

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
EDGAR SANTOS DE CASTRO

SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO: Análise de funcionamento de dois sistemas de refrigeração similares, funcionando com fluidos refrigerantes diferentes aplicados em duas câmaras frigoríficas

Varginha
2021

EDGAR SANTOS DE CASTRO

SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO: Análise de funcionamento de dois sistemas de refrigeração similares, funcionando com fluidos refrigerantes diferentes aplicados em duas câmaras frigoríficas

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha
2021

EDGAR SANTOS DE CASTRO

SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO: Análise de funcionamento de dois sistemas de refrigeração similares, funcionando com fluídos refrigerantes diferentes aplicados em duas câmaras frigoríficas

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes

Prof.(a)

Prof.(a)

OBS.:

Dedico este trabalho a minha mãe Andrea, que já se foi, mas continua sendo minha maior força e inspiração na vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela sabedoria e discernimento fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

Ao professor Luiz Carlos Vieira Guedes, por aceitar ser meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

A toda minha família, que se fez presente durante todo o curso, de forma especial para minha prima Amanda, que me acolheu numa fase muito difícil deste percurso chamado vida.

Ao meu primo Marcos, que abriu as portas da sua empresa para que eu pudesse realizar o estudo dos equipamentos apresentados.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”

Chico Xavier

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é a análise de funcionamento de duas câmaras frigoríficas funcionando com fluídos diferentes. O presente estudo foi realizado de acordo com as características dos fluídos, empregados para resfriamento e congelamento. O estudo dos fluídos R-22 e R404-A foi feito visando obter as características de cada um destes, para serem utilizados para obtenção de menor temperatura nas câmaras frigoríficas apresentadas. Foram feitas análises comparativas entre duas câmaras frigoríficas instaladas em uma transportadora de produtos alimentícios, utilizando um mesmo compressor hermético e trabalhando com fluídos refrigerantes diferentes. Na câmara fria de resfriamento, o fluído utilizado é o R-22 e na câmara de congelamento utiliza-se o R-404A. A completa análise dos fluídos mostra as capacidades de cada um, em sua aplicação, notou-se que o fluído R22 já vem sendo utilizado em sistemas de refrigeração, tendo boa eficiência térmica no segmento em que é aplicado. Já para o fluído R404-A, como possui outras características, favorece seu uso na câmara frigorífica de congelamento, possui melhores resultados aplicado em um compressor hermético, fazendo assim uma aplicação de *drop in* e o sistema funciona perfeitamente com a alteração do fluído refrigerante, para as duas aplicações. Os sistemas não operam com o mesmo fluído, pois por questões financeiras, é mais viável a utilização do fluído R22 na câmara de resfriamento.

Palavras chave: Refrigeração; fluído refrigerante; câmara frigorífica; R22; R404-A; *drop in*.

ABSTRACT

The main objective of this paper work is the analysis and compare of the functioning of two cold rooms working with different fluids. The present study was carried out according to the characteristics of the fluids used for cooling and freezing. The study of R-22 and R404-A fluids was carried out in order to obtain the characteristics of each one of them, to be used to obtain a lower temperature in the presented cold rooms. Comparative analyzes were carried out between two refrigerating chambers installed in a food products conveyor, using the same hermetic compressor and working with different refrigerant fluids. In the cold cooling chamber, the fluid used is R-22 and in the freezing chamber, R-404A is used. The complete analysis of the fluids shows the capacities of each one, in its application, it was noticed that the R22 fluid has already been used in refrigeration systems, having good thermal efficiency in the segment in which it is applied. As for the R404-A fluid, as it has other characteristics, it favors its use in the freezing cold room, it has better results applied in a hermetic compressor, thus making a drop in application and the system works perfectly with the change of the refrigerant fluid, for both applications. The systems do not operate with the same fluid, because for financial reasons, it is more feasible to use R22 fluid in the cooling chamber.

Keywords: Refrigeration; refrigerant fluid; refrigerating chamber; R22; R404-A; drop in.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema de produção de gelo artificial.....	14
Figura 2: Máquina de refrigeração por compressão mecânica de vapor, usando éter como refrigerante, idealizada por James Harrison e fabricada por Daniel Siebe em 1857.....	15
Figura 3: Ciclo de refrigeração por compressão de vapor.....	21
Figura 4: Representação esquemática do ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor.	21
Figura 5: Sistema de refrigeração da câmara frigorífica de congelamento.	24
Figura 6: Compressor Hermético ELGIN ECM 42000T.	25
Figura 7: Unidade Condensadora Hermética SLM02350TTC51A.....	26
Figura 8: Filtro Secador.....	27
Figura 9: Reservatório de Líquido.....	28
Figura 10: Separador de Líquido ELGIN.....	29
Figura 11: Visor de Líquido.	30
Figura 12: Evaporador Frigorífico de Ar Forçado.....	31
Figura 13: Painel de Controle.....	32
Figura 14: Pressostato.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação das unidades de refrigeração com seus respectivos valores.	18
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HCFC – Hidroclorofluorcarbono;

HFC – Hidrofluorcarbono;

GWP – Potencial de aquecimento global;

ODP – Potencial de destruição de ozônio;

Drop in – Processo de substituição de fluído refrigerante em sistema de refrigeração.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 História.....	13
2.2 Conceitos.....	15
2.3 Sistema de Refrigeração.....	18
2.4 Isolamento térmico.....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 Descrição dos equipamentos utilizados no sistema de refrigeração em estudo.....	24
3.2 Comparativo dos fluídos refrigerantes utilizados.....	33
3.2.1 Refrigerante R-22.....	33
3.2.2 Refrigerante R404-A.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como tema o estudo de fluídos refrigerantes distintos, sendo estes R-22 e R404-A. Os equipamentos em análise, possuem as mesmas características técnicas de refrigeração, porém alterando seu fluído refrigerante utilizado. Serão apresentados os conceitos termodinâmicos para o correto funcionamento do equipamento em estudo.

