

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
CAMPUS MANAUS CENTRO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO DA ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO
DO FLUIDO REFRIGERANTE R410A PELO FLUIDO R32.**

JOHN ARIEL NASCIMENTO RAMIREZ

Manaus

2021

**UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO DA ANÁLISE DA
SUBSTITUIÇÃO DO FLUIDO REFRIGERANTE R410A
PELO FLUIDO R32.**

Projeto de pesquisa TCC apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus-Centro, locado no Departamento Acadêmico de Processos Industriais, como requisito parcial para aprovação na disciplina de TCC e obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. Orientador Prof. Dr. José Josimar Soares.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS

ATA Nº 144 / 2021 - CCGEM/CMC (11.01.03.01.16.12.01)

Nº do Protocolo: 23443.014199/2021-82

Manaus-AM, 23 de Agosto de 2021

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

No dia vinte do mês de agosto de dois mil e vinte e um, às 18:02 horas na Sala Virtual da Plataforma GOOGLE MEET, *link* meet.google.com/wbb-rznh-aiz, o acadêmico **John Ariel Nascimento Ramirez**, apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora presidida pelo Prof. Dr. José Josimar Soares (orientador - IFAM), composta pelos demais examinadores: MSc. Alberto de Castro Monteiro (Membro 1 - IFAM) e Prof. Esp. José Francisco de Caldas Costa (Membro 2 - IFAM). A sessão pública de defesa foi aberta pelo Presidente da Banca Examinadora, que fez a apresentação da mesma e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC que tem como título: UM ESTUDO BIBLIOGRAFICO DA ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO FLUIDO REFRIGERANTE R410A PELO FLUIDO R32. Na sequência, o acadêmico teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho, e em seguida, cada integrante da Banca Examinadora fez suas arguições. Ouvidas as explicações do acadêmico, os membros da Banca Examinadora, reunidos em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberaram por **APROVAÇÃO** e atribuir a nota **8,8** ao trabalho.

Foi divulgado o resultado formalmente ao acadêmico e demais presentes, dando ciência ao mesmo que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o prazo máximo de 15 dias, com as devidas alterações sugeridas pela banca.

Nada mais a tratar, a sessão foi encerrada às **(19h03 min)**, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo acadêmico.

Prof. Orientador /Presidente: Prof. Dr. José Josimar Soares

Prof. Membro 1: MSc. Alberto de Castro Monteiro

Prof. Membro 2: Prof. Esp. José Francisco de Caldas Costa

Acadêmico: John Ariel Nascimento Ramirez

(Assinado digitalmente em 23/09/2021 21:41)
ALBERTO DE CASTRO MONTEIRO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
Matrícula: 267787

(Assinado digitalmente em 25/08/2021 09:07)
JOSE FRANCISCO DE CALDAS COSTA
COORDENADOR
Matrícula: 267706

(Assinado digitalmente em 09/09/2021 08:38)
JOSE JOSIMAR SOARES
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
Matrícula: 1961168

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.ifam.edu.br/documentos/> informando seu número: **144**, ano: **2021**, tipo: **ATA**, data de emissão: **23/08/2021** e o código de verificação: **264172deb0**

Biblioteca do IFAM- Campus Manaus Centro

R173e Ramirez, John Ariel Nascimento.

Um estudo bibliográfico da análise da substituição do fluido refrigerante r410a pelo fluido r32 / John Ariel Nascimento Ramirez. – Manaus, 2021.

41 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro, 2021.

Orientador: Prof. Dr. José Josimar Soares.

1. Engenharia mecânica. 2. Sistema de refrigeração. 3. Refrigeração. 4. Fluido refrigerante. I. Soares, José Josimar. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Título.

CDD 621

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que sempre acreditaram em mim e oraram pedindo a Deus que esse dia chegasse;

Aos meus filhos Angel Parra Ramirez e Alice Stephani Ramirez que muito contribuíram como fonte de inspiração;

À minha neta Maria Luísa que chegou e encantou o meu mundo me tornando o avô mais coruja que existe;

Aos meus irmãos Danival, Beviana, Angel Edgar, Miquéias, Naftali e Armel que com suas mensagens de otimismo, também contribuíram para esse processo;

Aos professores do Instituto Federal do Amazonas que tiveram empatia, paciência e sempre compreendiam os meus atrasos e a minha luta diária;

À professora Ana Maria Pereira e Francisco das Chagas, professores deste Instituto, que muito me ajudaram e nunca duvidaram do meu potencial, sempre dispostos a contribuir com minha vida acadêmica. Para eles eu só oferto Gratidão.

Ao professor Carlos Machado, que ainda em vida, foi minha inspiração para atuação profissional da área de refrigeração e climatização.

Ao meu orientador e o professor José Josimar Soares que contribuiu com seu conhecimento e toda a atenção que foi dispensada em prol deste trabalho.

Ao nosso Magnífico e eterno Reitor e professor Antônio Venâncio Castelo Branco que com seus ensinamentos e fala mansa me instruiu algumas vezes sobre o quesito “vida”.

A todo o Instituto Federal do Amazonas por nos conceder a oportunidade de realizarmos nossos sonhos.

Gratidão é o meu nome ao final desse curso.

UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO DA ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO FLUIDO REFRIGERANTE R410A PELO FLUIDO R32.

*John Ariel Nascimento Ramirez*¹

RESUMO

Esta pesquisa bibliográfica teve como intuito analisar o coeficiente de desempenho dos fluidos refrigerantes R410A e o R32 em um ciclo de refrigeração por compressão de vapor ideal, presumindo que o coeficiente de desempenho tem tamanha importância na análise das instalações frigoríficas. Na pesquisa selecionamos os fluidos R-410A e R32, considerando que são os mais indicados para substituir o R-22, que deverá cair em total desuso no ano 2040, haja vista sua agressão à camada de ozônio. O que nos motivou a realizar essa pesquisa foi a incessante busca de encontrarmos um fluido que tivesse um baixo impacto ao meio ambiente, nossa atuação e futura formação no curso de graduação em Bacharelado em Engenharia Mecânica, o desempenho de nossas atividades na área de climatização e refrigeração. Para a elaboração desse trabalho realizamos buscas diversas, de produções científicas, que tratassem da avaliação dos parâmetros operacionais, que nos apresentasse pontos como: capacidade de refrigeração, potência consumida pelo compressor e o desempenho e descarga desenvolvida pelo compressor. O impacto que sofre o meio ambiente foi realizado por estudos que utilizavam o método TEWI, realizando uma análise do desempenho de ambos fluidos refrigerante (SILVA, 2018). De acordo com as pesquisas realizadas os testes realizados apresentam uma variação da temperatura de evaporação entre -7 e 7 °C, enquanto que a temperatura de condensação foi mantida em 41 °C. Além da temperatura de evaporação, variou-se também a frequência de operação do compressor de 45 até 60 Hz. Os resultados obtidos por SILVA (2018), demonstrou que a potência consumida pelo compressor utilizando R32 aumentou de 3 a 5% quando comparada ao R410A. A capacidade de refrigeração do R32 apresentou-se, aproximadamente, de 3 a 7% maior do que para o R410A. A temperatura de descarga do compressor operando com R32 foram de, aproximadamente, 20 a 30 °C mais alta do que para o R410A. Considerando os estudos feitos, verifica-se que o R32 apresenta uma performance superior ao R410A, considerando a menor quantidade de fluido utilizado no sistema e ao menor GWP que esse fluido apresenta.

Palavras-Chave: Fluido refrigerante, R410A, R32, sistema de refrigeração, substituição.

¹ Graduando da Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Amazonas – AM

ABSTRACT

This bibliographical research aimed to analyze the performance coefficient of refrigerants R410A and R32 in an ideal vapor compression refrigeration cycle, assuming that the performance coefficient is of such importance in the analysis of refrigeration facilities. In the research, we selected R-410A and R32 fluids, considering that they are the most indicated to replace R-22, which should fall into total disuse in the year 2040, given its aggression to the ozone layer. What motivated us to carry out this research was the incessant search to find a fluid that had a low impact on the environment, our performance and future training in the undergraduate course in Mechanical Engineering, the performance of our activities in the area of HVAC and refrigeration. For the elaboration of this work, we carried out several searches, of scientific productions, that dealt with the evaluation of the operational parameters, that presented points such as: refrigeration capacity, power consumed by the compressor and the performance and discharge developed by the compressor. The impact on the environment was carried out by studies that used the TEWI method, performing an analysis of the performance of both refrigerants. According to the research carried out, the tests performed show a variation in the evaporation temperature between -7 and 7 °C, while the condensing temperature was maintained at 41 °C. In addition to the evaporation temperature, the compressor operating frequency was also varied from 45 to 60 Hz. The results obtained by SILVA (2018), during his research, showed that the power consumed by the compressor using R32 increased from 3 to 5% when compared to R410A. The cooling capacity of R32 was approximately 3 to 7% greater than for R410A. The COP was 2 to 8% higher using R32. The discharge temperature of the compressor operating with R32 was approximately 20 to 30 °C higher than for R410A. Considering the studies carried out, it appears that R32 has a superior performance than R410A, considering the smaller amount of fluid used in the system and the smaller GWP that this fluid presents.

