de baixo custo para a determinação de entalpia de neutralização. **Eclética Química**, SciELO Brasil, v. 35, n. 2, p. 63–69, 2010.
- CENGEL, Y. A.; KLEIN, S.; BECKMAN, W. **Heat transfer: a practical approach**. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 1998. v. 141.
- FAGUNDES, Marco Aurélio. **Propriedades Coligativas**. [S. l.], 2010. Disponível. Disponível em: <<https://www.coladaweb.com/quimica/fisico-quimica/propriedades-coligativas>> Acesso em: 9 abr. 2019.
- FELTRE, R. **Química Geral**. [S.l.: s.n.], 2004. v. 1.
- FÍSICA, C. C.; JI-PARANÁ, R. Janileide vieira gomes.
- GUIMARÃES, C. C. Ligação química: do saber sábio ao livro didático. Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, 2014.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física, vol. 2: gravitação, ondas e termodinâmica**. [S.l.: s.n.], 2009. v. 8.
- MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; BOETTNER, D. D. **Princípios de termodinâmica para engenharia** . [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000.
- OLIVEIRA, E. A. G. D. Refrigerador de bebidas para áreas comerciais.
- QUITES, E. E.; LIA, L. R. Introdução à transferência de calor. **São Paulo**, 2005.
- SEELTENT, J. J. **Refrigerador de bebidas de alto rendimento**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.
- STEWART, J. Cálculo vol. 2, 5a edição. **Pioneira Thomson Learning**, 2006.

ANEXO A – Área Superficial da lata

Para fazer o cálculo da área superficial da lata, foram coletadas medidas com um paquímetro e uma lata de 350ml e posteriormente desenhada nos planos XY. Para obter-se uma área mais precisa a mesma foi dividida em 5 seções.(figura 9)

Seção 1 (VERDE)

Geometria: Círculo.

$$\begin{aligned}\text{Área superficial} &= \pi \cdot r^2 \\ \text{Área superficial}_1 &= 2,21 \times 10^{-3} m^2\end{aligned}$$

Seção 2 (AZUL) e Seção 4 (LARANJA)

Geometria: As seções possuem formatos irregulares, devido a isso utilizou-se o método de revolução de superfície (STEWART, 2006). Para encontrar as funções que descrevem as curvas dessas seções, foi utilizado o Software MatLab e o método de ajuste de curvas quadráticas, obtendo-se as funções (8) e (9) e posteriormente foi possível calcular suas respectivas áreas superficiais, a partir da revolução das superfícies em torno do eixo X.

$$F(x) = 0.0000235 \cdot x^2 - 0.0000725 \cdot x + 0.0266989 \quad (8)$$

$$F(x) = 96,5581 \cdot x^2 - 23,5068 \cdot x + 1,4544 \quad (9)$$

$$\text{Área superficial}_2 = 2,90 \times 10^{-3} m^2$$

$$\text{Área superficial}_4 = 2,10 \times 10^{-3} m^2$$

Seção 3 (VERMELHA)

Geometria: Quadrado.

$$\begin{aligned}\text{Área superficial} &= b \cdot h \\ \text{Área superficial}_3 &= 6,24 \times 10^{-3} m^2\end{aligned}$$

Seção 5 (ROXA)

Geometria: Calota esférica.

$$\begin{aligned}\text{Área superficial} &= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \\ \text{Área superficial}_5 &= 1,67 \times 10^{-3} m^2\end{aligned}$$

Área superficial total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$$

$$A_T = 15,12 \times 10^{-3} m^2$$

ANEXO B – Cálculo da força máxima

Utilizando o software inventor a massa da carcaça sendo de alumínio 6001 é de 2,551 kg, a massa da água utilizando o volume é de 5,369 kg, a massa da base de plástico é de 3,444 kg, o motor tem massa de 1,2 kg.

$$m_{total} = m_{recp_{alum}} + m_{base_{plas}} + m_{motor} + m_{gua} \quad (10)$$

$$m_{total} = 12,56kg$$

$$D = \frac{F_p}{A_{base}} \quad (11)$$

$$D = 109 \frac{N}{m^2}$$

$$N = \frac{D}{A_{base}} \quad (12)$$

$$N = 123,21 N$$

$$F_{ate} = N \cdot \mu_e \quad (13)$$

$$F_{ate} = 33,27N$$

$$\sum Y = N - P = 0 \quad (14)$$

$$\sum X = F_{mx} - F_{ate} = 0$$

$$F_{mx} = 33,27N$$