A aplicação prática desse projeto tem como objetivo a análise de funcionamento do equipamento, comparando o uso de fluídos diferentes para o mesmo equipamento, o por que desta diferenciação e seus benefícios.

Por que não são utilizados fluídos iguais nos equipamentos, controlando assim suas temperaturas de trabalho para que possam suprir as necessidades de cada ambiente resfriado e mantendo um padrão nos equipamentos? Esta resposta será esclarecida no final do estudo, através de pesquisas bibliográficas e análises dos equipamentos.

A apresentação deste trabalho será embasada em Artigos, Teses, Normas Técnicas, Manuais Técnicos, Apostilas, Livros e consultas com profissionais de Refrigeração. Serão descritos os processos termodinâmicos presentes em uma câmara fria e será feito o comparativo entre os fluídos refrigerantes em análise.

O objetivo principal deste trabalho é analisar os sistemas de refrigeração presentes em duas câmaras frigoríficas instaladas em uma empresa de transporte de alimentos congelados, com foco na diferença de fluídos refrigerantes instalados num mesmo equipamento. Será apresentada história e conceitos sobre Refrigeração, análise de sistemas de refrigeração, classificar ciclos de refrigeração por compressão, descrição sobre isolamento térmico em câmaras frias e análise dos fluídos refrigerantes presentes nos equipamentos.

O tema proposto tem como principal objetivo a aplicação de diversos conteúdos teóricos em um sistema de refrigeração funcionando perfeitamente com fluídos refrigerantes diferentes para uma mesma aplicação.

A principal idealização para a conclusão deste projeto, é a análise de funcionamento de duas câmaras frigoríficas, instaladas em uma empresa de transporte de alimentos congelados. A análise terá como foco a parte termodinâmica, podendo assim serem abordados todos os componentes presentes nos equipamentos e o funcionamento de cada um destes.

O projeto consiste na apresentação de parte teórica envolvendo câmaras frias desde seus componentes, montagem e seus respectivos fluídos responsáveis pela refrigeração ou congelamento de alimentos no seu compartimento isolado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados manuais técnicos, materiais didáticos, livros e apostilas.

Segundo Tassini (2012), Refrigeração pode ser definida como um processo físico, no qual ocorre a transferência contínua de energia térmica de um corpo, ambiente ou substância, havendo em seguida a transferência de calor retirado para outro corpo, outro ambiente ou outra substância, sendo considerados os processos cujas reduções ou conservações de temperatura sejam inferiores à temperatura do ambiente circundante. Sistemas de refrigeração são utilizados com o objetivo de viabilizar processos, processar e conservar produtos ou efetuar climatização para conforto.

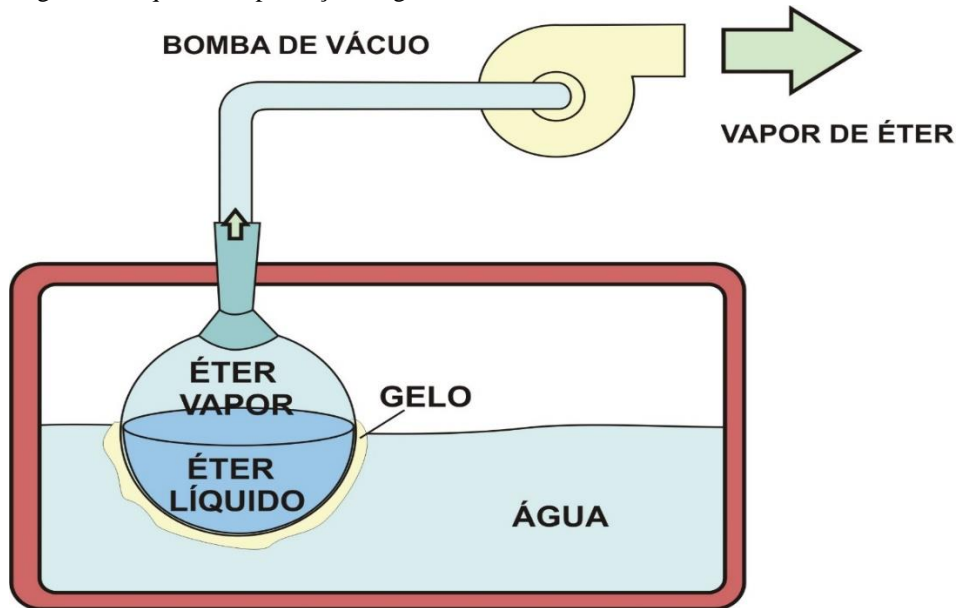
Salvador (1999) diz que existem três principais sistemas de refrigeração: os sistemas por absorção, os sistemas por efeitos termoelétricos e os sistemas por compressão a vapor. Os sistemas por compressão a vapor são os mais amplamente utilizados. Em especial, nas instalações industriais para processamento e armazenagem de alimentos e, em equipamentos de pequeno porte tais como refrigeradores, *'freezers'* e condicionadores de ar compactos.

2.1 História

O nome refrigeração, refere-se ao processo de retirada de calor de um processo, diminuindo a temperatura e mantendo assim constante, através de processos mecânicos ou naturais, de acordo com Graciliano (2018). A refrigeração é utilizada em quase todos os processos no meio em que estamos inseridos, seja através da conservação de alimentos, transporte, indústrias, hospitais e climatizações residenciais.

Ainda de acordo com Graciliano (2018), no ano de 1755, o professor acadêmico Willian Cullen (Universidade *Edinburgh* Inglaterra) fez um experimento com o éter, um fluido volátil. Ele utilizou uma bomba para abaixar a pressão do fluido, facilitando assim a evaporação. Durante sua evaporação com a retirada do calor no entorno, foi capaz de congelar um pequeno volume de água, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Esquema de produção de gelo artificial.

