



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**JOYCE DUTRA RODRIGUES**

**ANÁLISE DO IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES  
FLUIDOS REFRIGERANTES NO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE  
UMA CÂMARA FRIGORÍFICA**

**OURO PRETO - MG  
2024**

**JOYCE DUTRA RODRIGUES**

**joycedutra230@gmail.com**

**ANÁLISE DO IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES FLUIDOS  
REFRIGERANTES NO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE UMA CÂMARA  
FRIGORÍFICA**

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Mecânica  
da Universidade Federal de Ouro Preto  
como requisito para a obtenção do  
título de Engenheiro Mecânico.

**Professor orientador:** DSc. Luís Antônio Bortolaia

**OURO PRETO – MG  
2024**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R696a Rodrigues, Joyce Dutra.

Análise do impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica. [manuscrito] / Joyce Dutra Rodrigues. - 2024.

134 f.: il.: color., gráf., tab.. + apêndice. + anexo.

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio Bortolaia.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Refrigeração. 2. Frigoríficos. 3. Dinâmica dos fluidos - Fluidos refrigerante. 4. Refrigerante. I. Bortolaia, Luís Antônio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Joyce Dutra Rodrigues

### Análise do impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 30 de Janeiro de 2024

#### Membros da banca

DsC. Luís Antônio Bortolaia - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
DsC. Elisângela Martins Leal (Universidade Federal de Ouro Preto)  
DsC. Luiz Joaquim Cardoso Rocha (Universidade Federal de Ouro Preto)

Luís Antônio Bortolaia, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06/02/2024



Documento assinado eletronicamente por **Luís Antonio Bortolaia, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2024, às 09:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0663974** e o código CRC **0D6202B6**.

Agradeço a Deus por mais esta batalha vencida e dedico essa conquista aos meus pais, aos meus irmãos e ao meu sobrinho e aos meus amigos e meus animais de estimação pelo apoio durante mais esta jornada.

## AGRADECIMENTO

A vida pode ser definida como um livro com início, meio e fim sendo dividida em capítulos e nesse capítulo da minha vida chamada jornada universitária experimentei tantos momentos de alegrias e tristezas que me proporcionaram uma nova perspectiva do mundo. Durante jornada pela universidade e em outros âmbitos da vida minha contei com o apoio e o incentivo de diversas pessoas. Com isso, dedico esse trabalho a todos que, de alguma maneira me ajudaram nessa jornada.

Agradeço à Deus por nunca me abandonar e por sempre me dar força nos momentos mais difíceis da minha vida.

Agradeço especialmente pelo apoio dos meus pais e dos meus irmãos que sempre me incentivaram a seguir meus estudos. Sem eles talvez não chegaria tão longe.

Agradeço também a toda a minha família como meu sobrinho, primos, primas, tios e tias.

Gostaria de agradecer também aos meus animais de estimação (minhas cachorras amadas amora, ameixa e pantera) que apesar de não falarem, me deram suporte em todos os momentos.

Um agradecimento especial ao meu orientador Luís Antônio Bortolaia pelos ensinamentos durante as aulas que despertou em mim o interesse para a realização deste tema do trabalho e também pelo apoio, incentivo e orientação durante a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os alunos da engenharia mecânica que tive contato durante a graduação, mas gostaria de agradecer exclusivamente à Rafael Tukkooff, Welton, Gabriel Teixeira, Gabriel Heleno, Maicon, Franco, Igor, Kevin Delano e Luís Eduardo (Led).

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Mecânica pelos ensinamentos no decorrer do curso que foram cruciais para meu aprendizado.

Agradeço aos meus amigos de infância pelos conselhos e incentivos.

Agradeço as minhas amigas do ensino médio principalmente Marielly e Dayane que continuaram presentes na minha vida.

Um agradecimento especial aos professores e amigos que conheci no cursinho humanista, principalmente minha amiga Ana Carolina.

Gostaria de agradecer aos amigos que fiz na empresa júnior da mecânica, a DIFERENCIAL E.J, e também aos amigos do Engenheiro Sem Fronteiras onde conheci pessoas maravilhosas principalmente Emanuelle, Izabela e João Paulo.

Gostaria de agradecer a todos os amigos que fiz na UFOP, principalmente Gabriela Tavares e Pedro.

Gostaria de agradecer aos meus amigos Gabriela Barreto, Elvis e Tarciane do grupo lendário (hmmmm rosquinha) pelo grande apoio durante toda a minha graduação e também pelos conselhos.

Um agradecimento especial para todos os professores da Escola Municipal Izaura Mendes e da Escola Estadual Dom Pedro II que sempre me incentivaram e me deram apoio e pelos ensinamentos.

*“Até os jovens se cansam, e os moços tropeçam e caem, mas os que confiam no Senhor recebem sempre novas forças. Voam nas alturas como águias, correm e não perdem as forças, andam e não se cansam.”*

ISAÍAS 40:30-31

## RESUMO

A refrigeração é uma área de importância na engenharia, desempenhando um papel fundamental e essencial para a sociedade moderna sendo um processo que tem como objetivo remover calor. O funcionamento dos sistemas de refrigeração consiste na utilização de fluidos refrigerantes com o objetivo de retirar calor do ambiente que está sendo resfriado. Os avanços na engenharia possibilitaram a ampliação dos métodos de refrigeração, com destaque para as câmaras frigoríficas, fundamentais na conservação de produtos. A utilização de *softwares* para simulação em refrigeração, principalmente em câmaras frigoríficas, tem sido cada vez maior para auxiliar nos processos. O presente estudo tem como objetivo principal realizar o estudo sobre o impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica. A metodologia do estudo é classificada como uma pesquisa experimental, exploratória e bibliográfica com parâmetros de combinação de abordagens quantitativas e qualitativas. O estudo abrange a seleção e simulação de três fluidos refrigerantes (R-404A, R-448A e R-452A), destinados a uma câmara frigorífica específica, sendo o *software coolselector*®2 empregado para conduzir a simulação levando em consideração as condições externas, dimensões da câmara e outros parâmetros. O R-448A se destaca com uma carga térmica (capacidade de refrigeração) superior, de 3,652 kW, e um aumento percentual de 98% em relação ao R-404A, indicando uma maior capacidade de absorção ou dissipação de calor, e apresenta a menor pressão de evaporação de 1,759 bar sendo a mais próxima a pressão atmosférica, o que oferece vantagens econômicas nos custos de equipamentos. Em contrapartida apresenta maior superaquecimento e potência total mais elevada, de 3,371 kW, representando um aumento de 111% em relação ao R-404A na unidade condensadora, exigindo maior demanda de energia para lidar com cargas térmicas elevadas. O R-452A se destaca com o maior coeficiente de performance, indicando uma maior capacidade de remover calor. O R-404A e o R-452A apresentam pressões de evaporação maiores, sendo respectivamente 2,219 bar e 1,999 bar e apresentam potência total menores, sendo 1,598 kW para o R-404A e 1,582 kW para o R-452A, indicando menores demandas de energia. Em geral os resultados ressaltam a importância de considerar as propriedades individuais dos fluidos refrigerantes ao projetar e operar sistemas de refrigeração em câmaras frigoríficas.

**Palavras-chave:** Fluidos refrigerantes. Câmaras frigoríficas. Simulação. *Softwares*. Carga térmica. Coeficiente de performance.