Keywords: Refrigerant fluid, R410A, R32, refrigeration system, replacement.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1- Ciclo teórico de compressão a vapor	14
Figura 2- Compressor Alternativo	15
Figura 3- Compressor Scrool.....	15
Figura 4- Condensadora.....	16
Figura 5- Condensadora Ciclone	16
Figura 6- Evaporador.....	17
Figura 7- Válvula de expansão	17
Figura 8- Diagrama de pressão – entalpia do fluido R32.....	18
Figura 9- Diagrama de pressão – entalpia do fluido R410A	19
Figura 10- Diagrama de Pressão – Entalpia e Entropia dos fluidos R410A.....	23
Figura 11- Diagrama de pressão – Entalpia e entropia do fluido R32.	23
Figura 12- Bancada de ciclo de refrigeração por compressão a vapor	27
Figura 13- Desenho esquemático de bancada experimental de refrigeração a vapor.....	27
Figura 14- Envelope de compressão do compressor ZP49K5E-TF5	28
Figura 15- Cilindros de fluido refrigerantes	29
Figura 16- Cilindros de fluido refrigerantes	29
Figura 17- Fórmula de COP	29
Figura 18- Capacidade de refrigeração.....	30
Figura 19- Consumo de potência.....	32
Figura 20- COP do sistema para diferentes teperaturas de evaporação	32
Figura 21- Temperatura de descarga do compressor para diferentes temperaturas.....	33
Figura 22- Valores das relações entre a potência consumida pelo compressor.....	34
Figura 23- Valores das relações entre a potência consumida pelo compressor.....	35
Figura 24- Valores da relação entre temperatura de descarga.....	36

Figura 25- Valores da relação de COP	37
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Pontos de Medição da bancada experimental.....	27
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ASHRAE	Sociedade americana de engenheiros do setor de aquecimento, refrigeração e ar condicionado
CFC	Clorofluorcarbono
Chiller	Sistema de refrigeração por resfriamento de fluido secundário
COP	Coefficiente de eficácia
Drop-in	Técnica de substituição de refrigerante em sistemas de refrigeração
EEV	Válvula de expansão eletrônica
GWP	Potencial de aquecimento global
HC	Hidrocarboneto
HCFC	Hidroclorofluorcarbono
HFC	Hidrofluorcarbono
HVACR	Setor de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração
LabView	Software visual de laboratório e instrumentação
LEST	Laboratório de Energia e Sistemas Térmicos
ODP	Potencial de destruição de ozônio
R32	Refrigerante difluorometano
R410A	Refrigerante misto
Scroll	Tipo de compressor de refrigeração
TEWI	Impacto de aquecimento equivalente total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 UMA BREVE HISTÓRIA DA REFRIGERAÇÃO	13
2.1 Sistemas de refrigeração por compressão de vapor.....	13
2.2 Componentes do sistema de compressão de vapor.....	14
2.2.1 Compressores	14
2.2.2 Condensadores	15
2.2.3 Evaporador	16
2.2.4 Dispositivo de Expansão	17
2.3 Ciclo de Refrigeração.....	18
2.3.1 Coeficiente de Performance do Ciclo (COP)	20
2.4 Fluido Refrigerante.....	20
2.4.1 Tipos de Fluidos Refrigerantes.....	21
2.4.2 Seleção de Fluidos.....	22
2.4.2.1 Fluido R410A.....	22
2.4.2.2 Fluido R32.....	23
2.5 Ensaio de Fluidos R410A e R32.....	24
3 METODOLOGIA.....	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	26
5 RESULTADOS OBTIDOS.....	30
5.1 Análises Comparativas.....	33
5.1.1 T_{ewi}.....	37
6 CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

Segundo Silva, Souza, Rocha (2014) os autores afirmam que há muito tempo a refrigeração vem facilitando a vida dos seres humanos. O processo de retirar o calor de um corpo e despejá-lo ao meio ou outro com uma temperatura mais elevada. A refrigeração realiza o conforto térmico do indivíduo, o armazenamento de alimentos, conservação de produtos de tipologias variadas, sejam eles residenciais ou industriais, entre outros atributos diversos.

De acordo com Pirani (2001), o sistema de refrigeração apresenta dois ciclos básicos: o ciclo de refrigeração por compressão a vapor e o ciclo de refrigeração por absorção. O sistema por compressão a vapor é o mais utilizado na atualidade. Neste estudo buscamos pesquisas que estivessem relacionadas ao ciclo de refrigeração por compressão a vapor, qual é composto por cinco componentes básicos, que são: compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador e fluido refrigerante.

O fluido refrigerante é o ator principal no desempenho do ciclo refrigerante por compressão a vapor, e por isso a importância da realização da análise do coeficiente de desempenho do ciclo. Dessa forma, é possível indicar qual dos fluidos é mais apazível para utilização. Ele normalmente é medido por meio do Coeficiente de Performance (COP) (MARQUES, 2010).

Conforme o Clube de Refrigeração (2014) é necessário que os fluidos atendam a critérios de propriedades termodinâmicas (entropia, entalpia, temperatura, pressão), inflamabilidade, toxicidade, impactos ambientais, preços moderados e facilidade de disponibilidade.

Uma das buscas e inovações apresentadas pelas indústrias refrigeristas é a utilização de fluidos que causem um menor impacto ao meio ambiente. As empresas produtoras de ares condicionados colocam no mercado aparelhos que possuem uma maior eficiência e rendimento em sua utilização e também que cause um baixo impacto em relação à degradação ao ambiente.

Dentre os fluidos que estão sendo utilizados no mercado apresentam-se o R410A, utilizado em aparelhos de ar condicionados residenciais, e também, substituto do fluido R22, que era bem mais agressivo ao meio ambiente se comparado ao R410A. E o fluido

R32 que em pesquisas realizadas recentes apresenta uma eficiência bem mais aprazível que o R410A em determinadas funções.

O presente trabalho tem como objetivo identificar, considerando a substituição do fluido R410A pelo fluido R32, quais dos fluidos refrigerantes possui melhor coeficiente de desempenho no ciclo de refrigeração de compressão a vapor.

2. UMA BREVE HISTÓRIA DA REFRIGERAÇÃO

Desde as antigas civilizações, a refrigeração é utilizada pelos indivíduos, de modo que pudesse amenizar a temperatura de seus ambientes. Membros da cultura ancestral Puebloan, que viviam na região de Mesa Verde, no deserto do Colorado, entre 600 e 1300 D.C, construíam suas residências em locais protegidos da incidência de raios solares, diante das encostas das pedras, para que pudessem diminuir a alta temperatura de seus ambientes (UNESCO, 2013). Existia, ainda, a civilização chinesa, que utilizava o gelo para conservar os chás que consumiam. As civilizações gregas e romanas também coletavam os gelos do alto das montanhas, para resfriar seus alimentos e bebidas (SOUZA, 2007).

Por muito tempo o indivíduo esteve dependente da natureza, na produção de gelo, que só era produzido na estação do inverno ou nas áreas de bastante frio. Mesmo assim, a guardar desse gelo era feita por um período muito curto, considerando a falta de local com material específico para realizar a sua conservação. Por este motivo, pesquisas se voltaram para a confecção de equipamentos que permitissem manter um objeto ou ambiente refrigerado artificialmente por muito mais tempo (BENEDETTI, 2010).

De acordo com Gosney (1982) podemos definir a refrigeração como a ciência que está relacionada à transferência de calor, com o objetivo de resfriar sistemas para temperaturas inferiores às disponíveis em um determinado local.

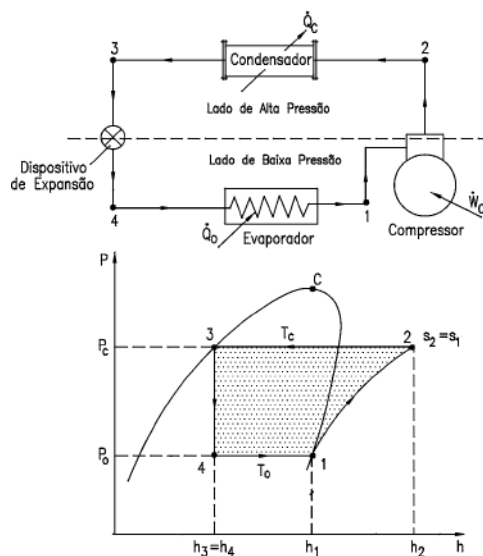
O ciclo de refrigeração por compressão a vapor é utilizado fortemente pela maior parte de sistemas de condicionadores de ar e outros meios de refrigeração, que é o caso de refrigeradores domésticos ou sistemas industriais (GERNIER, 2013).

2.1 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

Os sistemas de refrigeração por compressão de vapor usa um fluido refrigerante

líquido circulante como meio, que absorve e remove o calor do espaço a ser resfriado e subsequentemente transfere esse calor para outro local. A figura abaixo mostra um sistema típico de compressão de vapor de estágio único.

Figura 1- Ciclo teórico de compressão a vapor



Fonte: Pirani, 2005

Os componentes que permitem a realização da compressão a vapor possuem características distintas, porém, um depende do outro para a realização da compressão. Os componentes são: compressor, condensador, dispositivos de expansão, evaporador e fluido refrigerante (STOECKER e JONES, 1985).