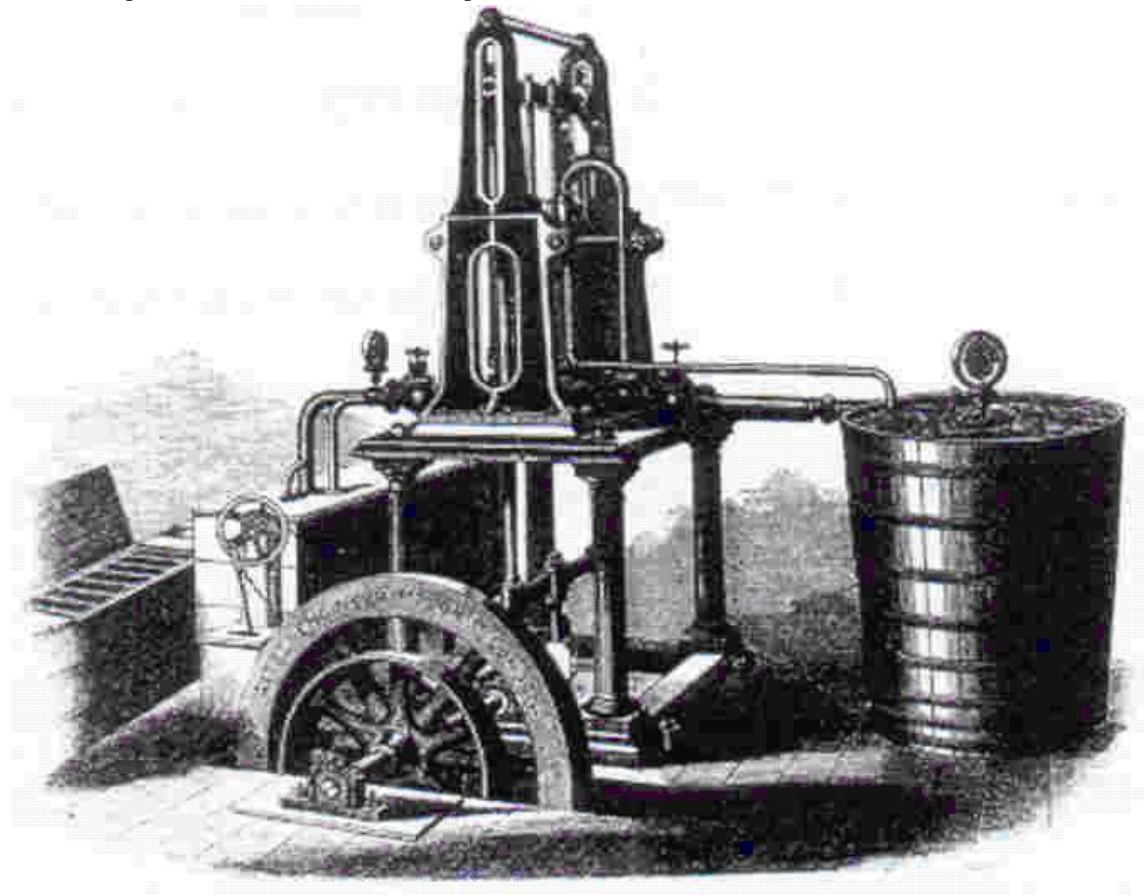


Fonte: GRACILIANO, J. (2018)

A recém, descoberta não foi muito utilizada devido ao processo ser muito descontínuo, necessitando de constante reposição do éter, que não seria vantajoso. A primeira solução apresentada para o problema foi providenciar a condensação do éter, em circuito fechado. Este processo foi possível através de posterior compressão do éter após passar pela bomba de vácuo.

A primeira solução detalhada de um equipamento para produção de gelo foi patenteada no ano de 1834, por Jacob Perkins. O primeiro equipamento real construído, foi entre os anos de 1856 e 1857 pelo escocês James Harrison. No ano de 1862, Daniel Siebe apresentou em uma exibição internacional em Londres, este equipamento mostrado na Figura 2. (GRACILIANO, 2018)

Figura 2: Máquina de refrigeração por compressão mecânica de vapor, usando éter como refrigerante, idealizada por James Harrison e fabricada por Daniel Siebe em 1857.



Fonte: Site do Instituto Federal Santa Catarina – Campus São José (2007)

2.2 Conceitos

Apresentado por Matos (2017) se tem os seguintes conceitos relacionados ao projeto:

- a) Refrigeração: Processo de retirada de calor de um corpo, reduzindo assim a sua temperatura e transferindo esse calor para outro corpo ou meio.
- b) Resfriamento: Processo de diminuição de temperatura de um corpo da temperatura ambiente até a temperatura de congelamento.
- c) Arrefecimento: Processo de diminuição de temperatura de um corpo, até a temperatura ambiente.
- d) Congelamento: Processo de diminuição de temperatura de um corpo abaixo de sua temperatura de congelamento.

e) Isolamento Térmico: É necessário que se utilize um bom isolante térmico para limitar o fluxo de calor e manter o espaço refrigerado constantemente abaixo da temperatura ambiente que o envolve.

f) Agente Refrigerante: É o corpo empregado de forma a absorver todo o calor do sistema ou responsável pela refrigeração.

g) Refrigeração com Gelo: Nos sistemas de refrigeração com gelo, o bloco de gelo é posicionado na parte superior do equipamento e o calor é absorvido do ar, que devido às correntes de convecção, resfria o espaço interno. Devido ao seu ponto de fusão ser maior que os demais refrigerantes, possui algumas vantagens e desvantagens, apresentadas abaixo:

Desvantagens:

- Temperatura mínima limitada a 0°C;
- Necessidade de reposição constante;
- Dificuldade de controle da razão de troca de calor.

Vantagens:

- Evita a desidratação de produtos não embalados;
- O gelo é muito utilizado nas residências, o que mantém a aparência de produtos não embalados;
- O gelo é comumente utilizado na refrigeração de peixes, carnes e vegetais.

h) Refrigerantes Líquidos: São caracterizados por apresentarem elevada capacidade de absorção de calor quando se vaporizam.