## ABSTRACT

*Refrigeration is an important area of engineering, playing a fundamental and essential role in modern society, as it is a process that aims to remove heat. Refrigeration systems work by using refrigerants to remove heat from the environment being cooled. Advances in engineering have made it possible to expand refrigeration methods, especially cold rooms, which are essential for preserving products. The use of refrigeration simulation software, especially in cold rooms, has been increasing to help processes. The main objective of this study is to study the impact of using different refrigerants in the refrigeration system of a cold room. The study's methodology is classified as experimental, exploratory and bibliographical research with parameters combining quantitative and qualitative approaches. The study covers the selection and simulation of three refrigerants (R-404A, R-448A and R-452A), intended for a specific cold room, with the coolselector®2 software being used to conduct the simulation taking into account external conditions, room dimensions and other parameters. R-448A stands out with a higher thermal load (cooling capacity) of 3.652 kW and a percentage increase of 98% compared to R-404A, indicating a greater capacity for absorbing or dissipating heat, and has the lowest evaporation pressure of 1.759 bar, being the closest to atmospheric pressure, which offers economic advantages in equipment costs. On the other hand, it has greater overheating and higher total power of 3.371 kW, representing a 111% increase over R-404A in the condensing unit, requiring greater energy demand to deal with high thermal loads. R-452A stands out with the highest coefficient of performance, indicating a greater ability to remove heat. R-404A and R-452A have higher evaporation pressures, 2.219 bar and 1.999 bar respectively, and lower total power, 1.598 kW for R-404A and 1.582 kW for R-452A, indicating lower energy demands. Overall, the results highlight the importance of considering the individual properties of refrigerants when designing and operating refrigeration systems in cold rooms.*

*Keywords: Refrigerants. Cold rooms. Simulation. Software. Thermal load. Coefficient of performance.*

## LISTA DE SIMBOLOS

CFCs	Clorofluorcarbonetos
HFCs	Hidrofluorocarbonetos
N	Newton
m <sup>2</sup>	Metros quadrados
Pa	Pascal
kPa	Quilopascal
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)
°F	Graus Fahrenheit
°C	Graus Celsius
lb	Libra
kg	Quilo
pe <sup>3</sup>	Pé cúbico
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
Btu	Unidade Térmica Britânica
kJ	Quilojoule
s	Segundos
kW	Quilowatt
S	Entropia

$v$	Volume específico
$T_c$	Temperatura de condensação
$T_o$	Temperatura de evaporação
$h_1$	Entalpia (kcal/kg; kJ/kg)
$h_2$	Entalpia (kcal/kg; kJ/kg)
$h_3$	Entalpia (kcal/kg)
$h_4$	Entalpia (kcal/kg)
Kcal	Quilocaloria
h	hora
$\dot{Q}_o$	Capacidade frigorífica (kcal/h)
$\dot{m}_f$	Fluxo de massa (kg/h)
EF	Efeito Frigorífico
$\dot{W}_c$	Potência teórica do compressor (kcal/h)
$\dot{Q}_c$	Fluxo de calor rejeitado no condensador (kcal/h)
$\dot{Q}$	Fluxo de calor que penetra na câmara por meio das superfícies (paredes, teto e piso) (kcal/h)
A	Área das superfícies (m <sup>2</sup> )
$\Delta T$	Diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno da câmara (°C)
$R_T$	Resistência térmica (K/kcal/h.m <sup>2</sup> )
K	Kelvin

$\alpha_{ext}$	Coeficiente de convecção externo (kcal/h.m <sup>2</sup> . °C)
$\alpha_{cam}$	Coeficiente de convecção interno (kcal/h.m <sup>2</sup> . °C)
Ka	Condutividade térmica da alvenaria (kcal/h.m <sup>2</sup> . °C)
Ki	Condutividade térmica do isolante (kcal/h.m <sup>2</sup> . °C)
La	Espessura da alvenaria (m)
Li	Espessura do isolante (m)
$\dot{Q}_{tm}$	Carga térmica devido à transmissão de calor
$\dot{Q}_{inf}$	Carga térmica devido à infiltração de ar externo (kcal/dia)
$V_{cam}$	Volume da câmara frigorífica (m <sup>3</sup> )
FTA	Fator de troca de ar de câmaras frigoríficas para conservação (Trocas/dia)
$\Delta H'$	Calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara (kcal/m <sup>3</sup> )
$\Delta T'$	Correção para a diferença de temperatura em câmaras frigoríficas
$\dot{Q}_{prod}$	Carga térmica diária (kg/dia)
$G_M$	Movimentação diária de um determinado produto na câmara (kg/dia)
$c_{p,1}$	Calor específico do produto antes do congelamento (kcal/kg.°C)
$T_{ent}$	Temperatura de entrada do produto na câmara (°C)
$T_1$	Em câmaras de resfriamento, é a temperatura final do produto e para câmaras de congelamento, é a própria temperatura de congelamento do produto
$h_{cg}$	Calor latente do produto (kcal/kg)
$c_{p,2}$	Calor específico do produto após o congelamento (kcal/kg.°C)

$T_2$	Temperatura final do produto congelado (°C)
$G_T$	Quantidade total de produtos na câmara (kg)
$Q_{resp}$	Quantidade de calor liberado pela respiração do produto (kcal/kg.dia)
CV	Cavalo-vapor
$\dot{Q}_{ilum}$	Carga térmica devido à iluminação (kcal/dia)
$\tau$	Tempo de utilização (horas/24 horas)
$\dot{Q}_{pessoas}$	Carga térmica devido à presença de pessoas (kcal/h)
n	Número de pessoas na câmara
q	Calor liberado pelas pessoas (kcal/h.pessoa)
led	Light-Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
ODP	Potencial de degradação da camada de ozônio
HFO	Hidrofluorolefina
L	Largura (m)
Alt	Altura (m)
Hz	Hertz
COP	Coeficiente de performance

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Um dos primeiros refrigeradores domésticos comercializados .....	24
Figura 2: Unidade de conservação de sorvete .....	26
Figura 3: Diagrama de Mollier ideal (pressão-entalpia).....	38
Figura 4: Equipamentos utilizados no ciclo de refrigeração .....	38
Figura 5: Diagrama de Mollier real (pressão-entalpia) .....	39
Figura 6: Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor.....	40
Figura 7: Câmara frigorífica.....	43
Figura 8: Esquema de uma parede de alvenaria de uma câmara frigorífica.....	45
Figura 9: <i>Layout</i> do Software da <i>coolselector</i> ®2.....	56
Figura 10: <i>Layout</i> inicial <i>Software Elgin</i> .....	57
Figura 11: Fluxograma de materiais e métodos.....	66
Figura 12: Câmara Frigorífica - perspectiva 1 .....	68
Figura 13: Câmara Frigorífica - perspectiva 2 .....	69
Figura 14: Unidade condensadora .....	72
Figura 15: Evaporador .....	74
Figura 16: Assistência de carga .....	79
Figura 17: Dados das dimensões e arredores .....	80
Figura 18: Exemplos de lista de produtos disponíveis .....	80
Figura 19: Seleção do produto usado na simulação .....	81
Figura 20: Condições da câmara e dos painéis.....	81
Figura 21: Troca de ar (infiltração) .....	82
Figura 22: Cargas adicionais .....	82
Figura 23: Dados de entrada da unidade condensadora .....	83
Figura 24: Válvulas de expansão.....	84