2.2 COMPONENTES DO SISTEMA DE COMPRESSÃO DE VAPOR

2.2.1 Compressores

Uma das peças mais importante de um sistema de refrigeração, o compressor, bombeia o fluido refrigerante para que o mesmo circule pela tubulação, sendo distribuído pelo condensador e evaporador, realizando sua função final e principal que é o de refrigerar o ambiente. Quando o compressor sofre qualquer tipo de problema, ele acaba comprometendo todo sistema de funcionamento do equipamento. Abaixo apresentamos duas figuras de compressores.

Figura 2 - Compressor Alternativo



Fonte: o próprio autor (2021)

Figura 3 - Compressor Scrool



Fonte: o próprio autor (2021)

2.2.2 Condensadores

O condensador, equipamento externo de um sistema de ar condicionado, tem a função de realizar a troca de calor existente no equipamento. Responsável por gelar o fluido refrigerante e manter o ambiente para que esteja sempre refrigerado, apesar de que o mérito acaba ficando para a evaporadora. Apresentamos os modelos de condensadoras nas figuras abaixo.

Figura 4 – Condensadora



Fonte: o próprio autor (2021)

Figura 5 - Condensadora modelo Ciclone



Fonte: o próprio autor (2021)

2.2.3 Evaporador

O evaporador é a parte interna do sistema de um ar condicionado. Nela contém os filtros de ar e as placas de controle interno. É a evaporadora que faz o resfriamento do ambiente interno, direcionado pelas aletas e controlado por um controle remoto, a

evaporada necessita de atenção especial, para que possa garantir o seu bom funcionamento. A sua instalação precisa de atenção, pois o equipamento não pode ficar em locais que prejudiquem o seu rendimento, como: próximo a móveis, janelas, atrás de cortinas, etc. Na figura abaixo apresentamos o evaporador.

Figura 6 - Evaporador



Fonte: o próprio autor (2021)

2.2.4 Dispositivo de expansão

O principal objetivo do dispositivo de expansão é o de reduzir a pressão do refrigerante líquido e manter a regulação da vazão do refrigerante que entra no evaporador.

Os tipos mais comuns de dispositivos de expansão são: válvula de expansão e tubo capilar (MARQUES, 2010).

Quando sai do condensador, o fluido refrigerante, no estado de líquido sub-resfriado ou mistura de líquido e vapor, entra no dispositivo de expansão, onde ocorre uma expansão que ocasiona uma queda de pressão e temperatura. (MENDES, 2012).

Figura 7 – Válvula de expansão



Fonte: o próprio autor (2021)

2.3 CICLO DE REFRIGERAÇÃO

Na atualidade um ciclo de compressão refrigerístico pode ser encontrado em qualquer residência, como exemplos, temos os refrigeradores que conservam os mantimentos e um dos mais adquiridos nesses últimos tempos, que é o ar condicionado que invade os lares da população.

O ciclo de refrigeração utiliza-se das transferências de calores existente entre os componentes que compõem o equipamento, fazendo com que o líquido refrigerante realize essa troca de calores de uma fonte de calor quente para fria. Abaixo apresentaremos nas figuras, os ciclos do R32 e do R410A, analisando a performance de cada um dos fluidos. Os estudos de Canberk Yıldırım, Derya Burcu Özkan & Cenk Onan (2017) demonstram nas figuras abaixo como foi realizado em um resfriamento de vapor comprimido, o ciclo que funciona na temperatura de condensação de 45°C e, na temperatura de evaporação de 13°C

2.3.1 Coeficiente de Performance do Ciclo (COP)

De acordo com Salvador (1999), o coeficiente de performance do ciclo ou coeficiente de desempenho é um parâmetro muito importante na análise de instalações frigoríficas. O COP está em função das propriedades do refrigerante e, conseqüentemente, depende das temperaturas de condensação e vaporização. O coeficiente é a razão entre o efeito de refrigeração e o trabalho de compressão.

As medidas são calculadas dividindo o valor da capacidade em kW de aquecimento para obter o COP, pelo consumo elétrico nominal (kW).

$$\text{COP} = \frac{\text{Calor rejeitado pelo ciclo}}{\text{trabalho necessário}} = \frac{Q}{W} = \frac{h_1 - h_4}{h_1 - h_2}$$

Fonte: Silva (2018)

2.4 FLUIDOS REFRIGERANTES

Nos sistemas de refrigeração também existe um ator muito importante, o “fluido

refrigerante”. Aqui apresentaremos suas definições, potências de ODP e GWP, classificação e algumas características.

De acordo com Celano (2017), um fluido refrigerante para atender pré-requisitos mínimos, deve ter algumas propriedades químicas, termodinâmicas e físicas, só assim será considerado viável economicamente e também considerado seguro.

Segundo com Gomes (2008) não existe um fluido refrigerante que reúna todas as características desejáveis, de modo que, um refrigerante considerado bom para ser aplicado em determinado tipo de instalação refrigerante nem sempre é recomendado para ser utilizado em outra. O bom refrigerante é aquele que reúne o maior número possível de boas qualidades, relativamente a um determinado fim.

Ainda de acordo com Gomes (2008), um fluido refrigerante deve possuir algumas propriedades específicas, como:

- Condensar-se a pressões moderadas;
- Evaporar-se a pressões acima da atmosférica;
- Ter pequeno volume específico (menor trabalho do compressor);
- Ter elevado calor latente de vaporização;
- Ser quimicamente estável (não se altera apesar de suas repetidas mudanças de estado no circuito de refrigeração);
- Não ser corrosivo;
- Não ser inflamável;
- Não ser tóxico;
- Ser inodoro;
- Deve permitir fácil localização de vazamentos;
- Ter miscibilidade com óleo lubrificante e não deve atacá-lo ou ter qualquer efeito indesejável sobre os outros materiais da unidade;
- Em caso de vazamentos, não deve atacar ou deteriorar os alimentos, não deve contribuir para o aquecimento global e não deve atacar a camada de ozônio.

2.4.2 Tipos de Fluidos Refrigerantes

Se considerarmos a diversidade de fluidos existentes, precisaríamos realizar uma pesquisa somente para referenciá-los. Dessa forma, apresentamos, somente alguns tipos de fluidos refrigerantes, de acordo com que apresenta, (FERRAZ, GOMES 2008);

1. **CFC** - São moléculas formadas pelos elementos cloro, flúor e carbono. (Exemplos: R-11, R-12, R-502, etc.), esse tipo de gás é utilizado em ar condicionado automotivo, refrigeração comercial, industrial e doméstica; Os CFC's contribuem para a degradação da camada de ozônio. As indústrias químicas nacionais cessaram a produção de CFC's e a importação destas substâncias virgens está controlada. Para converter ou substituir um equipamento operado com CFC foram criados dois tipos de refrigerantes alternativos: HCFC's e HFC's.
2. **HCFC** - Alguns átomos de cloro são substituídos por hidrogênio (Exemplos: R-22, R-141b, etc.). Utilização: ar condicionado de janela, split, self, câmaras frigoríficas, etc.
3. **HFC** - Todos os átomos de cloro são substituídos por hidrogênio (Ex: R-134a, R-404A, R-407C, etc.). Utilização: ar condicionado automotivo, refrigeração comercial, refrigeração doméstica (refrigeradores e freezers), etc.

Considerando que apresentamos alguns dos tipos de fluidos refrigerantes, vamos direcionar o nosso estudo para ao que realmente interessa nossa pesquisa, que é apresentar resultados referentes ao fluido R410A e R32.

2.4.3 SELEÇÃO DE FLUIDOS

2.4.2.1 Fluido R410A

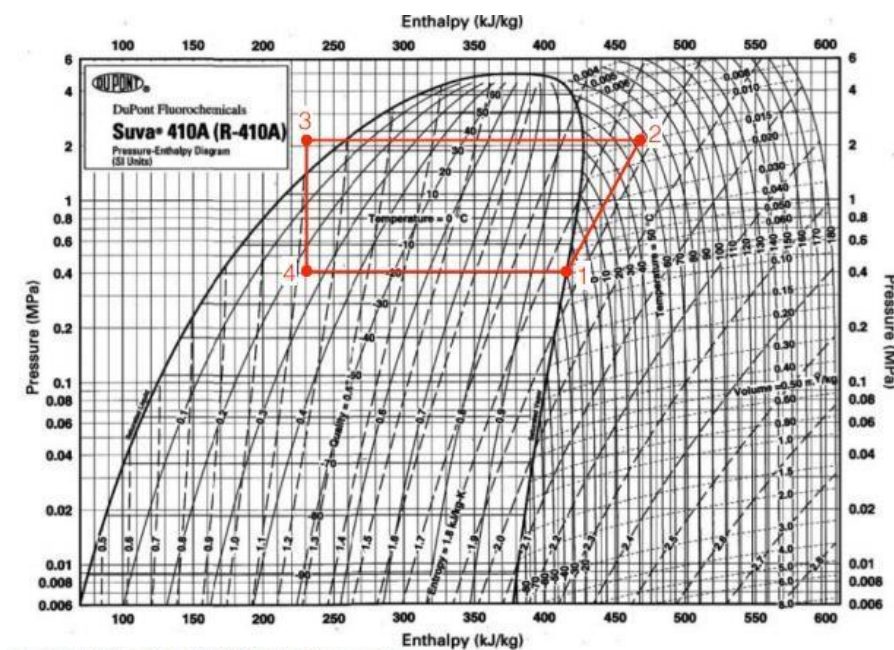
Conforme Bitzer (2018), o fluido R410A é um HFCs com GWP igual a 2088 (IPCC, 2015) e ODP nulo, dessa forma não contribui para a destruição da camada de ozônio. Essa característica influenciou grandemente na sua alta de venda no mercado de ar condicionado, utilizado em sistemas de médio porte. Composto pelos fluidos R32 (Difluorometano) e R125 (pentafluoroetano), (50-50% em massa), esse HFC é uma mistura quase azeotrópica, com temperatura de glide $< 0,2$ K, relativamente pequena comparada a outras misturas de HFCs. Mesmo assim, não é recomendado o complemento de carga em caso de vazamento de fluido.