Principais vantagens:

- Vaporização controlada podendo ser iniciada e interrompida a qualquer momento;
- Vaporização com temperatura controlada através da pressão do sistema;
- Vapor facilmente coletado e condensado para ser reutilizável;
- Normalmente apresentam baixas temperaturas de saturação.

Os Refrigerantes mais importantes são:

- Amônia (R717);
- Tricloromonofluormetano (Freon-11 ou R-11);
- Diclorodifluormetano (Freon-12 ou R-12);
- Monoclorodifluormetano (Freon-22 ou R-22);
- Tetracloretodecarbano (R-10) e outros.

Considerando os conceitos acima, a preferência para o termo refrigeração é para os processos de retirada de calor dos meios com dispêndio de energia, caso do resfriamento e congelamento, porém esse conceito não anula a hipótese de acelerar o arrefecimento de um corpo por meios forçados, isto é, por meio da refrigeração. (COSTA, E, 1982)

Considerando que a energia de forma natural se move do corpo mais quente para o de menor energia, COSTA (1982) conclui que o processo de arrefecimento considerando a temperatura ambiente, torna-se um processo natural. Já para os processos de resfriamento e congelamento que necessitam de um processo de fluxo de calor contrário ao gradiente térmico natural, exigindo assim uma fonte de energia utilizável, de acordo com o segundo princípio da termodinâmica.

Quantidade de calor retirada do meio a ser refrigerado, na unidade do tempo, denomina-se potência frigorífica ou carga térmica de refrigeração e tem como unidade de medição frigorias por hora (fg/h). A frigoria corresponde a uma quilocaloria negativa, de acordo com a convecção de sinais aplicada no estudo da termodinâmica.

Em aplicações práticas, seguindo ainda as considerações feitas por COSTA (1982) a potência frigorífica é analisada em Toneladas de Refrigeração (TR), unidade equivalente à quantidade de calor retirado da água a 0°C, para formar uma tonelada de gelo a 0°C, a cada 24 horas.

De acordo com Costa (1982) o valor da tonelada adotada nos diversos países e, memorizando:

$$1 \text{ Btu} = 0,25198 \text{ kcal}$$

1 lb = 0,453592 kgf

1 ton. = 1000 kgf

1 short ton. = 2000 lb = 907,184 kgf

1 long ton. = 2240 lb = 1016,047 kgf

Calor latente de solidificação da água = 144 Btu/lb = 80 kcal/kgf

Podemos relacionar as seguintes unidades de refrigeração com seus respectivos valores:

Tabela 1: Relação das unidades de refrigeração com seus respectivos valores.

Nome	Símbolo	Peso		Valor	
		Lb	Kgf	Btu/h	Fg/h
Tonelada Standard Comercial Americana de Refrigeração	TR	2.000	907,184	12.000	3.023,95
Tonelada Métrica de Refrigeração	TRM	-	1.000	13.228,4	3.333,3
Tonelada Comercial Britânica de Refrigeração	TBR	-	1.001,91	13.253,3	3.339,7
Unidade Britânica Teórica de Refrigeração	UBR	-	1.080	14.285,8	3.600

Fonte: (COSTA, E, 1982)

2.3 Sistema de Refrigeração

2.3.1 Sistema de Refrigeração por Compressão

É o ciclo termodinâmico dos refrigeradores e condicionadores de ar. Pode ser entendido a partir dos conceitos básicos de calor e trabalho, utilizando-se um fluido refrigerante. O sistema de refrigeração por compressão, representado na Figura 3, tem como principais componentes:

- i) Evaporador: É um trocador de calor que recebe o refrigerante líquido a baixa pressão. Ao longo da tubulação do evaporador o líquido vaporiza absorvendo calor do espaço interno da câmara. Para que aconteça o fluxo de calor da câmara para o evaporador, o evaporador deve ser mantido a temperatura inferior à da câmara. A diferença de temperatura entre o evaporador e a câmara será denominada " ΔT " e é muito importante principalmente para o controle da umidade relativa no interior da câmara. O refrigerante quando deixa o evaporador se encontra na forma de vapor.
- j) Linha de sucção: É a tubulação frigorífica usada para transportar o vapor frio, ligando o evaporador ao compressor e teoricamente se admite que o refrigerante atravesse essa linha sem trocar calor. Na prática, apesar do isolamento, o vapor frio que passa pela tubulação da linha de sucção absorve calor do espaço externo.
- k) Compressor: Trata-se de um dispositivo eletromecânico que é usado para desenvolver e manter o fluxo do fluido através do sistema de refrigeração. O vapor frio flui do evaporador para o compressor onde a pressão é elevada por uma transferência de energia cinética. Este processo eleva a temperatura de saturação do vapor para um nível que permite o vapor condensar a temperaturas ambientes normais. O refrigerante flui pelos componentes restantes no sistema e retorna para o evaporador onde o ciclo é repetido.
- l) Linha de descarga: É a tubulação frigorífica usada para transportar o vapor superaquecido a alta pressão, ligando o compressor ao condensador e teoricamente vamos admitir que o vapor a alta pressão e temperatura atravessam essa linha sem trocar calor. Na prática o vapor elimina calor para o ambiente externo.
- m) Condensador: É um trocador de calor que recebe o vapor a alta pressão e temperatura e provoca a sua condensação retirando calor do mesmo através de um meio condensante, em geral, água ou ar.
- n) Reservatório de líquido: Trata-se de um tanque que recebe o refrigerante

líquido do condensador e o armazena, criando um selo de líquido entre o condensador e o dispositivo medidor, impedindo assim a passagem de vapor para o dispositivo medidor e permitindo uma provisão constante de refrigerante líquido para o dispositivo medidor sob todas as condições de variação da carga.

o) Linha de líquido: É a tubulação frigorífica usada para transportar o líquido quente a alta pressão, ligando o reservatório de líquido ao dispositivo medidor.

p) Dispositivo medidor: Tem por função reduzir a pressão do líquido na entrada do evaporador, sendo o elemento que controla o fluxo de refrigerante através do evaporador baseado na demanda de carga térmica. Admitimos que no dispositivo medidor o líquido não troca calor com o exterior.