Figura 25:Evaporador .....	85
Figura 26: Gráfico comparativo da carga térmica .....	89
Figura 27: Carga térmica R-404A de acordo com a temperatura ambiente .....	90
Figura 28: Carga térmica 448A de acordo com a temperatura ambiente .....	90
Figura 29: Carga térmica R-452A de acordo com a temperatura ambiente .....	91
Figura 30: Gráfico Pressão de evaporação (bar) .....	92
Figura 31: Ponto médio de temperatura de evaporação (°C).....	93
Figura 32: Potência total (kW) .....	94
Figura 33: Linha de superaquecimento do R-404 A.....	95
Figura 34: Linha de superaquecimento do R-448 A.....	95
Figura 35: Linha de superaquecimento do R-452 A.....	96
Figura 36: Dados da linha de líquido do R-404A.....	98
Figura 37: Dados da linha de líquido do R 448A .....	99
Figura 38: Dados da linha de líquido do R-452A.....	99
Figura 39: Curva de desempenho do R-404A .....	100
Figura 40: Curva de desempenho do R-448A .....	100
Figura 41: Curva de desempenho do R-452A .....	101
Figura 42: Perda de carga no evaporador .....	102
Figura 43: Dados da linha de sucção do R-404A .....	103
Figura 44: Dados da linha de sucção R-448A .....	103
Figura 45: Dados da linha de sucção do R-452A .....	104
Figura 46: Gráfico da linha de sucção do R-404A .....	104
Figura 47: Gráfico da linha de sucção R-448A .....	105
Figura 48: Gráfico da linha de sucção do R-452A .....	105
Figura 49: Razão de pressão (bar) .....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Processo do fluido refrigerante nos equipamentos de refrigeração .....	28
Tabela 2: Características dos fluidos refrigerantes .....	29
Tabela 3: Pressões de operação de cinco fluidos refrigerantes. ....	31
Tabela 4: Fluidos refrigerantes em ordem de ponto de ebulição.....	32
Tabela 5: Entalpia ( Btu/lb a 5°F[-15°C] ) de cinco fluidos refrigerantes.....	34
Tabela 6: Peso molecular de cinco fluidos refrigerantes .....	36
Tabela 7: Desempenho relativo ao ciclo básico de compressão a vapor para diversos refrigerantes com temperaturas de evaporação e condensação iguais a -15°C e 30°C .....	37
Tabela 8: Condutividade térmica de alguns materiais usados na refrigeração industrial.....	47
Tabela 9: Valores de classificação da qualidade do isolamento.....	47
Tabela 10: Correções para as variações de temperaturas em câmaras frigoríficas expostas à radiação solar.....	48
Tabela 11: Fator de troca de ar de câmaras frigoríficas para conservação.....	50
Tabela 12: Calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara .....	51
Tabela 13: Calor dissipado por motores elétricos .....	53
Tabela 14: Calor de ocupação de pessoas dentro da câmara.....	55
Tabela 15: Especificações gerais da câmara frigorífica .....	70
Tabela 16: Itens e acessórios .....	70
Tabela 17: Especificações técnicas da câmara frigorífica .....	71
Tabela 18: Dimensões da câmara .....	71
Tabela 19: Especificações técnicas da unidade condensadora .....	73
Tabela 20: Especificações técnicas do evaporador.....	75
Tabela 21: Dados climáticos.....	77

Tabela 22: Variáveis e indicadores.....	86
Tabela 23: Carga térmica (kW) .....	88
Tabela 24: Dados da unidade condensadora .....	92
Tabela 25: Dados da pressão de evaporação em termos percentuais em relação ao R-404A ..	92
Tabela 26: Dados da potência total em termos percentuais em relação ao R-404A .....	94
Tabela 27: COP do R-404A.....	97
Tabela 28: COP do R-448A.....	97
Tabela 29: COP do R-452A.....	97
Tabela 30: Perda de carga no evaporador.....	102
Tabela 31: Dados referentes aos pontos do sistema com o R-404A .....	106
Tabela 32: Dados referentes aos pontos do sistema com o R-448A .....	107
Tabela 33: Dados referentes aos pontos do sistema com o R-452A .....	107
Tabela 34: Dados do compressor .....	107
Tabela 35: Dados da razão de pressão em termos percentuais em relação ao R-404A.....	108

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	Formulação do problema .....	19
1.2	Justificativa.....	21
1.3	Objetivos.....	22
1.3.1	Geral .....	22
1.3.2	Específicos.....	22
1.4	Estrutura do trabalho .....	23
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>24</b>
2.1	Refrigeração.....	24
2.2	Aplicações da refrigeração .....	25
2.3	Fluidos refrigerantes .....	27
2.3.1	Caracteísticas dos fluidos refrigerantes .....	29
2.3.2	Classificação dos fluidos refrigerantes .....	29
2.3.3	Propriedades dos fluidos refrigerantes .....	30
2.3.3.1	Pressão.....	31
2.3.3.2	Temperatura .....	32
2.3.3.3	Volume específico.....	33
2.3.3.4	Massa específica.....	33
2.3.3.5	Entalpia.....	33
2.3.3.6	Inflamabilidade.....	34
2.3.3.7	Capacidade de miscibilidade com óleo .....	34
2.3.3.8	Umidade .....	35
2.3.3.9	Odor.....	35
2.3.3.10	Toxicidade.....	35
2.3.3.11	Tendência de Vazamento .....	36
2.3.3.12	Visão geral das propriedades dos fluidos refrigerantes.....	36
2.4	Ciclos de refrigeração .....	37
2.4.1	Balço de energia para o ciclo de refrigeração por compressão de vapor.....	40
2.4.1.1	Capacidade frigorífica .....	40
2.4.1.2	Potencia teórica de compressão.....	41
2.4.1.3	Calor rejeitado no condensador.....	42
2.4.1.4	Dispositivo de expansão.....	42

2.5	Câmaras frigoríficas .....	42
2.6	Carga térmica.....	44
2.6.1	Condições externas e internas do projeto .....	44
2.6.2	Carga térmica devido à transmissão de calor .....	45
2.6.3	Carga térmica devido à infiltração de ar externo.....	49
2.6.4	Carga térmica devido aos produtos .....	52
2.6.5	Cargas diversas .....	53
2.6.5.1	Carga térmica devido à iluminação.....	54
2.6.5.2	Carga térmica devido à presença de pessoas.....	54
2.7	Softwares .....	55
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>58</b>
3.1	Tipo de pesquisa .....	58
3.2	Classificação das pesquisas de acordo com a forma de abordagem de pesquisa .....	59
3.2.1	Pesquisa qualitativa .....	59
3.2.2	Pesquisa quantitativa .....	60
3.2.3	Pesquisa mista .....	61
3.3	Classificação das pesquisas de acordo com seus objetivos .....	61
3.3.1	Pesquisa exploratória.....	62
3.3.2	Pesquisa descritiva.....	62
3.3.3	Pesquisa explicativa.....	63
3.4	Classificação das pesquisas de acordo com procedimentos técnicos .....	63
3.5	Metodologia de pesquisa usados .....	65
3.6	Materiais e métodos.....	66
3.6.1	Descrição da aplicação .....	68
3.6.2	Especificação da câmara frigorífica .....	68
3.6.2.1	Especificações da unidade condensadora.....	72
3.6.2.2	Especificações do evaporador .....	74
3.6.3	Seleção do <i>Software</i> .....	75
3.6.4	Seleção dos fluidos refrigerantes .....	76
3.6.5	Definição dos dados de entrada .....	76
3.6.5.1	Condições externas.....	76
3.6.5.2	Dimensões da câmara.....	77
3.6.5.3	Quantidade de produto .....	77
3.6.5.4	Abertura de porta e circulação de pessoas .....	78