A capacidade de refrigeração do R410A é muito grande. Os sistemas que operam com esse fluido podem ser menores e também utilizarem um valor inferior de massa, comparando aos outros fluidos.

O R410A requer uma atenção especial em relação à pressão da saturação para as faixas de operação em ar condicionado. Em sistemas mais elevados precisamos ter uma atenção redobrada quanto ao dimensionamento das tubulações. Apesar de algumas restrições o R410A tornou-se o fluido mais utilizado no mundo (ZHAO; ZENG; YUAN, 2015).

De acordo com a ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) 34/2010, a classificação do R410A é de segurança A1, apresentando, dessa forma, baixo nível de toxicidade e uma baixa inflamabilidade. A figura abaixo mostra essas especificidades.

Figura 9 - Apresenta um diagrama LnP-h de um ciclo de compressão de vapor ideal do fluido R410A.



Fonte: Escola Politécnica da universidade de São Paulo

- Fluido R410A

Coefficiente de Eficácia – COP

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_6}{h_3 - h_1}$$

$$\text{COP} = \frac{425 - 235}{\quad}$$

Potência Frigorífica R410

$$Q_e = (h_1 - h_4)$$

$$Q_e = (425 - 235)$$

$$Q_e = 190$$

$$Q_e = 190 \text{ KJ/Kg}$$

465 – 425

$$\text{COP} = \frac{190}{40}$$

$$\text{COP} = 4,75$$

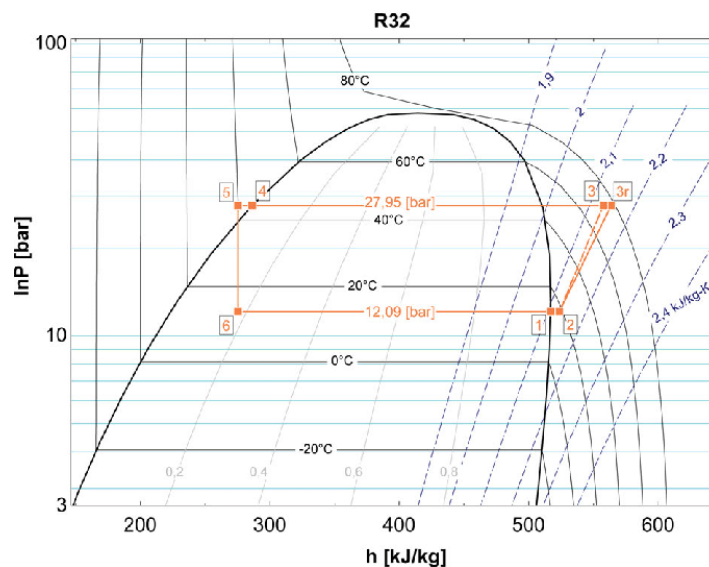
2.4.2.2 Fluido R32

De acordo com as pesquisas realizadas, vimos que o fluido R32 desperta grande interesse na indústria mundial pelo seu notável e baixo impacto ambiental. O R-32 é um fluido refrigerante HFC puro, e assim é utilizado em condicionadores pequenos, e também é usado como componente em misturas de HFC.

Segundo a ASHRAE 34/2010, o R32 tem classificação de segurança A2L. Apresentando, dessa forma, baixo nível de toxicidade e baixa inflamabilidade com pouca propagação de chama. A Fig. 9 apresenta o diagrama pressão-entalpia do R32.

Figura 11 - Diagrama pressão-entalpia do R32

Na Figura 9 apresentaremos o ciclo de vapor ideal do fluido R410A, utilizando-se do VRC ideal e a eficiência do compressor. Ver diagrama LnP-h de um ciclo de compressão de vapor ideal do fluido R32.



Fonte: Canberk Yıldırım, Derya Burcu Özkan and Cenk Onan

A figura 8 mostra um sistema VRF projetado de acordo com o ciclo de refrigeração. Para obter os resultados foi utilizado o diagrama In (P) –h que acaba sendo usado nas análises de um VRC ideal e a eficiência do compressor. Abaixo apresentamos os cálculos do COP e potência frigorífica do fluido R32.

- Fluido R32

Coeficiente de Eficácia - COP

$$\text{COP} = \frac{h1 - h2}{h3 - h1}$$

$$\text{COP} = \frac{515 - 285}{560 - 515}$$

$$\text{COP} = \frac{235}{4}$$

$$\text{COP} = 5,1\%$$

- Potência Frigorífica R32

$$Q_e = (h1 - h6)$$

$$Q_e = (515 - 285)$$

$$Q_e = 230 \text{ kJ/Kg}$$

Após a realização das medições do COP dos dois gases, verificou-se que a eficiência do R32 é cerca de 7,0% maior em relação ao fluido R410A.

O R32 é visto como um fluido cheio de potenciais em substituição ao R410A nos sistemas de refrigeração. O R32 se eleva a uma temperatura maior, o que acaba em resultar em uma carga baixa de fluido refrigerante, 26% menos massa específica no estado de vapor, conseqüentemente, menor vazão mássica com perdas de carga 50% mais baixas, maior condutividade térmica, aumentando coeficientes de transferência de calor, e menor custo de produção (SILVA, 2018).

Porém, não somente benefícios são apresentados pelo R32, o fluido também tem suas desvantagens em relação ao R410A e, uma delas é a sua limitação em processos de drop-in. O R32, quando entra em processo de compressão, atinge temperaturas muito elevadas, fazendo com que esse aquecimento destrua as propriedades do óleo lubrificante do sistema, elevando dessa forma ao risco de dano ao sistema e conseqüentemente ao equipamento. Além do que, o R32 apresenta uma baixa mistura com o óleo lubrificante POE, utilizado para aplicações com R410A.

Silva (2018) realizou ensaios para comparar os fluidos R410A e R32, com isso, verificou-se uma produção extensa de uma experiência não somente sobre os resultados dos fluidos como também no processo de substituição e adaptação dos gases.

2.5 ENSAIOS DE FLUIDOS R410A E R32

Guo, Weihua; Ji, GaoFeng; Zhan, Honghong; and Wang, Dan (2012), sugerem algumas alternativas para melhorar o desenvolvimento e a confiabilidade de compressores criados para trabalhar com R410A operando com R32 depois de alguns problemas que foram encontrados na substituição desses refrigerante. Propuseram que a aplicação por injeção de vapor no processo de compressão diminuiria a temperatura de descarga do compressor de 118 °C para 102 °C, aumentando a capacidade do compressor em 15% e aumentando a eficiência do ciclo em 7%. Além disso, foi proposto que uma redução na linha de sucção ligada ao mecanismo de compressão scroll reduziria o superaquecimento entre 20 e 30K, diminuindo a temperatura de descarga em até 8K. Essa propositura partiu da investigação que a vazão mássica mais baixa e o superaquecimento do motor seriam as principais causas da alta temperatura de descarga.

Lim e Hern (2013) realizaram testes do fluido R32 como substituto direto do R410A em uma bomba de calor água-água com compressor scroll de 3 TR (10,5 kW), projetada para funcionar nas condições determinadas pela ISSO 13256-2. Quando comparado ao R410A, foi observado um incremento de 14% na capacidade do sistema, devido à melhor capacidade volumétrica do R32. Além disso, houve um aumento de 18% no consumo energético do compressor, o que acarretou um COP cerca de 3% menor. Ao finalizar os testes, observou-se uma mudança na cor do óleo lubrificante juntamente com a formação de sulfetos devido à interação química entre o óleo POE e os componentes internos do compressor, resultado da elevação da temperatura de descarga utilizando o R32 (LIM; HERN, 2013).

BURNS, Larry; AUSTIN, Matt; CHEN, Cheng (2013) realizaram a substituição do R410A por R32 em uma bomba de calor do tipo split de 3 TR (10,5 kW), operada por um compressor do tipo scroll e com óleo POE modificado para operar com R32. Em modo de resfriamento, foi observado um aumento de 3% na capacidade frigorífica juntamente com uma queda de, aproximadamente, 1% na Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER). No modo de aquecimento, constatou-se um aumento de 8% em sua capacidade juntamente com um incremento de 2% em sua Heating Season Performance Factor (HSPF).

Rajendran e Nicholson (2014) fizeram experiências utilizando um compressor do tipo scroll, fabricado para ser utilizado com R410A, de 2.5 TR (9 kW) para realizar teste calorimétrico funcionando com R32. Como resultado, viu-se que o R32 trabalha com

uma capacidade de 3% a 5% acima, obtendo uma queda na EER de, aproximadamente 3% a 5% em todas as condições de teste quando comparado com os resultados obtidos com R410A.