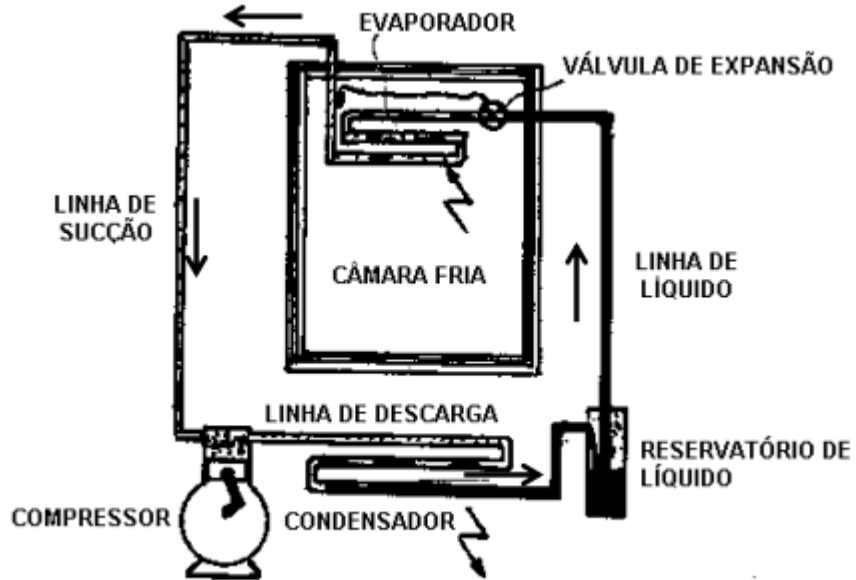
À medida que o líquido quente passa através do dispositivo medidor, parte dele, expande-se em gás e esfria o líquido restante. O líquido quente passa a líquido frio.

Um ciclo de compressão a vapor de refrigeração é um processo termodinâmico em que um fluido refrigerante é vaporizado, comprimido e condensado através de um ciclo contínuo para permitir refrigerar um determinado espaço.

O ciclo saturado simples é formado por quatro processos fundamentais: expansão, vaporização, compressão e condensação. Nestes processos, o refrigerante passa por mudanças em sua pressão, temperatura e/ou fase.

(MATOS, R., 2017)

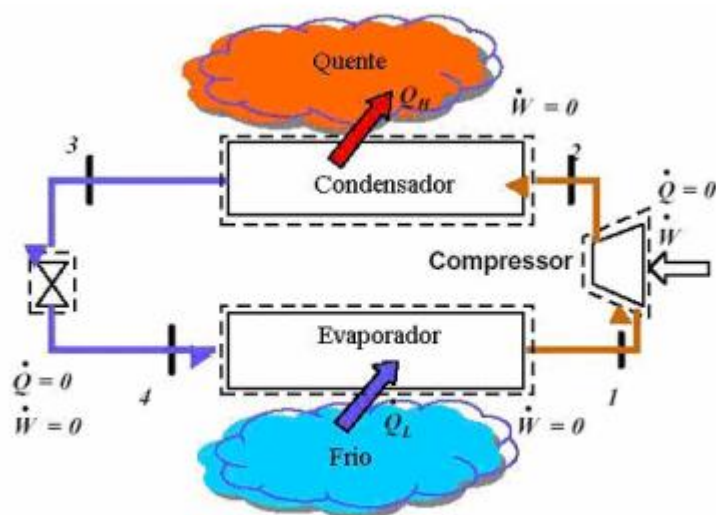
Figura 3: Ciclo de refrigeração por compressão de vapor.



Fonte: MATOS, R. (2017)

O ciclo de compressão de vapor é o mais comum, pois é um ciclo simples e utiliza um fluido refrigerante. Este sistema é apresentado abaixo na Figura 4.

Figura 4: Representação esquemática do ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor.



Fonte: FERREIRA (2012)

Segundo Tassini (2012) os processos termodinâmicos que constituem o ciclo teórico em seus respectivos equipamentos são:

- m) Processo 1→2: Ocorre no compressor, sendo um processo adiabático reversível e, portanto, isoentrópico. O refrigerante entra no compressor à pressão do evaporador (P_0) e com título igual a 1 ($x=1$). O refrigerante é então comprimido até atingir a pressão de condensação (P_c) e, ao sair do compressor está superaquecido à temperatura T_2 .
- n) Processo 2→3: Ocorre no condensador, sendo um processo de rejeição de calor do refrigerante para o meio de resfriamento (ar, água ou outro fluido), à pressão constante. Neste processo, o fluido refrigerante é resfriado da temperatura T_2 até a temperatura de condensação T_C e, a seguir, condensado até se tornar líquido saturado na temperatura T_3 .
- o) Processo 3→4: Ocorre no dispositivo de expansão, sendo uma expansão irreversível a entalpia constante (processo isentálpico), desde a pressão P_C e líquido saturado ($x=0$), até a pressão de vaporização (P_0). Observe que o processo é irreversível e, portanto, a entropia do refrigerante na saída do dispositivo de expansão (s_4) será maior que a entropia do refrigerante na sua entrada (s_3).
- p) Processo 4→1. Ocorre no evaporador, sendo um processo de transferência de calor a pressão constante (P_0), consequentemente a temperatura constante (T_0), desde vapor úmido (estado 4), até atingir o estado de vapor saturado seco ($x=1$).

Segundo Tassini (2012), no ciclo de refrigeração por compressão de vapor, o trabalho fornecido ao compressor é utilizado para elevar a pressão e a temperatura do fluido refrigerante gasoso que chega ao compressor. O vapor, a alta pressão e temperatura, segue até o condensador onde rejeita calor para o meio, condensando o fluido refrigerante. O líquido condensado segue em direção a um dispositivo de expansão, onde passa do estado líquido a alta pressão (num processo isoentálpico) para uma mistura líquido-vapor, a baixa pressão e temperatura. O fluido refrigerante então retira calor do ambiente ou sistema a ser refrigerado, utilizando esse calor para se vaporizar, seguindo em direção ao compressor, onde completa o ciclo.