3.6.5.5	Iluminação.....	78
3.6.6	Realização da simulação.....	78
3.6.6.1	Assistência de cálculo de carga térmica da câmara frigorífica .....	78
3.6.6.2	Dimensões e arredores .....	79
3.6.6.3	Seleção de produtos.....	80
3.6.6.4	Condições da câmara e painéis.....	81
3.6.6.5	Troca de ar (infiltração).....	82
3.6.6.6	Cargas adicionais.....	82
3.6.6.7	Revisão dos dados .....	83
3.6.7	Unidade de condensação .....	83
3.6.8	Válvulas de expansão .....	84
3.6.9	Seleção do evaporador.....	85
3.6.10	Simulação com outros fluidos refrigerantes .....	85
3.7	Variáveis e indicadores.....	85
3.8	Instrumento de coleta de dados .....	86
3.9	Tabulação dos dados.....	87
3.10	Considerações finais .....	87
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>88</b>
4.1	Obtenção de dados e análise dos resultados .....	88
4.1.1	Carga térmica.....	88
4.1.2	Unidade condensadora.....	91
4.1.3	Linha de superaquecimento .....	95
4.1.4	Coeficiente de performance (COP) .....	96
4.1.5	Linha de líquido.....	98
4.1.6	Perda de carga no evaporador.....	101
4.1.7	Linha de sucção .....	103
4.1.8	Compressor.....	106
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>109</b>
5.1	Conclusão .....	109
5.2	Recomendações .....	111
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>112</b>
	<b>APÊNDICE A-REVISÃO DOS DADOS DA SIMULAÇÃO.....</b>	<b>117</b>

<b>APÊNDICE B-CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA.....</b>	<b>118</b>
<b>APÊNDICE C-UNIDADE CONDENSADORA (FLUIDO R-404A).....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE D- DADOS REFERENTES AO EVAPORADOR R-404A.....</b>	<b>120</b>
<b>APÊNDICE E-DADOS DO SISTEMA R-404A .....</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE F-DADOS DO SISTEMA R-448A .....</b>	<b>122</b>
<b>APÊNDICE G-DADOS DO SISTEMA R-452A.....</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICE H-UNIDADE CONDENSADORA (FLUIDO R-448 A).....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE I-UNIDADE CONDENSADORA (FLUIDO R-452 A) .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE J-DADOS REFERENTES AO EVAPORADOR R-448A .....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE K- DADOS REFERENTES AO EVAPORADOR R-452A .....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO 1 -TABELA DA QUANTIDADE MÉDIA DE PRODUTO .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO 2 - <i>LAYOUT</i> INICIAL DO <i>SOFTWARE</i> .....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO 3-CARACTERÍSTICAS DA VÁLVULA SOLENOIDE (FLUIDO R-404 A) 130</b>	
<b>ANEXO 4-DADOS TÉCNICOS DA VÁLVULA SOLENOIDE (FLUIDO R-404 A)...</b>	<b>131</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do problema

O aprimoramento de técnicas e o desenvolvimento tecnológico ao longo dos séculos tem sido impulsionado pelo desenvolvimento humano, permitindo assim avanços em diversas áreas de estudo. O campo da engenharia é um setor importante nesse sentido, pois possui diversas ramificações, como a refrigeração, que permitiu avanços significativos em uma variedade de processos empregados na atualidade.

A refrigeração é uma área importante na engenharia, desempenhando um papel essencial e fundamental na sociedade moderna. E segundo Stoecker e Jabardo (2018), a refrigeração é um tipo de processo que envolve a diferença de temperatura. Em outras palavras, é um processo que compreende a transferência de calor entre dois corpos ou pelo ambiente com temperaturas diferentes.

Sob a perspectiva de Dossat (2004), a refrigeração é um processo que implica na remoção de calor, ou seja, tem como objetivo remover calor de um corpo com temperatura mais elevada para um corpo com temperatura inferior. Ainda Dossat (2004), menciona a importância dos sistemas de refrigeração no campo de estudo científico elencando as abrangentes áreas de pesquisas com a finalidade de desenvolver técnicas e materiais eficazes para o controle da temperatura.

A compreensão dos sistemas de refrigeração é fundamental para identificar e solucionar problemas com o objetivo de aprimorar a eficiência do sistema. O funcionamento dos sistemas de refrigeração fundamenta-se pela utilização de fluidos refrigerantes que sofrem transformações ao longo do processo, essas mudanças ocorrem nos dispositivos que compõem este sistema como o evaporador, o compressor, o condensador e dispositivo de expansão, visto que cada um desses dispositivos tem uma função específica no sistema (VILAIN, 2018).

Os fluidos refrigerantes são empregados nos sistemas de refrigeração com o intuito de viabilizar o funcionamento desses sistemas. Conforme Martinelli Jr (2003), o fluido tem como objetivo a realização da absorção de calor do ambiente. Sob a ótica de Dossat (2004), um refrigerante é um corpo capaz de agir como um agente que utiliza a absorção de calor de um corpo para outro, ou seja, transferência de calor.

O desenvolvimento da engenharia propiciou modificações em diversas áreas, a mudança na conservação de produtos foi um grande aspecto desta vertente, possibilitando o estudo mais amplo da área da refrigeração principalmente no desenvolvimento de métodos para aprimorar a conservação de produtos, sendo as câmaras frigoríficas amplamente utilizadas atualmente.

Segundo Vilain (2018), as câmaras frigoríficas são áreas de armazenamento que possuem condições internas sendo controladas por sistemas de refrigeração que são utilizados para diversas aplicações. Ainda Vilain (2018), pontua que as câmaras frigoríficas apresentam dois tipos de funções, um relacionado ao resfriamento e outro ao congelamento, sendo o resfriamento baseado na premissa de resfriar o produto até uma temperatura de conservação específica, geralmente acima do ponto de congelamento do produto enquanto o congelamento está relacionado com o resfriamento do produto até uma temperatura abaixo do congelamento.

A câmara frigorífica tem como objetivo manter ou reduzir a temperatura desejada pelo produto conforme a necessidade do mesmo levando em consideração as cargas térmicas que podem aumentar a temperatura no interior da câmara. Essas cargas podem ser devidas à infiltração de ar devido a abertura da porta, movimentação de pessoas, respiração do produto, iluminação na câmara, motores (ventiladores, empilhadeiras) e fluxo de calor devido à parede, teto e piso (CAMPOS, 2015).

*Softwares* são mecanismos desenvolvidos com a finalidade de ajudar na automatização de diversos projetos, e para a simulação de fluidos refrigerantes e cargas térmicas existem uma variedade de *softwares* que auxiliam nesses processos. Segundo Vilain (2018), para a determinação das parcelas de carga térmica, é possível empregar métodos como a utilização de softwares especializados, planilhas de cálculo e também planilhas de seleção rápida.

Em sistemas de refrigeração compostos pelas câmaras frigoríficas são empregados uma variedade de fluidos refrigerantes, tornando assim a escolha desse fluido um papel fundamental para o desempenho geral do sistema. Com isso é utilizado *softwares* para testes desses fluidos refrigerantes. Diante do exposto, o presente trabalho visa mostrar com a utilização de um *software* como a variação de fluidos refrigerantes influenciam no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica. Com isso surge a seguinte pergunta:

**Qual é o impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica?**

## 1.2 Justificativa

Os sistemas de refrigeração desempenham uma função importante na sociedade atual proporcionando benefícios e facilidades em diversas áreas, uma vez que estão inseridos em vários setores. Como é citado por Vilain (2018, p.13), “a refrigeração tem aplicação em diversos campos da vida humana e se estende desde o uso doméstico até uso industrial e de transporte”.