Silva (2018) realizou um estudo experimental de substituição do fluido R410A pelo R32 em um sistema de refrigeração de ar condicionado, utilizando uma bancada experimental por compressão de vapor convencional. Para a realização do experimento, foi utilizado um compressor hermético do tipo scroll e de rotação fixa da empresa Emerson. O modelo do compressor é o ZP49K5-TF5, e possui uma capacidade nominal de 5 TR (~15 kW), projetado para trabalhar com R410A em aplicações de ar condicionado, quando utilizado o R410A, observou-se um incremento de pouco menos de 25 °C entre as temperaturas de descarga mais baixas e mais elevadas, enquanto que, utilizando o R32, é possível observar um incremento de, aproximadamente 35 °C na temperatura de descarga do compressor.

3. METODOLOGIA

A metodologia da nossa pesquisa é bibliográfica de abordagem qualitativa, pois buscamos entender a explicação de um fenômeno da natureza, considerando que objetivamos novos conhecimentos que não nos foi permitido durante esse período crítico de pandemia da COVID 19. Os documentos analisados foram buscados de forma online, em revistas acadêmicas e sites como: Google acadêmico, Scielo, scopus e outros. Coletamos os materiais encontrados e após isso realizamos uma seleção das pesquisas que traziam em seu contexto as nossas palavras chaves: R410A, R32, fluido e substituição. Após essa etapa iniciamos a escrita de nossa pesquisa, para chegarmos a uma investigação concludente do tema.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Métodos e materiais diferentes foram utilizados pelos pesquisadores para realizarem as experiências. Porém, daremos atenção especial ao trabalho de SILVA (2018), que realizou o estudo experimental da substituição do fluido R410A pelo R32 em um sistema de refrigeração de ar condicionado por compressão a vapor. Lembamos que os demais trabalhos não deixam de possuírem suas relevâncias.

Silva (2018) utilizou-se de uma bancada experimental, construída para um único objetivo, que era o de realizar os testes de substituição dos fluidos.

Abaixo apresentamos alguns dos instrumentos e/ou ferramentas utilizadas nos processos de investigações realizados por Silva (2018).

- **Bancada de ciclo de refrigeração por compressão à vapor convencional;**

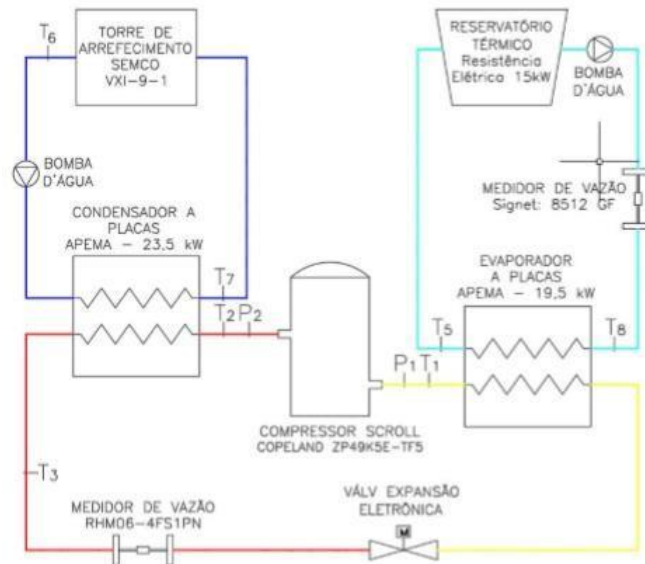
A bancada experimental utilizada na pesquisa foi construída para avaliar os fluidos alternativos R410A. A bancada foi criada especialmente para realizar o experimento de substituição dos fluidos.

Figura 12 – bancada de ciclo de refirgeração por compressão à vapor utilizada nas pesquisas (SILVA, 2018).



Fonte: Silva (2018)

Figura 13 – Desenho esquemático de bancada experimental de refrigeração à vapor utilizado pelo pesquisador (SILVA, 2018).



Fonte: Silva (2018)

Os sensores utilizados pelo pesquisador, na bancada experimental, para realizar a medição foram do tipo PT-100, uma termorresistência que apresenta alteração da resistência elétrica quando a temperatura ao qual está submetido varia.

Sensores foram posicionados para garantir o contato direto do fluido com o sensor, para que dessa forma se tome menor tempo de resposta e melhore a qualidade da medição.

Silva (2018) relaciona os seguintes pontos de medições utilizados na bancada experimental: Abaixo relacionamos em tabela:

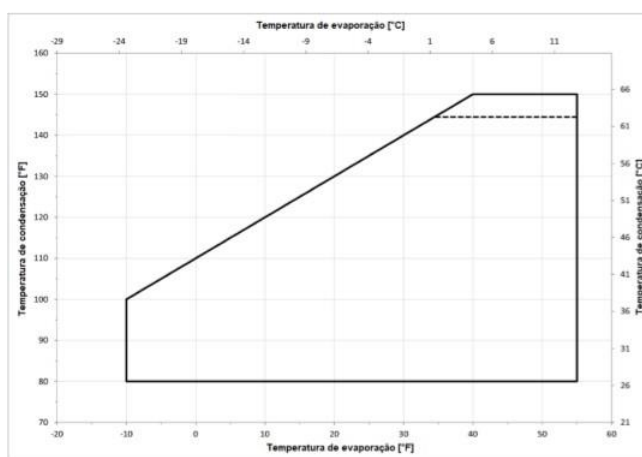
Tabela – 1 Pontos de medição da experimental

PONTO	LOCAL	TIPO DE SENSOR
P1	Pressão de saída do refrigerante no evaporador	Piezo resistivo
P2	Pressão de descarga do compressor	Piezo resistivo
T1	Temperatura de saída do refrigerante no evaporador	PT100
T2	Temperatura de descarga do compressor	PT100
T3	Temperatura do fluido na saída do condensador	PT100

Fonte: Silva (2018)

O compressor utilizado foi do tipo scroll, com velocidade de operação fixa apropriado para operação com 50 ou 60Hz. O modelo é ZP49K5E-TF5 de fabricação da empresa COPELAND. O compressor foi criado para trabalhar com fluido R410A em ar condicionado com temperatura de evaporação superior a -24°C , sendo sua condensação de temperatura de até $65,5^{\circ}\text{C}$, como se observa na figura 12, abaixo:

Figura 14 – Envelope de operação do compressor ZP49K5E-TF5 para funcionamento com fluido R410A.



Fonte: Emerson Climate Technologies (2015).

- Cilindro com Fluídos refrigerantes R410A

Figura 15 – cilindros com fluido refrigerante R410A



Fonte: o próprio autor (2021)

- Cilindro com fluido refrigerante R32

Figura 16 – cilindro com fluido refrigerante R32



Fonte: o próprio autor (2021)

- Fórmula para obtenção do COP; testes calorimétricos

De acordo com Silva (2018), para obtenção do valor do COP, foram utilizadas as seguintes etapas: Para cada fluido refrigerante selecionado, fez-se a coleta de dados termodinâmicos. Esses dados são substituídos na fórmula do COP para obter o valor do coeficiente de desempenho.

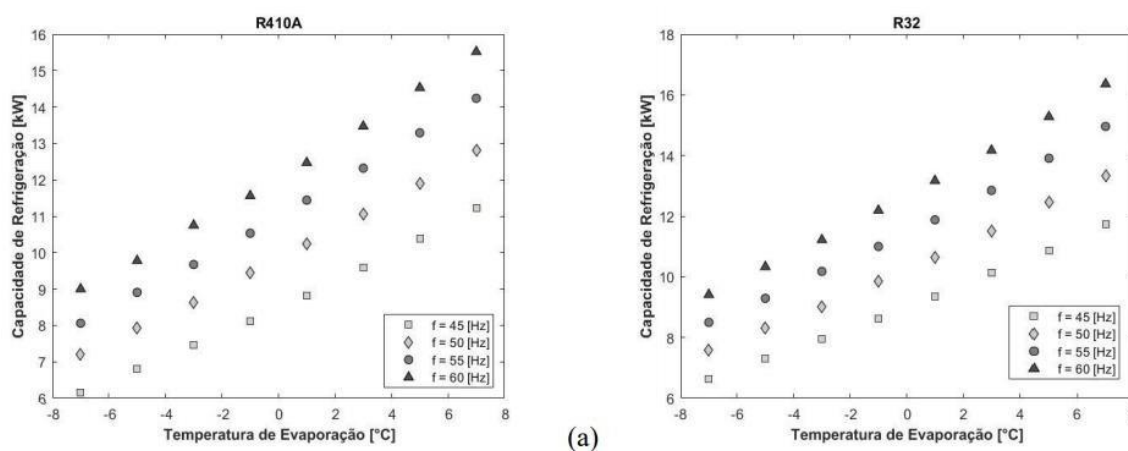
Quanto mais baixo for o valor do COP, menos eficiente será o sistema. A

elevação do COP está condicionada à redução da temperatura de condensação ou ao aumento da temperatura de evaporação (SALVADOR, 1999).

5. RESULTADOS OBTIDOS

A coleta de resultados do estudo de Silva (2108) foi realizada de forma individual, onde eram produtos dessa investigação o fluido R410A e o R32. Nessa pesquisa realizada em uma bancada construída por (SILVA, 2018), especialmente para realizar os testes, podemos identificar as seguintes características dos fluidos pesquisados. Nas figuras apresentadas abaixo podemos mostrar os valores de capacidade de refrigeração, em Kw, considerando cada temperatura de evaporação, a frequência do compressor utilizando o fluido R410. Para cada um dos fluidos refrigerantes foi realizado trinta e dois testes.