2.4 Isolamento térmico

De acordo com Tectérmica, o isolamento térmico é a maneira mais adequada de conservar o frio em uma câmara fria ou em qualquer outro tipo de compartimento frigorífico, tecnicamente podemos afirmar que consiste em reduzir a transmissão de energia calorífica do interior da câmara fria para os espaços adjacentes.

É um fato amplamente conhecido que as características construtivas das câmaras frias influem diretamente na capacidade de refrigeração, além disso, tem responsabilidade direta no aumento ou redução do consumo energético. Segundo Tectérmica, os principais fatores a considerar são:

- q) Eficiência do isolamento térmico de paredes e teto;
- r) Eficiência do isolamento térmico do piso da câmara frigorífica;
- s) Eficiência da impermeabilização do piso;
- t) Existência de barreira de vapor apropriada;
- u) Infiltração de ar exterior em níveis mínimos.

Segundo Tectérmica, o isolamento térmico tradicional surgiu juntamente com a estocagem refrigerada, aliás sem a existência dele não seria possível armazenar as mercadorias perecíveis, haja visto que de nada adiante possuir excelentes equipamentos de refrigeração sem contar com o isolamento térmico para conter a fuga do frio que ele produz.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho apresentado foi embasado em uma análise de pesquisa bibliográfica, e principalmente seguindo outras informações técnicas, como catálogos de fabricantes, normas técnicas, manuais de instalação e consultas com profissionais da área de pesquisa.

O trabalho consiste na análise de câmaras frigoríficas instaladas em uma empresa de distribuição de produtos alimentícios.

O trabalho será focado o estudo de câmaras frias que tem similaridade no funcionamento, alterando apenas o fluido refrigerante utilizado para diminuição da sua temperatura de trabalho.

Foi feito o levantamento dos materiais instalados nas unidades, para serem analisados funcionando com refrigerantes R-22 e R-404A.

Os equipamentos instalados trabalhando com R-22 e R-404a operam na faixa de temperatura máxima de -5°C e -15°C , respectivamente.

3.1 Descrição dos equipamentos utilizados no sistema de refrigeração em estudo

A câmara fria em estudo, mostrada na figura 5 a seguir, tem como principais componentes: compressor hermético, evaporador, filtro secador, condensador, reservatório de líquido, visor de líquido e separador de líquido. (MIRANDA, 2017)

Figura 5: Sistema de refrigeração da câmara frigorífica de congelamento.



Fonte: O autor

Compressor hermético ELGIN modelo: ECM 42000T - responsável pela compressão do fluido e circulação do fluido refrigerante no sistema. Faixa de aplicação de temperatura utilizando fluido R-22 é de -15°C a 10°C . Alimentação elétrica 220V e frequência 50/60 Hz. Potência fornecida = 3,5 HP.

Figura 6: Compressor Hermético ELGIN ECM 42000T.



Fonte: O autor

Unidade Condensadora ELGIN modelo: SLM02350TTC51A – trocador de calor, responsável por dissipar para o ambiente externo através do sistema de refrigeração, o calor absorvido no evaporador e gerado no processo de compressão. Alimentação elétrica 220V, operando com fluido refrigerante R-22 trabalha com temperaturas de evaporação entre -17,5°C e 5°C, frequência de 50/60 Hz e 3,5 HP de potência fornecida.

Figura 7: Unidade Condensadora Hermética SLM02350TTC51A.



Fonte: O autor

Filtro secador ELGIN modelo: FSE0835 – É instalado na linha de líquido, especificado para fluídos refrigerantes. Tem como função eliminar vapores de água e/ou partículas sólidas no circuito frigorífico, evitando a formação de ácidos indesejáveis e/ou obstrução do dispositivo de expansão.

Figura 8: Filtro Secador.



Fonte: O autor

O reservatório de líquido tem como objetivo, evitar a mistura de líquido e vapor na linha de líquido, separando o vapor do fluido refrigerante, garantindo assim apenas a passagem do líquido sob diferentes condições de variação de carga de fluido refrigerante.

Figura 9: Reservatório de Líquido.



Fonte: O autor

Separador de Líquido ELGIN, são projetados para proteger o compressor contra o retorno de refrigerantes na forma líquida. Devido ao tempo do projeto instalado, não foi possível identificar o modelo específico.

Figura 10: Separador de Líquido ELGIN.



Fonte: O autor

Visor de Líquido SGI10 Danfoos 014L0022 é o item que permite visualizar o estado do fluido refrigerante (líquido ou gasoso) e mostra também a umidade no sistema se está em parâmetros aceitáveis.

Figura 11: Visor de Líquido.



Fonte: O autor

Evaporador Frigorífico de Ar Forçado TRINEVA TRND-442CN – 4 motoventiladores de 10” e potência fornecida de 260W. Equipamento responsável por toda troca de calor dentro do ambiente resfriado.

Figura 12: Evaporador Frigorífico de Ar Forçado.



Fonte: O autor.

Painel de Controle é responsável pelo controle das temperaturas em ambas as câmaras frigoríficas, ligar motores e iluminação.

Figura 13: Paineis de Controle.



Fonte: O autor.

Pressostato é um equipamento responsável por medir as pressões do sistema, utilizado como equipamento de segurança capaz de evitar efeitos como sobrepressão ou subpressão aplicados ao sistema em funcionamento.

Figura 14: Pressostato.



Fonte: O autor.