Segundo Dossat (2004), a refrigeração é um processo com uma extensa história de desenvolvimento ao longo dos anos, porém os sistemas de refrigeração usados antigamente eram compostos por equipamentos grandes e pesados, com alto valor monetário e com baixa eficiência, fatores esses que influenciaram diretamente na limitação dos sistemas de refrigeração restringindo-os a usos de pequenas escalas.

Os estudos dos sistemas de refrigeração possibilitaram o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de equipamentos mais eficientes e eficazes aprimorando as áreas de aplicação. “O desenvolvimento de refrigerantes “seguros” e a invenção do motor elétrico de cavalos-força fracionário, tornou possível a pequena unidade de refrigeração que é tão usada atualmente em aplicações, tais como refrigerantes e congeladores domésticos” (DOSSAT, 2004, p.237).

As câmaras frigoríficas podem ser denominadas como uma categoria da refrigeração de grande importância para a conservação de produtos e amplamente usadas atualmente e conforme Castro (2010), as câmaras frigoríficas podem ser definidas como superfícies de tamanhos variados de acordo com a necessidade, frequentemente utilizadas para armazenamento de produtos.

De acordo com Miller *et al* (2014), um fluido refrigerante pode ser descrito como uma substância que tem a capacidade de absorver calor latente, resultando na mudança de estado físico do fluido que passa do estado líquido para o gasoso, sendo que esse fenômeno ocorre em condições de temperaturas e pressões reduzidas. Os sistemas de refrigeração operam com a introdução de fluidos refrigerantes que tem como função absorver calor de uma determinada área e em seguida liberá-lo em outro local (MILLER *et al*, 2014).

A utilização de fluidos refrigerantes nos sistemas de refrigeração é importante, principalmente para as câmaras frigoríficas onde são empregados para garantir o funcionamento do sistema. E sob a perspectiva de Ferraz (2008, p.6), “fluido refrigerante é o fluido que absorve calor de uma substância do ambiente a ser resfriado”. Também Ferraz (2008), elenca que não

existe um fluido refrigerante que reúna todas as propriedades desejáveis, ou seja, existem diversos tipos de fluidos para diferentes aplicações.

“O desenvolvimento de *software*, bem como outras Ciências, empregou diversas mudanças e adaptações para melhorar, facilitar e adaptar-se ao cotidiano dos profissionais que realizam esse trabalho” (MORAIS e ZANIN, 2020, p.13). A utilização de *softwares* para simular o comportamento de diversos fluidos refrigerantes tem como objetivo fazer uma análise do impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica. Esse procedimento é usado para a otimização do sistema permitindo uma avaliação mais profunda dos diversos fatores que podem influenciar no desempenho deste.

Os fluidos refrigerantes desempenham papel fundamental nos sistemas de refrigeração. Nesse contexto, é importante ressaltar que cada fluido refrigerante apresenta propriedades individuais que exercem influência no desempenho e na eficiência operacional do sistema.

A avaliação de diferentes fluidos refrigerantes em sistemas de refrigeração pode ser conduzida por meio da utilização de *softwares* especializados com a finalidade de realizar uma análise mais detalhada do desempenho e das características operacionais. Essa abordagem visa selecionar de forma mais criteriosa o fluido refrigerante mais adequado para o sistema de refrigeração.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Realizar o estudo sobre o impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica.

#### **1.3.2 Específicos**

- Desenvolver uma revisão bibliográfica sobre: refrigeração e suas aplicações, fluidos refrigerantes enfatizando suas características, aplicações e propriedades, ciclos de refrigeração, câmaras frigoríficas, carga térmica e utilização de *softwares* para realização de simulações;
- Selecionar a câmara frigorífica;
- Efetuar a coleta dos dados da câmara que será utilizada para o projeto;
- Realizar a escolha do *software*;

- Escolher os fluidos refrigerantes que serão usados no sistema de refrigeração;
- Definir os dados de entrada para a realização da simulação;
- Fazer a simulação do sistema de refrigeração;
- Obter os dados da simulação e analisar os resultados obtidos.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos sendo: introdução, revisão bibliográfica, metodologia, resultados e discussões, conclusões e recomendações e referências bibliográficas.

O primeiro capítulo, compreende a introdução, sendo apresentados a formulação do problema, a justificativa e seus objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo, faz referência a revisão bibliográfica enfatizando tópicos como refrigeração e suas aplicações, fluidos refrigerantes destacando suas características, aplicações e propriedades, ciclos de refrigeração, câmaras frigoríficas, carga térmica e a utilização de *software* para realização de simulações.

O terceiro capítulo aborda a metodologia de pesquisa, iniciando com uma revisão bibliográfica das diferentes abordagens de pesquisa, incluindo a classificação conforme as abordagens, objetivos e procedimentos técnicos. Descreve também a metodologia de pesquisa utilizada no estudo e os materiais e métodos adotados no estudo que são fundamentais para a obtenção dos resultados desejados. Este capítulo encerra-se abordando as variáveis e indicadores utilizados, os instrumentos de coleta de dados e a tabulação dos dados.

No quarto capítulo são apresentados os resultados e discussões gerados a partir das simulações demonstrando os dados obtidos e a análise desses resultados.

O quinto capítulo apresenta as conclusões decorrentes dos resultados e das análises dos dados, além de fornecer recomendações para pesquisas futuras.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Refrigeração

A refrigeração é uma tecnologia versátil e indispensável que exerce influência direta em diversas áreas, sendo um processo que evoluiu ao longo da história da humanidade com evidências históricas de seu uso por civilizações antigas ao longo do tempo. Segundo Ferraz (2008), há registros que indicam que as civilizações como as chinesas, gregas e romanas, faziam uso de gelo natural colhidos no alto das montanhas, para a preservação de alimentos, com destaque para bebidas como chás.

Diferentemente de outras civilizações a egípcia devido a sua localização geográfica e a sua condição climática não tinha acesso ao gelo natural, empregando outro método para enfrentar o desafio do resfriamento, recorrendo a evaporação da água como técnica de obter o efeito de resfriamento com o auxílio de vasos de barro (FERRAZ, 2008).

Segundo Miller *et al* (2014), por volta de 1920, um dos marcos pioneiros no desenvolvimento dos sistemas de refrigeração foi a criação da primeira unidade de refrigeração, marcando um avanço significativo em relação à prática anterior, que dependia principalmente do gelo como meio de resfriamento. Supreendentemente ainda nos dias atuais alguns refrigeradores utilizam princípios semelhantes aos empregados na década de 1920. A figura 1 ilustra um dos primeiros refrigeradores domésticos comercializados.



Figura 1: Um dos primeiros refrigeradores domésticos comercializados  
Fonte: Miller *et al* (2014).

Na figura 1 observa-se um dos primeiros modelos de refrigeradores comercializados fabricados, sendo factível a observação da unidade no seu topo que o identificava como um refrigerador e não uma caixa de gelo.