Figura 18 – Capacidade de refrigeração para diferentes temperaturas de evaporação e frequências de operação, utilizando R410 (a) e R32 (b).



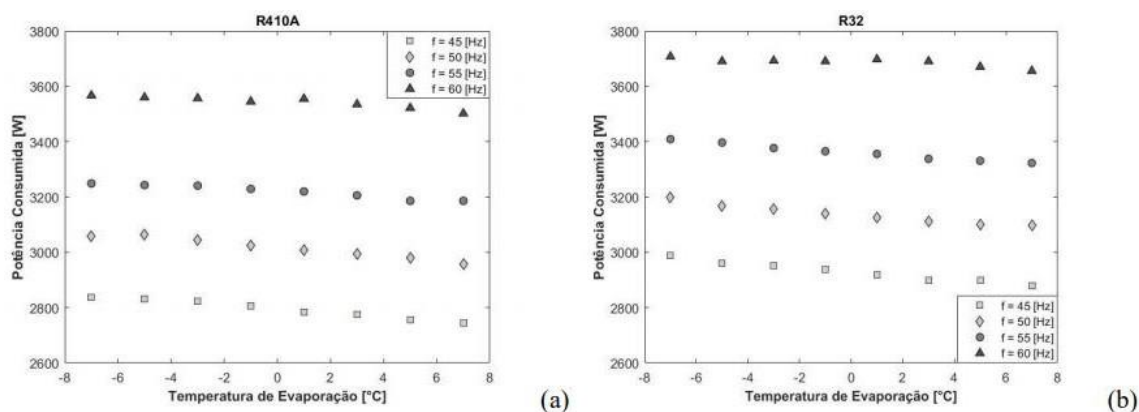
Fonte: ASBRAV (2018)

De acordo com Silva (2018) a figuras 18 apresenta os valores de capacidade de refrigeração em kW para cada uma das temperaturas de evaporação, utilizando R410A. Pode-se observar que para temperaturas de evaporação mais elevadas, a capacidade de refrigeração é maior. Esse resultado era esperado devido ao aumento da diferença nas temperaturas de evaporação e condensação. O aumento dessa diferença devido ao decremento da temperatura de evaporação, ocasionando uma entrada de fluido com título maior no evaporador, causando uma diminuição na diferença de entalpia entre a sua entrada e saída. Como consequência, a capacidade de refrigeração diminui. Para maiores frequências, a capacidade de refrigeração também aumenta. O aumento na frequência, gera um aumento na vazão mássica do sistema, fazendo com que a capacidade de

refrigeração seja maior. Isso pode ser explicado por meio da Primeira Lei da Termodinâmica. A Fig. 19 é semelhante ao gráfico da fig. 18, porém utilizando R32. Pode-se observar que utilizando R32, os valores possuem a mesma tendência que ao utilizar R410A, comprovando a teoria. A partir das Figuras, podemos verificar que os valores mais altos de capacidade frigorífica utilizando R410A foram em torno de 15 kW, enquanto que, utilizando R32, os valores mais altos foram de, aproximadamente 17 kW.

Conforme Silva (2018), a Fig. 19a traz consigo os valores de potência utilizada pelo compressor, em W, para cada uma das temperaturas de evaporação, utilizando R410A. Pode-se observar que para valores de temperatura de evaporação menores, o consumo do compressor é maior. Quanto maior a temperatura de evaporação de um ciclo, mantendo-se a temperatura de condensação constante, menor será a variação de pressão durante a fase de compressão. Dessa forma, espera-se que o consumo do compressor seja menor e, portanto, o resultado obtido está conforme o esperado. Sabendo que a potência é linearmente proporcional à frequência de operação, também se espera que os valores de potência sejam maiores para maiores frequências, o que foi obtido experimentalmente. A Fig. 19b apresenta os dados de consumo para o R32. Pode-se observar que a tendência se manteve, quando comparado aos resultados obtidos com R410A. Os consumos de potência mais altos para o R410A foram de, aproximadamente, 3570 W, enquanto os mais baixos foram de, aproximadamente, 2750 W. Já utilizando o R32, os maiores valores de potência consumida foram de, aproximadamente, 3700 W, enquanto os valores mais baixos foram de, aproximadamente, 2900 W.

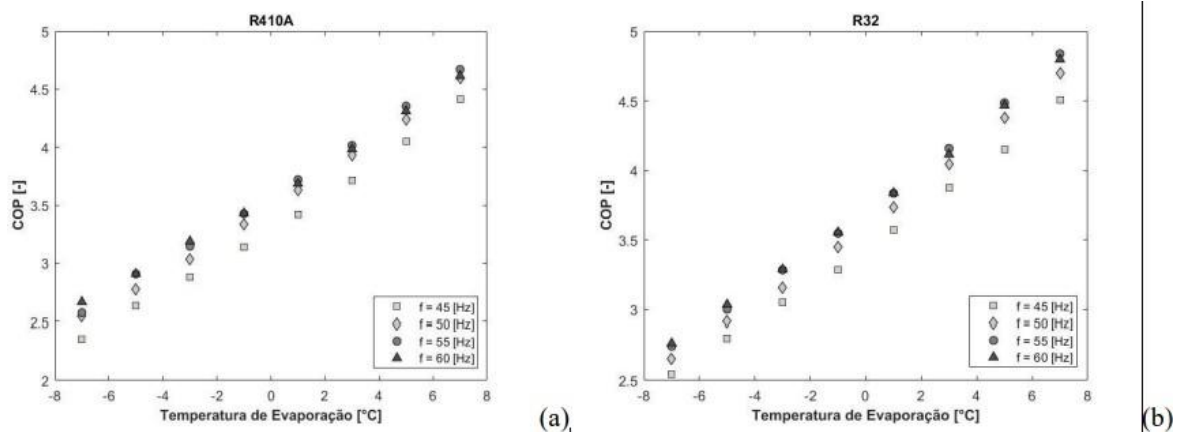
Figura 19 – Consumo de potência do compressor para diferentes temperaturas de evaporação e frequências de operação, utilizando R410A (a) e R32 (b).



Fonte: ASBRAV (2018)

Segundo Silva (2018), a partir dos valores de capacidade frigorífica e de potência consumida pelo compressor, é possível realizar o cálculo do COP do sistema para cada uma das condições de teste. Os valores de COP encontrados para o sistema utilizando R410A e R32 encontram-se na Figura 20. Pode-se observar que para as temperaturas de evaporação maiores, os valores de COP foram mais elevados. Pode-se explicar esse fato, baseando-se nos valores obtidos anteriormente. O COP é uma relação entre a capacidade frigorífica e a potência consumida. Quanto maior a capacidade frigorífica e menor o consumo, maior o COP.

Figura 20 - COP do sistema para diferentes temperaturas de evaporação e frequências de operação, utilizando R410A (a) e R32 (b).

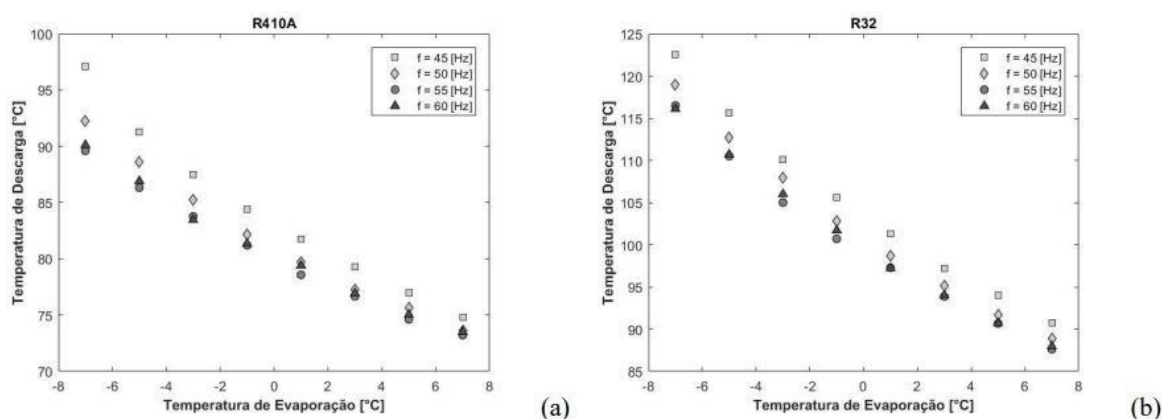


Fonte: ASBRAV (2018)

Podemos observar também, que os valores de COP para o R32 são mais elevados do que os valores para R410A em mesmas condições, principalmente para a frequência de operação mais baixa. Os valores mais altos de COP foram de, aproximadamente, 5, enquanto os valores mais baixos foram de, aproximadamente 2,5, para ambos os fluidos refrigerantes.

Na figura 21, encontram-se os valores da temperatura de descarga do compressor de acordo com a temperatura de evaporação, utilizando R410A e R32. Pode-se observar que para menores temperaturas de evaporação, a temperatura de descarga do compressor é maior, conforme esperado. Como dito anteriormente, quanto menor a temperatura de evaporação, maior será a diferença de pressão na fase de compressão, mantendo-se a mesma temperatura de condensação (SILVA, 2018).