3.2 Comparativo dos fluídos refrigerantes utilizados

3.2.1 Refrigerante R-22

Conhecido como Clorodifluormetano, segundo Antunes (2015) pertence à família dos HCFC's, os quais possuem a molécula de Cloro que degrada a camada de ozônio. Desde seu reconhecimento em 1928 e comercialização em 1936, o R22 tem sido aplicado desde pequenos aparelhos de ar condicionado de janela até enormes *chillers* e bombas de calor. Equipamentos individuais utilizam este versátil refrigerante para capacidades frigoríficas que vão de 2 kW a 33 MW. Este fluído pode ser empregado em equipamentos com diversos tipos de compressores. Comercialmente, nenhum outro refrigerante atingiu tão vasto campo de aplicações.

Ainda segundo Antunes (2015), este é atualmente o refrigerante mais utilizado nos sistemas de refrigeração dos países em desenvolvimento como o Brasil, China, Índia, entre

outros, principalmente em supermercados. De acordo com os protocolos Montreal e Kyoto, estão sendo testados vários refrigerantes para a substituição do R22 (GWP=1810) em suas diversas aplicações. Muitas barreiras foram criadas para encontrar um novo substituto, visto que o novo candidato deve ser ambientalmente amigável, compatível com óleo mineral e suas propriedades refrigerantes devem ser próximas às características do R22, evitando assim, maiores mudanças nas instalações. Devido ao último acordo (referente ao Protocolo de Montreal) sobre a eliminação do R22, seu preço vem aumentando gradativamente e suas indústrias químicas estão oferecendo uma ampla lista de possíveis substitutos, porém muitas dessas opções possuem maiores valores de GWP e rendimentos inferiores ao R22.

Feito uma pesquisa em relação aos custos, nota-se que um botijão (13,60 Kg) de fluido refrigerante R22, custa em média R\$2.000,00. (Dufrio, 2021)

3.2.2 Refrigerante R404-A

É uma mistura azeotrópica de refrigerantes HFC's destinadas a serem substitutos de longo prazo para o R22. O R404-A é formado pelos fluídos refrigerantes R125 (44%), R143a (52%) e R134a (4%) em massa, e possui ODP nulo. Somente pode ser utilizado com óleo lubrificante Poliolester e sua estabilidade com os metais usuais em refrigeração, é considerada aceitável. (Panato, 2015)

Em uma operação de *retrofit* do R22, o R404-A apresenta a mesma capacidade de refrigeração em elevadas temperaturas de evaporação. Panato (2015) diz que em médias e baixas temperaturas, a capacidade de refrigeração do R404-A é superior ao R22. Apesar da pressão de descarga do compressor ser mais alta, sua razão de pressão é menor.

Feita uma pesquisa sobre custos do gás, um botijão (10,90 Kg) de fluido refrigerante R404-A custa, em torno de 3.500,00 R\$. (Dufrio, 2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Principais características do Monoclorodifluormetano (R22), segundo Schulz (2009):
Fórmula molecular: CHClF₂

Massa molar: 8,47 g/mol

Densidade: 3,66 kg/m³ a 15°C (gás)

Ponto de Fusão: -175,42°C (97,73 K)

Ponto de Ebulição: -40,7°C (232,45 K)

Forma molecular: tetraédrica.

Pressão de trabalho: 50 psi

Segundo Ângelo (2009) o fluido refrigerante R404-A é uma mistura azeotrópica de hidrofluorcarbonatos – HFC constituída por:

- R125 – Pentafluoretano (CF₃CHF₂), 44%,
- R134a – Tetrafluoretano (CF₃CH₂F), 4%,
- R143a – Trifluoretano (CF₃CH₃), 52%.

Ainda de acordo com Ângelo (2009), apresenta as seguintes características:

- Ponto crítico:
 - Temperatura = 72 °C;
 - Pressão = 37,2 bar;
 - Densidade = 0,484 kg/dm³.
- Fase líquida, a 25°C:
 - Densidade = 1,04 kg/dm³;
 - Calor específico = 1,64 kJ/kg °C.
- Fase gasosa, a 1,013 bar:
 - Temperatura de ebulição = -46 °C;
 - Ponto de ebulição = -46,4 °C;
 - Calor específico = 0,88 kJ/kg °C.
- Vapor saturado:
 - Densidade = 5,41 kg/m³.

ODP = 0.

GWP = 0,0555.

O Fluido R22 comumente é utilizado em sistemas de resfriamento convencionais, apresenta um custo menor e tem uma eficiência boa no resfriamento, trabalhando em compressores herméticos.

O Fluido R404-A apresenta uma melhor eficiência no segmento de congelamento em câmaras de congelamento, trabalhando em um compressor hermético. Porém, este fluido é mais caro, estreitando assim seu uso na câmara de congelamento.

Com relação aos resultados obtidos, pode-se notar que os dois fluídos refrigerantes atendem aos sistemas perfeitamente. Cada um na sua aplicação, tem propriedades específicas para atender ao projeto.

O fluído puro R22 é utilizado na câmara de resfriamento, devido sua pressão mais baixa de descarga no compressor, evitando assim um custo mais elevado para a instalação, forçando menos o trabalho do mesmo.

Já para o fluído R404-A, que é utilizado na câmara frigorífica de congelamento, exigindo assim temperaturas mais baixas de evaporação, aumentando assim sua pressão de descarga no compressor, porém com uma razão de pressão elevada.

No presente estudo, nota-se que foi desenvolvido uma operação de *drop-in* realizada com o fluído R404-A Antunes (2015). A alteração do fluído refrigerante do sistema exige que seja substituído também o óleo do sistema original por uma carga de óleo polioéster compatível com tal refrigerante.

Para a adaptação de apenas um fluído nos sistemas, deve-se fazer um experimento de custos, pois na parte que é economizada no trabalho de compressão no sistema, será custeada a mais no insumo refrigerante, ou vice-versa.

Nota-se então que, a razão da diferença dos fluídos refrigerantes utilizados nos dois sistemas está diretamente relacionada a parte de custo x benefício das aplicações, pois teria que ser adaptado o fluído R404-A na câmara de resfriamento, aumentando assim o valor da manutenção na troca dos gases.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir com o estudo feito, comparando o funcionamento de duas câmaras frigoríficas, funcionando com compressores herméticos, alterando diretamente seu fluído refrigerante, que o sistema atende bem com o processo de *drop in*, que nada mais é do que a alteração direta do refrigerante no compressor.