De acordo Miller *et al* (2014), a refrigeração é um processo que envolve a remoção de calor de um ambiente onde sua presença é indesejável ou prejudicial com o propósito de efetuar o resfriamento desse espaço. Ainda Miller *et al* (2014), exemplifica que no processo de refrigeração ainda existe uma parcela de calor transferida que é indesejada para o sistema, mas é deslocada para um local onde não prejudica o sistema de refrigeração.

Sob a ótica de Tassini (2012), a refrigeração pode ser entendida como um processo físico que envolve a transferência de energia térmica de forma contínua de um corpo, seguida pela transferência de calor extraída de outro corpo, esses processos são realizados de modo a manter ou reduzir a temperatura de forma que a mesma seja inferior a temperatura ambiente ao redor.

De acordo com Miranda (2017), a refrigeração é um processo que consiste na diferença de temperatura, isto é, se baseia na transferência de calor entre os ambientes ou corpos. Os equipamentos que geram refrigeração são conhecidos como refrigeradores e os processos em que operam são chamados de ciclos de refrigeração sendo o ciclo de compressão de vapor o mais utilizado na refrigeração onde se faz uso de fluido refrigerante.

## **2.2 Aplicações da refrigeração**

De acordo com Vilain (2018, p.13), “a refrigeração tem aplicação em diversos campos da vida humana e se estende desde o uso doméstico até uso industrial e de transporte”. “Para conveniência de estudos, as aplicações da refrigeração podem ser classificadas dentro das seguintes categorias: doméstica, comercial, industrial, para transporte e para condicionamento de ar” (FERRAZ, 2008, p.15).

O avanço da tecnologia de refrigeração doméstica proporcionou vantagens na área de conservação de alimentos, ampliando consideravelmente sua vida útil. Conforme destacado por Dossat (2018), a refrigeração doméstica é utilizada na fabricação de refrigeradores de uso doméstico como as geladeiras e congeladores. Segundo Ferraz (2008, p.15), “a capacidade dos refrigeradores domésticos varia muito, com temperaturas na faixa de  $-8^{\circ}\text{C}$  a  $-18^{\circ}\text{C}$  (no compartimento de congelados) e  $+2^{\circ}\text{C}$  a  $+7^{\circ}\text{C}$  (no compartimento dos produtos resfriados) ”.

A refrigeração comercial compreende sistemas de refrigeração compostos por equipamentos refrigeradores frequentemente pré-fabricados, sendo empregados em estabelecimentos de varejo, hotéis, restaurantes e também em instalações para processamento (DOSSAT, 2004). “A refrigeração comercial abrange os refrigeradores especiais ou de grande porte usados em restaurantes, sorveterias, bares, açougues, laboratórios, etc. As temperaturas de congelamento e estocagem situam-se, geralmente, entre  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $-30^{\circ}\text{C}$ ” (FERRAZ, 2008, p.15). A figura 2 ilustra uma unidade de conservação de sorvete.

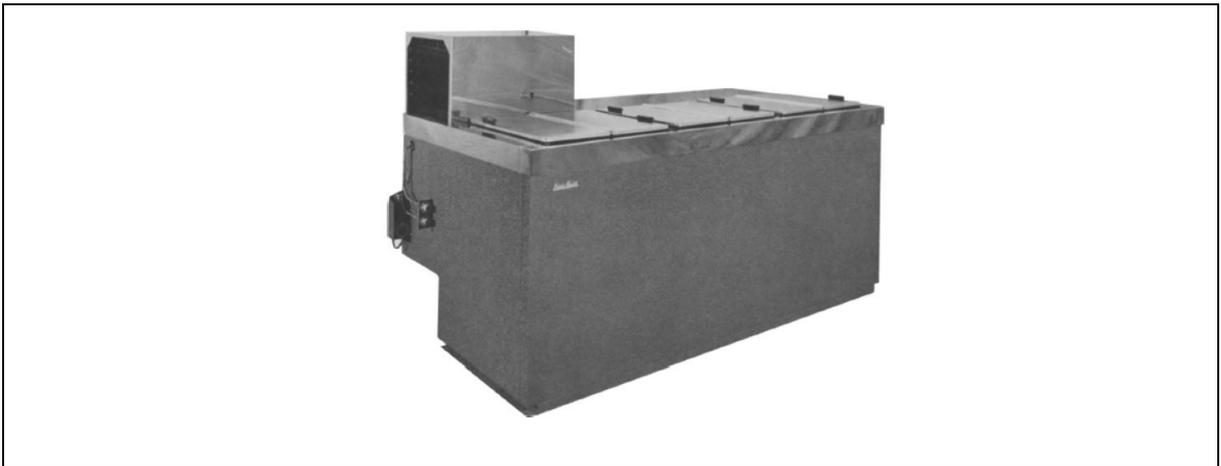


Figura 2: Unidade de conservação de sorvete  
Fonte: Miller *et al* (2014).

A figura 2 mostra um modelo representativo de refrigeração comercial por meio de unidade de conservação exclusiva para sorvetes.

A refrigeração industrial remete à indústria, e como salientam Stoecker e Jabardo (2018), é caracterizada por faixas de temperaturas, sendo definida no limite inferior entre os valores de  $-60^{\circ}\text{C}$  e  $-70^{\circ}\text{C}$ , e no limite superior um valor de  $15^{\circ}\text{C}$ . “Como regra geral, os equipamentos industriais são maiores que os comerciais (em tamanho) e têm como característica marcante o fato de requererem um operador de serviço” (FERRAZ, 2008, p.15).

Conforme descrito por Vilain (2018), a refrigeração industrial está presente em diversas áreas da indústria, incluindo aplicações em fábricas de gelo, grandes unidades de processamento de alimentos (carnes, peixes e aves), cervejarias, fábricas de laticínios, unidades de processamento de bebidas concentradas e entre outras aplicações.

Segundo Vilain (2018), a refrigeração por meio de transporte, por sua vez, está relacionada ao deslocamento de mercadorias por meio de transporte de navios, caminhões e contêineres refrigerados, proporcionando condições ideais de temperatura para a conservação

de produtos perecíveis. Sob a perspectiva de Ferraz (2008, p.15), “a refrigeração de transporte relaciona-se com equipamentos de refrigeração em caminhões e vagões ferroviários refrigerados”.

O condicionamento de ar é categorizado em dois grupos sendo um relacionado ao conforto e outro referente a área industrial. No âmbito de conforto tem como objetivo a mudança das condições do ambiente com o intuito de trazer conforto humano, sendo comuns em casas, escritórios, escolas, hotéis, edifícios públicos e privados e entre outros locais. Por outro lado, o condicionamento de ar industrial não tem como foco o conforto humano, em vez disso, seu principal objetivo é controlar o teor de umidade, as taxas de reações químicas e bioquímicas entre outras funções (DOSSAT, 2004).

### **2.3 Fluidos refrigerantes**

A história dos fluidos refrigerantes é uma narrativa importante que percorre décadas de evolução e desenvolvimento na área de refrigeração. Segundo Stoecker e Jabardo (2018), a história da refrigeração é marcada por diversos eventos históricos, porém, quando se trata dos fluidos refrigerantes, quatro eventos de grande importância se destacam no desenvolvimento dessa área.

Na metade do século XIX aconteceram eventos como a introdução do ciclo de compressão de vapor e o uso de compressores acionados por motores elétricos que impulsionaram as aplicações frigoríficas, contribuindo assim para o desenvolvimento dos sistemas de refrigeração (STOECKER e JABARDO, 2018). Também Stoecker e Jabardo (2018), mencionam que no final da década de 1920 foram desenvolvidos fluidos refrigerantes de compostos halogenados que viabilizou a utilização da refrigeração doméstica.