Figura 21 - Temperatura de descarga do compressor para diferentes temperaturas de evaporação e frequências de operação, utilizando R410A (a) e R32 (b).

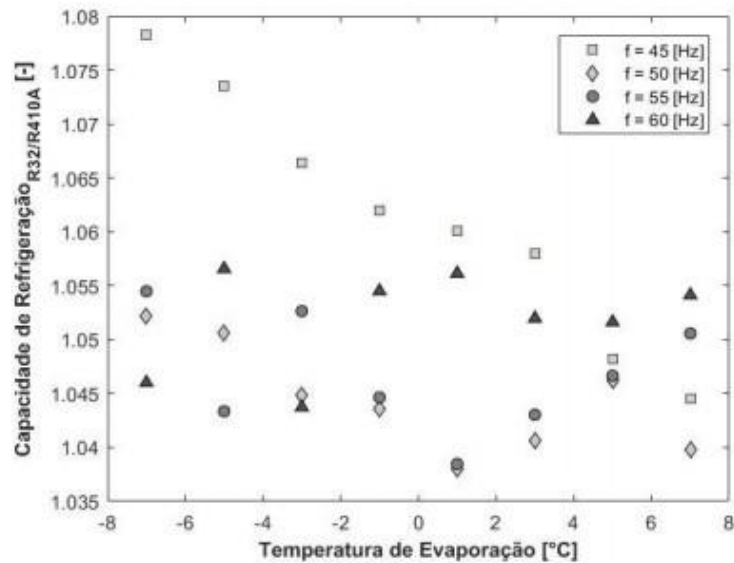


Sabendo-se que, em um ciclo termodinâmico, pressão e temperatura são correlacionadas, quanto maior a diferença de pressão, maior será a diferença de temperatura. Também pode ser observado que para a frequência de 45 Hz, a temperatura foi consideravelmente maior. Esse fato pode ser explicado devido ao aumento dos vazamentos internos de gás durante a fase de compressão (Cho e Kim, 2000). Para o R410A, pode-se observar um incremento de pouco menos de ~ 25 °C entre as temperaturas mais baixas e mais elevadas, enquanto que para o R32, o incremento foi de ~ 35 °C.

5.1 Análises Comparativas

Silva (2018) realizou as análises comparativas dos resultados que consistiu em observar o sistema operando com R410A e operando com R32, comparando os resultados obtidos para ambos os casos. Na figura 21 estão apresentados os valores da relação entre a capacidade de refrigeração utilizando R32 e R410A. Dessa forma, espera-se que os valores de capacidade frigorífica para o R32 sejam maiores. Os valores obtidos indicaram que a capacidade frigorífica utilizando R32 foram de $\sim 3,8\%$ até $\sim 7,8\%$ maiores.

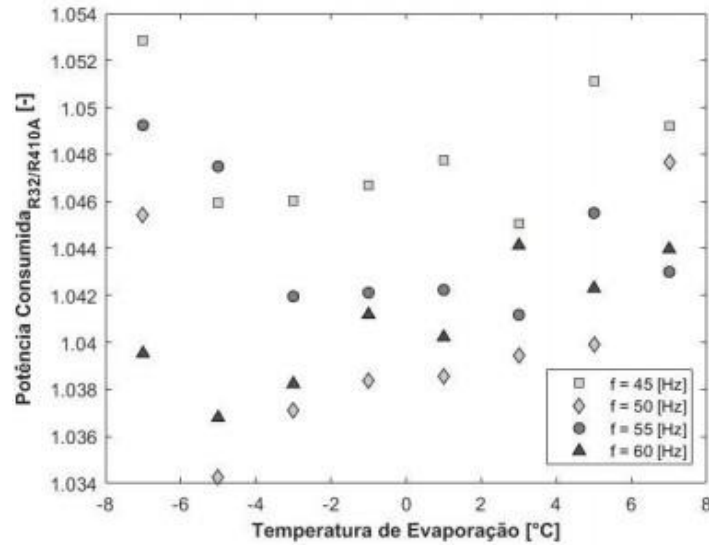
Figura 22 – Valores da relação de capacidade de refrigeração



Fonte: ASBRAV (2018)

Silva (2018) apresenta na figura 22, valores da relação entre a potência consumida pelo compressor utilizando R32 e utilizando R410A, para as diferentes temperaturas de evaporação e diferentes frequências de operação do compressor. É possível observar que, para todas as condições de teste, a potência consumida utilizando R32 foi entre ~3,3% e ~5,3% maior, como esperado. Esse fato pode ser explicado aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica no compressor. Apesar do R32 possuir um volume específico maior do que o R410A e, conseqüentemente, apresentar menor vazão mássica, as diferenças de entalpia do R32 na entrada e na saída são maiores do que as diferenças do R410A (SILVA, 2018).

Figura 23 – Relação entre as potências consumidas utilizando R32 e R410A, respectivamente, para diferentes frequências de operação e diferentes temperaturas de evaporação.

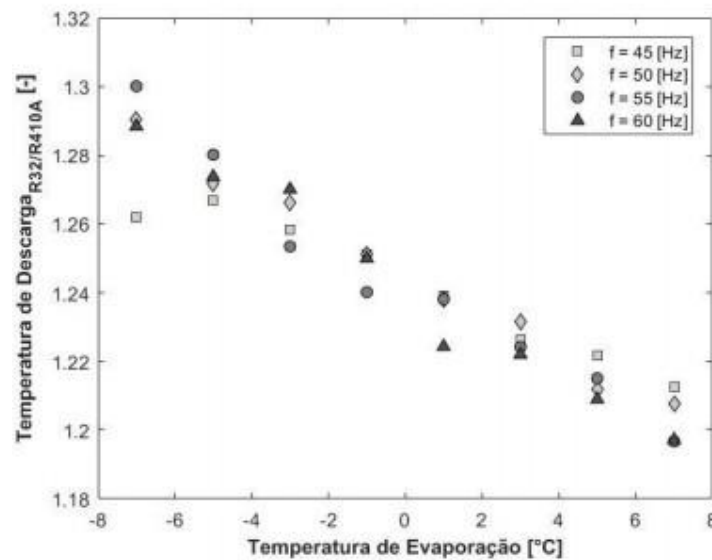


Fonte: ASBRAV (2018)

Na figura 23, Silva (2018) explica o fato aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica no compressor. Apesar do R32 possuir um volume específico maior do que o R410A e, conseqüentemente, apresentar menor vazão mássica, as diferenças de entalpia do R32 na entrada e na saída são maiores do que as diferenças do R410A. Isso pode ser explicado devido ao fato da compressão ocorrer isentropicamente, sendo que, as linhas isentrópicas para o R32 possuem curvas mais acentuadas na região de vapor superaquecido, quando comparadas às curvas isentrópicas do R410A nessa mesma região.

Na Fig. 24, Silva (2018) apresenta os valores da relação entre a temperatura de descarga do compressor utilizando R32 e utilizando R410A, respectivamente, para diferentes temperaturas de evaporação e diferentes frequências de operação.

Figura 24 - Relação entre as temperaturas de descarga utilizando R32 e R410A, respectivamente, para diferentes temperaturas de evaporação e diferentes frequências de operação.

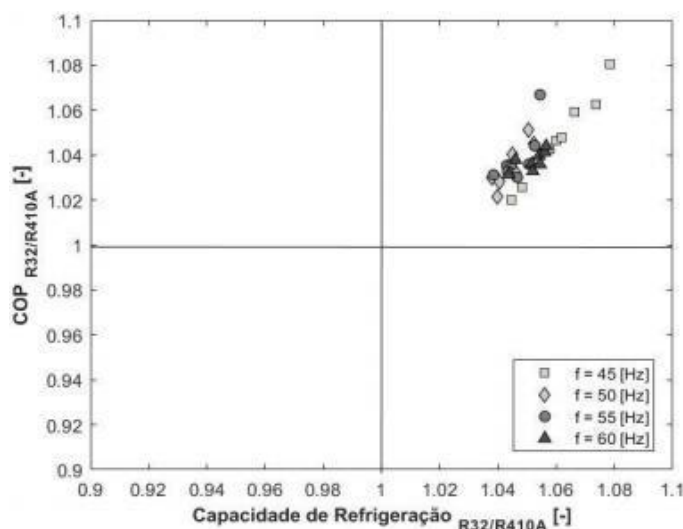


Fonte: ASBRAV (2018)

Para fazer uma análise de qual fluido possui a melhor performance nas condições de teste realizadas, podemos fazer uma análise dos valores de COP e de capacidade refrigerante para ambos os fluidos em todas as condições, visto que, esses são os principais parâmetros utilizados na avaliação de um sistema de refrigeração, (SILVA, 2018).

Na Fig. 25, Silva (2018) mostra que todos os valores obtidos ficaram no primeiro quadrante do gráfico. Isso significa que, para todas as condições analisadas, houve um aumento no COP e na capacidade de refrigeração e, portanto, pode-se falar que houve uma melhora na performance do sistema ao utilizar o R32.

Figura 25 - Valores da relação de COP e relação de capacidade de refrigeração para todas as condições de teste analisadas.