Foi feita a análise de funcionamento dos dois equipamentos na empresa, em dias alternados, com e sem carregamentos de mercadorias. As análises se mostraram totalmente eficientes, não diferenciando quesitos como eficiência, conservação e trocas de energia nas mesmas, concluindo que não apresentam nenhuma perda pela utilização de fluídos distintos.

Os fluídos operam com pressões capazes de atender as demandas simultaneamente em suas aplicações, sem prejudicar a vida útil dos compressores instalados nos sistemas apresentados. Pressão de trabalho do R22 pode variar entre 50 e 80 psi, já a pressão do R404-A, varia entre 10 a 30 psi.

Conclui-se com o final deste estudo que os equipamentos instalados, apresentam correto funcionamento, atendendo a demanda do solicitante e sua operação com os fluídos empregados em cada função.

Projetos futuros podem ser desenvolvidos a fim de manter um único fluído para trabalhar com a mesma eficiência nestes circuitos fechados, considerando fatores como eficiência de trabalho, custo x benefício e a não prejudicação da camada de ozônio.

REFERÊNCIAS

ÂNGELO, Maria Gabriela do Val Lopes Martins. **PROJECTO DE CONCEPÇÃO DE ENTREPOSTO FRIGORÍFICO PARA PRODUTOS ALIMENTARES CONGELADOS**, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – Departamento de Engenharia Mecânica, Lisboa, 2009. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10400.21/549>>. Acesso em: 13/10/2021.

ANTUNES, Arthur Heleno Pontes. **PROCESSO DE SUBSTITUIÇÃO DE R22 EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO COMERCIAIS**, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14762>>. Acesso em 28/10/2021.

COSTA, Ennio Cruz da. **REFRIGERAÇÃO**. Livro 3º edição. São Paulo: Blucher, 1982. Disponível em: < https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=sibTDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA18&dq=toneladas+de+refrigera%C3%A7%C3%A3o+ennio+costa+1982&ots=vsiaZF_WOy&sig=XYZRibWJVWOJjR4ZsijF_tEYipA#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 11/05/2021.

Curso FIC de Instalador de Refrigeração e Climatização Doméstica. Site do Instituto Federal de Santa Catarina, 2017. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/b/bf/Introducao_RAC_FICEAD.pdf>. Acesso em: 06/03/2021.

FERREIRA, Thalys Igor Bezerra. **SIMULAÇÃO DA PERFORMANCE DE UM CONDICIONADOR DE AR OPERANDO COM FLUIDO REFRIGERANTE R-410A EM SUBSTITUIÇÃO AO R-22**, 2012. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2012. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/11312871-Monografia-de-graduacao.html>>. Acesso em: 26/10/2021.

GRACILIANO Jesue. **A bela história da refrigeração, 2018**. Site particular, 05 de maio de 2018. Disponível em: <jesuegraciliano.wordpress.com/2018/05/05/a-bela-historia-da-refrigeracao>. Acesso em 17/03/2021.

MATOS, Rudmar Serafim. **REFRIGERAÇÃO**, 2017. Apostila – Setor de Tecnologia - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, 2017. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC153/Apostila/Apostila%20Refrigera%E7%E3o.pdf>>. Acesso em: 28/02/2021.

MIRANDA, Silas Ferreira Tavares Martins. **ANÁLISE TERMODINÂMICA DE UM REFRIGERADOR FUNCIONANDO COM DIFERENTES FLUÍDOS REFRIGERANTES SINTÉTICOS**, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Centro de Tecnologia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, 2017. Disponível em: <

https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/24555/1/SilasFerreiraTavaresMartinsMiranda_DISSERT.pdf>. Acesso em 13/10/2021.

PANATO, Victor Hugo. **ANÁLISE EXPERIMENTAL DA OPERAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DO R22 EM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO OPERANDO COM COMPRESSOR SCROLL**, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica, 2015. Disponível em: <
<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14993/1/AnaliseExperimentalSubstituicao.pdf>>. Acesso em: 26/10/2021.

REFRIGERAÇÃO DUFRIO COMÉRCIO E IMPORTAÇÃO LTDA. **Fluído Gás Refrigerante Chemours R22 13,62kg ONU1018**, Vila Velha, 2021. Disponível em: <
<https://www.dufrio.com.br/fluido-gas-refrigerante-chemours-r22-1362kg-onu1018.html?origin=busca>>. Acesso em: 13/10/2021.

REFRIGERAÇÃO DUFRIO COMÉRCIO E IMPORTAÇÃO LTDA. **Fluído Refrigerante Chemours R404-A 10,89kg ONU3337**, Vila Velha, 2021. Disponível em: <
<https://www.dufrio.com.br/fluido-refrigerante-chemours-r404a-1089kg-onu3337.html?origin=busca>>. Acesso em: 14/10/2021.

SCHULZ, Daniel. **GASES REFRIGERANTES**. UFRGS, Canoas, 2009. Disponível em: <
<https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/clorodif.htm>>. Acesso em: 30/10/2021.

TASSINI, Jussara Oliveira. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL: Estudo de caso**, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia) – UNESP – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2012. Disponível em: <
https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99296/tassini_jo_me_guara.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03/05/2021.

Tutorial técnico sobre como fazer o isolamento térmico tradicional para câmara fria. Tectérmica. Disponível em: <
https://tectermica.com.br/assets/como-fazer-isolamento-termico-tradicional-camara-fria_tutorial-tecnico.pdf>. Acesso em: 30/05/2021.

Um pouco da História da Refrigeração. Site do Instituto Federal Santa Catarina – Campus São José, 2007. Disponível em: <
<https://wiki.sj.ifsc.edu.br/index.php/Hist%C3%B3ria>>. Acesso em: 26/02/2021.