O protocolo de Montreal foi um acordo internacional que ocorreu em 1987 com o objetivo de estabelecer diretrizes para eliminação de CFCs na camada de ozônio (MILLER *et al*, 2014). De acordo com Stoecker e Jabardo (2018), um fato de relevância do protocolo de Montreal acerca dos fluidos refrigerantes foi a substituição dos refrigerantes conhecidos como CFCs. Atualmente os compostos HFCs, devido ao seu alto potencial degradante para o efeito estufa, proporcionou a substituição de fluidos refrigerantes por compostos com baixo teor de impacto ambiental (STOECKER e JABARDO, 2018).

“A substância chamada de fluido refrigerante é fundamental para a transferência de calor em um equipamento de refrigeração. Em termos práticos, um fluido refrigerante comercial é qualquer substância que evapore e vaporize a temperaturas relativamente baixas” (Miller *et al*, 2014, p.49). E de acordo Martinelli Jr (2003), o fluido refrigerante é definido como fluido que tem como objetivo absorver calor do ambiente.

Vilain (2018), exemplifica como ocorre o funcionamento do processo de refrigeração por meio do fluido refrigerante com a utilização dos dispositivos de refrigeração. Esse processo se inicia no evaporador no qual o fluido refrigerante entra na forma de mistura saturada, ou seja, coexiste em duas fases sendo uma líquida e outra vapor, e nesse processo essa mistura é vaporizada passando para o estado de vapor (vaporização do fluido refrigerante a baixa pressão), já no compressor esse vapor é comprimido se tornando vapor superaquecido, que é um tipo de vapor que tem temperatura mais alta devido a adição de calor (VILAIN, 2018).

O condensador, diferentemente do compressor e do evaporador, tem a finalidade de realizar a mudança de estado do vapor superaquecido vindo do compressor para a forma líquida no dispositivo de expansão, o fluido refrigerante advindo do condensador sofre uma expansão cuja a pressão é reduzida de modo que o fluido retorne novamente para o evaporador reiniciando o ciclo (VILAIN, 2018). A tabela 1 mostra o processo do fluido refrigerante nos equipamentos de refrigeração.

Tabela 1: Processo do fluido refrigerante nos equipamentos de refrigeração

Componente	Características da transformação sofrida pelo fluido refrigerante
Evaporador	Vaporização do fluido refrigerante à baixa pressão
Compressor	Compressão do fluido refrigerante
Condensador	Condensação a uma pressão elevada
Dispositivo de Expansão	Expansão do fluido refrigerante

Fonte: Vilain (2018).

Na tabela 1 observa-se o processo do fluido refrigerante nos equipamentos de refrigeração sendo perceptível seus componentes e suas características de transformação ao longo do ciclo do fluido refrigerante.

### 2.3.1 Características dos fluidos refrigerantes

Os fluidos refrigerantes apresentam características que viabilizam sua aplicação em diversas áreas, exercendo também influência na seleção do fluido mais adequado. Na tabela 2 é exposta as características dos fluidos refrigerantes.

Tabela 2: Características dos fluidos refrigerantes

Características	Descrição
Termodinamicamente favorável	Eliminação de fluidos com ponto de fusão e temperatura críticas próximas da faixa de operação típica das aplicações frigoríficas.
Estabilidade química	Evita a ação de pressões e temperaturas e os compostos químicos (que se expõe ao longo do circuito frigorífico) prejudique o sistema de refrigeração.
Não ser tóxico	Eliminação de fluidos voláteis com pressões de condensação elevados.
Inflamabilidade	A possibilidade de fugas no sistema exige que os fluidos refrigerantes não apresentem susceptibilidade à inflamabilidade para evitar incêndios.
Compatibilidade com óleo de lubrificação do compressor	Importante na utilização de instalações automáticas com o objetivo de prever o retorno do óleo lubrificante ao compressor.
Grau de compatibilidade com materiais	Compatíveis com os materiais usados nos circuitos refrigeração.
Fácil detecção	Evita a perda completa da carga de refrigerante na instalação.
Não ser prejudicial ao meio ambiente	Emprego de fluidos refrigerantes que não causam danos a camada de ozônio.
Disponibilidade comercial com custo razoável	A disponibilidade dos fluidos refrigerantes está relacionada ao seu preço.

Fonte: Adaptado de Stoecker e Jabardo (2018).

A tabela 2 apresenta as características dos fluidos refrigerantes, considerando suas características e suas descrições correspondentes.

### 2.3.2 Classificação dos fluidos refrigerantes

“Os fluidos refrigerantes são classificados de acordo com a maneira pela qual absorvem ou extraem calor das substâncias a serem refrigeradas. A classificação pode ser dividida em

Classe 1, Classe 2 e Classe 3” (MILLER *et al*, 2014, p.146). Segundo Ferraz (2008, p.6), “os refrigerantes podem ser divididos em três classes, conforme sua maneira de absorção ou extração do calor das substâncias a serem refrigeradas”.

A classe 1 dos fluidos refrigerantes abrange fluidos que tem como capacidade o resfriamento por meio da absorção ou extração de calor das substâncias cujo objetivo principal é resfriar essa substância por meio da absorção de seus calores latentes (MILLER *et al*, 2014). Sob a perspectiva de Ferraz (2008, p. 6), “essa classe inclui os refrigerantes que resfriam materiais por absorção do calor latente. São exemplos dessa classe os CFC’s, HCFC’s e os HFC’s”.

Na classe 2 sob o ponto de vista de Ferraz (2008, p.6), “os refrigerantes dessa classe são os que resfriam substâncias pela absorção de seus calores sensíveis. São elas: ar, salmoura de cloreto de cálcio, salmoura de cloreto de sódio (sal comum) e álcool”. Igualmente Miller *et al* (2014), pontua que a classe 2 é composta por fluidos refrigerantes que tem como objetivo resfriarem as substâncias com o auxílio da absorção de seus calores sensíveis.

A classe 3, “este grupo consiste em soluções que contêm vapores absorvidos de agentes liquefificáveis ou meios refrigerantes” (MILLER *et al*, 2014, p.46). De acordo com Ferraz (2008), as soluções que contêm os vapores absorvidos funcionam por meio da sua habilidade de conduzir vapores liquidificáveis produzindo assim um resfriamento pela absorção do calor latente como exemplo dessa classe de fluidos pode-se citar a amônia ou amoníaco.

Como aponta Miller *et al* (2014), cada classe de fluido tem uma aplicação específica sendo a classe 1 designada para utilização de compressor padrão dos sistemas de refrigeração, a classe 2 empregadas como um intermediário entre a classe 1 e a substância a ser resfriada com o objetivo de ser utilizada em sistemas de resfriamento e a classe 3 utilizada em sistemas padrão de refrigeração que faz uso do sistema por absorção.

### **2.3.3 Propriedades dos fluidos refrigerantes**

Para Miller *et al* (2014, p. 155), “os fluidos refrigerantes podem ser caracterizados por uma série de propriedades, tais como pressão, temperatura, volume específico, peso específico e entalpia”. Também Miller *et al* (2014), elenca outros tipos de propriedades relacionadas aos fluidos refrigerantes como: inflamabilidade, capacidade de se misturar com óleo, reação à umidade, odor, toxicidade, tendência e detecção a vazamentos.