Fonte: ASBRAV(2018)

5.1.1 Tewi

Conforme Silva (2018), para calcular o TEWI, a taxa de vazamento anual foi considerada em 7% para ambos R32 e R410A. Esse valor foi utilizado pois o sistema utilizado é um chiller, com aplicação para refrigeração típica (“Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) 2012”, 2012). O GWP para o R32 é 675, enquanto que o GWP para o R410A é 2088, como dito anteriormente. A carga de fluido refrigerante do R410A foi 2,045 kg, enquanto do R32 foi 1,500 kg. A vida útil do equipamento foi considerada em 10 anos, com 70% do fluido refrigerante recuperado ao final da vida útil. Para calcular o consumo de energia elétrica anual do equipamento, utilizou-se a potência consumida em duas condições de teste distintas: 60 Hz à 7° C e 60 Hz à -7° C. A potência consumida foi multiplicada pela quantidade de horas operantes por ano. Foram consideradas 3600 horas de operação. Para calcular as emissões de CO₂, foi utilizada a matriz energética brasileira, 0,073 kgCO₂ /kWh. Para o R410A, o TEWI obtido foi de, aproximadamente, 13,47 tonCO₂. Para o R32, o TEWI obtido foi de, aproximadamente, 10,60 tonCO₂, ou seja, cerca de 22% menor do que para o R410A. Dessa forma, mesmo com o consumo de energia maior do R32, o que aumenta o seu impacto indireto, o efeito total ao meio ambiente desse fluido é menor, devido ao seu impacto direto consideravelmente menor. O decréscimo no impacto direto é devido à

menor carga de fluido refrigerante e ao menor GWP, (SILVA, 2018).

6. CONCLUSÕES

Após realizarmos as observações dos estudos que tratavam da substituição de fluidos R410A e R32, decidimos tomar como fonte a pesquisa realizada por Silva (2018), considerando que não foi possível realizarmos a criação de uma bancada experimental, em decorrência da situação delicada que estamos vivendo, durante esse decorrer de 01(um) ano de pandemia da COVID 19. Com isso obtemos as seguintes conclusões:

- Impacto Ambiental – conclui-se que o R32 pode ser um possível substituto direto do R410A para aplicações de sistemas de resfriamento, considerando seu menor impacto ao meio ambiente;
 - Capacidades Frigoríficas – o fluido R32 apresentou maiores capacidades frigoríficas e maiores valores de COP quando comparado ao R410A;
 - Eficiência Energética – O fluido R32 possui uma eficiência energética maior que o R410A, diminuindo dessa forma o volume de refrigerante por cada kW, ou seja, tem uma densidade muito menor, o que requer menos refrigerante.
- 5.2 Inflamabilidade - O fluido R410A não é inflamável. O R32 é um fluido de baixa inflamabilidade e toxicidade, classe 2L. O R410A é classe 1 L, não inflamável. Possui uma classificação da ASHRAE34 e IS0817.
- 5.3 Capacidade Volumétrica - O fluido R32 tem capacidade volumétrica melhor do que o R410, isso pode resultar em tamanho menor da tubulação frigorífica, diâmetros menores, aumentando a eficiência.

A análise do TEWI nos mostra, com relação aos impactos ambientais, que são menores quando utilizando R32 ao invés de R410A. Isso é principalmente devido ao menor GWP e menor carga de fluido refrigerante, reduzindo impactos diretos. Por outro lado, o impacto indireto do R32 é maior devido ao maior consumo de potência (SILVA, 2018).

REFERÊNCIAS

- ASHRAE. 1997. Ashrae Handbook: 1997 Fundamentals. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, 1997.
- BRANDÃO, M. M. *Modelagem numérica de sistemas de refrigeração por compressão de vapor*. 2005. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2005.
- BURNS, Larry; AUSTIN, Matt; CHEN, Cheng. RELATÓRIO DE TESTE # 22 Teste de queda do sistema de substituições de R-410A na bomba de calor do sistema dividido. **Preparado para AHRI Low-GWP AREP. AHRI** , 2013.
- CANBERK Yıldırım, DERYA Burcu Özkan & CENK Onan (2017): Theoretical study of R32 to replace R410A in variable refrigerant flow systems, International Journal of Ambient Energy, DOI: 10.1080/01430750.2016.1269682
- CLUBE DA REFRIGERAÇÃO. *Eletrodoméstico e compressores se transformam em novos produtos*. Revista Clube da refrigeração São Paulo: n118, p 17-20. Disponível em: http://www.clubedarefrigeracao.com.br/wp-content/blogs.dir/1/files_mf/1404831112CR118sitenovo.pdf. Acesso em: 12 nov. 2016.
- CLUBE DA REFRIGERAÇÃO. *História da refrigeração*. São Paulo. Não paginado. Disponível em: <http://www.clubedarefrigeracao.com.br/apresentacao>. Acesso em: 12 nov.2016.
- CORRÊA, J. E. *Refrigeração e Climatização*. 2010. UNIVERSIDADE FEDERAL DOPARÁ. Faculdade de Engenharia Mecânica.
- COSTA, E. C. *Refrigeração*. 3 ed. São Paulo: Ed. Edgar Blucher Ltda, 1982. 322p.
- FERREIRA, T. I. B. *Simulação da performance de um condicionador de ar operando com fluido refrigerante r-410a em substituição ao r-22*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2012.
- FIORELLI, F. A. S. *Análise do escoamento de fluidos refrigerantes alternativos ao HCFC 22 em tubos capilares adiabáticos*. 2000. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
- GENIÊR, F. S. *Ciclos de refrigeração: conceitos e estudos de eficiência*. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.
- GOSNEY, W.B., *Principles of Refrigeration*, London, Cambridge University Press, 1982.
- Guo, Weihua; Ji, GaoFeng; Zhan, Honghong; and Wang, Dan, "R32 Compressor for Air conditioning and Refrigeration applications in China" (2012). International Compressor Engineering Conference. Paper 2098.

HERMES, C. J. L. *Uma metodologia para a simulação transiente de refrigeradores domésticos*. 2006. 297f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

LIM, E.; HERN, S. **System Drop-in Test of Refreigerant Blend R-32/R-134^a (95/5), R-35 and DR-5 in Water-to-Water Heat Pump**. AHRI Low-GWP AREP Test Report #16 2013.

MACHADO, J. C. B. *Análise de desempenho de um refrigerador de pequeno porte com dropin de refrigerantes hidrocarbonetos*. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

MACHADO, H. A. **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro, 2009. (apostila)

MARQUES, J. C. B. *Análise de desempenho de um refrigerador de pequeno porte com dropin de refrigerantes hidrocarbonetos*. 2010. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010

MARTINHO, L. C. S. *Modelagem, simulação e otimização de refrigeradores por absorção*. 2013. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 2013.

MENDES, T. *Diagnóstico termodinâmico aplicado a um sistema de refrigeração por compressão de vapor*. 2012. 204f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais. 2012.

NUNES, T. K. **Modelagem, simulação e otimização de sistemas de refrigeração por compressão de vapor**. 2015. 94f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

PANATO, V. H. *Análise experimental da operação de substituição do R22 em um sistema de refrigeração operando com o compressor scroll*. 2015. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais 2015.

PIRANI, M. J. *Refrigeração e Ar Condicionado: Parte I Refrigeração*. (2001).

RAJENDRAN, R.; NICHOLSON, A. Compressor Calorimeter Test of Refrigerant R32 in a R-410A Scroll Compressor. AHRI Low-GWP AREP Test Report #36, 2014.

SALVADOR, F. *Projeto de um sistema de refrigeração industrial com “set-point” variável* 1999. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica)- Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

SARBU, I. A review on substitution strategy of non-ecological refrigerants from vapour compression-based refrigeration, air-conditioning and heat pump systems. *International Journal of Refrigeration*, v. 46, 123 e141, 2014.

SELLENT, J. J. **Refrigerador de bebidas de alto rendimento**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Medianeira. 2011.

SILVA, H. D. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. Rev. bras. polít. int. vol.52 no.2 Brasília July/Dec. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-73292009000200009.

SILVA, Marco Tulio Gama et al. **Avaliação experimental do desempenho do R-32 como substituto do R-410A em um sistema de refrigeração.** 2019.

SILVA, J. C.; SOUZA, G. J.; ROCHA, S. P. *Desenho técnico para refrigeração e climatização.* 1.ed. São José: [S.n.], 2014. 134p.

SILVA, F. P. **Análise da eficácia de um refrigerador doméstico com condensador modificado:** Revestimento com meio poroso dissipativo. 2014. 79f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2014.

SILVA, H. D. Protocolos de Montreal e Kyoto: **pontos em comum e diferenças fundamentais.** Rev. bras. polít. int. vol.52 no.2 Brasília July/Dec. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-73292009000200009. Acesso em: 10 nov. 2016.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. *Refrigeração Industrial.* 2 ed. São Paulo: Ed. EdgarBlucher Ltda, 2002.

STOECKER, W. F.; JONES, J.W. *Refrigeração e ar condicionado.* São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

VENTURINI, O. J.; PIRANI, M. J. *Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial.* Rio De Janeiro: Eletrobrás, 2005. 316p.

Canberk Yıldırım, Derya Burcu Özkan & Cenk Onan (2017): **Theoretical study of R32 to replace R410A in variable refrigerant flow systems, International Journal of Ambient Energy,** DOI: 10.1080/01430750.2016.1269682

<https://www.edisciplinas.usp.br/>. Acessado em 13/08/2021