### 2.3.3.1 Pressão

Para Çengel (2013, p.21), “a pressão é definida como uma força normal exercida por um fluido por unidade de área”. Ainda Çengel (2013, p.21), “a pressão é definida como a força por unidade de área, ela tem unidade de newtons por metro quadrado ( $N/m^2$ ), denominada de pascal (Pa) ”.

Nos fluidos refrigerantes a pressão é uma propriedade termodinâmica importante. A pressão tem como objetivo determinar a resistência do equipamento que recebe o fluido refrigerante em seu interior, sendo esse fluido comprimido e enviado a várias partes do sistema sob pressão (MILLER *et al*, 2014).

Nas palavras de Miller *et al* (2014, p.155), “a preocupação principal é a de se manter a pressão a mais baixa possível. A pressão ideal do lado de baixa ou pressão de evaporação deve ser tão próxima quanto possível da pressão atmosférica ”. Ainda de Miller *et al* (2014), expõe que a pressão ideal no sistema em um processo de refrigeração é fundamental para manter os custos do equipamento os mais baixos possíveis e garantir a pressão positiva em todos os pontos do sistema. A tabela 3 mostra as pressões de operação de cinco fluidos refrigerantes.

Tabela 3: Pressões de operação de cinco fluidos refrigerantes.

<b>Fluido refrigerante</b>	<b>Pressão de evaporação (kPa) a - 15°C</b>	<b>Pressão de condensação (kPa) a 30°C</b>
R-12	182,5	744,6
R-134A	164,1	770,9
R-22	295,6	1191
R-404A	364,3	1418
R-717	236,3	1171

Fonte: Adaptado de Venturini e Pirani (2005).

Na tabela 3 são apresentados cinco fluidos refrigerantes acompanhados de suas correspondentes pressões de evaporação e condensação.

### 2.3.3.2 Temperatura

Segundo Miller *et al* (2014), a temperatura de um fluido refrigerante é de grande relevância para a escolha de um fluido para uma determinada aplicação. Ainda sob a perspectiva de Miller *et al* (2014, p.156), “a temperatura de ebulição é aquele ponto no qual um líquido se vaporiza por meio da adição de calor. Esse, é claro, depende do fluido refrigerante e da pressão absoluta na superfície do líquido e do vapor”. A tabela 4 mostra os fluidos refrigerantes em ordem de ponto de ebulição.

Tabela 4: Fluidos refrigerantes em ordem de ponto de ebulição

Número ASHRAE	Tipo de Fluido Refrigerante	Classe de Fluido Refrigerante	Ponto de Ebulição °F (°C)
123	Substância pura	HCFC	82,2 (27,9)
11	Substância pura	CFC	74,9 (23,8)
245fa	Substância pura	HFC	59,5 (15,3)
236fa	Substância pura	HFC	29,5 (-1,4)
134a	Substância pura	HFC	-15,1 (-26,2)
12	Substância pura	CFC	-21,6 (-29,8)
401A	Mistura zeotrópica	HCFC	-27,7 (-32,2)
500	Mistura azeotrópica	CFC	-28,3 (-33,5)
409A	Mistura zeotrópica	HCFC	-29,6 (-34,2)
22	Substância pura	HCFC	-41,5 (-40,8)
407C	Mistura zeotrópica	HFC	-46,4 (-43,6)
502	Mistura azeotrópica	CFC	-49,8 (-45,4)
408A	Mistura zeotrópica	HCFC	-49,8 (-45,4)
404A	Mistura zeotrópica	HFC	-51,0 (-46,1)
507	Mistura azeotrópica	HFC	-52,1 (-46,7)
402A	Mistura zeotrópica	HCFC	-54,8 (-48,2)
410A	Mistura zeotrópica	HFC	-62,9 (-52,7)
13	Substância pura	CFC	-114,6 (-81,4)
23	Substância pura	HFC	-115,7 (-82,1)
508B	Mistura azeotrópica	HFC	-125,3 (-87,4)
503	Mistura azeotrópica	CFC	-126,1 (-87,8)

Fonte: Miller *et al* (2014).

A tabela 4 demonstra os fluidos refrigerantes em ordem de ponto de ebulição relacionando a numeração ASHRAE (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado) o tipo de fluido refrigerante, a classe do fluido refrigerante e o ponto de ebulição em °F e °C.

### **2.3.3.3 Volume específico**

Segundo Çengel (2013), o volume específico é definido como volume por unidade de massa expresso em metros cúbicos por quilograma.

Para Miller *et al* (2014, p.156), “o volume específico de um fluido refrigerante é o número de pés cúbicos (ou metros cúbicos) de gás formado quando 1 lb (ou 1 kg) de fluido refrigerante é vaporizado”. Ainda Miller *et al* (2014), cita a importância dessa propriedade termodinâmica para os fluidos refrigerantes impactando diretamente na escolha do tamanho dos componentes do sistema de refrigeração.

### **2.3.3.4 Massa específica**

Para Çengel (2013), a massa específica (ou densidade) é definida como a massa por unidade de volume. A unidade é expressa em libras por pé cúbico (lb/pé<sup>3</sup>) ou quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>) ” (MILLER *et al*, 2014, p.157).

### **2.3.3.5 Entalpia**

“A entalpia é uma propriedade das substâncias que indica sua quantidade de energia térmica ou “calor total”. Quando o fluido refrigerante absorve energia (calor), sua entalpia aumenta; quando o fluido refrigerante perde (libera) energia (calor), sua entalpia diminui” (CASTRO, 2010, p.18).

“Entalpia é o calor total em um fluido refrigerante. O calor sensível juntamente com o calor latente resulta no calor total” (MILLER *et al*, 2014, p.157). Ainda Miller *et al* (2014), descreve que o calor latente do fluido refrigerante tem como objetivo medir a quantidade de calor necessária para que ocorra a mudança de fase do fluido do líquido para o gás, por outro lado o calor latente tem como finalidade promover ao fluido refrigerante a absorção de calor de uma área que será submetida ao processo de resfriamento. A tabela 5 mostra a Entalpia (Btu/lb a 5°F [-15°C]) de cinco fluidos refrigerantes.

Tabela 5: Entalpia ( Btu/lb a 5°F[-15°C] ) de cinco fluidos refrigerantes

Fluido Refrigerante	Entalpia do Líquido	+	Calor Latente de Vaporização	=	Entalpia do Vapor
R-11	8,88	+	84,00	=	92,88
R-12	9,32	+	60,47	=	78,79
R-22	11,97	+	93,59	=	105,56
R-717	48,30	+	565,00	=	613,30
R-718 (a 40°F)	8,05	+	1071,30	=	1079,35

Fonte: Miller *et al* (2014).

Observa-se na tabela 5 a entalpia (Btu/lb a 5°F [-15°C]) de alguns fluidos refrigerantes relacionando a entalpia do líquido com o calor latente de vaporização.

### 2.3.3.6 Inflamabilidade

A inflamabilidade é uma propriedade de grande relevância para os fluidos refrigerantes tendo como objetivo evitar que ocorra a combustão. Segundo Miller *et al* (2014, p.157), “misturas com gases ou líquidos inflamáveis podem ser inflamáveis e devem ser manuseadas com cuidado”.

“Compostos parcialmente halogenados também podem ser inflamáveis e têm que ser examinados individualmente. Se o fluido refrigerante for usado próximo a uma fonte de ignição, a sua inflamabilidade deve ser cuidadosamente considerada” (MILLER *et al*, 2014, p.157). Ainda Miller *et al* (2014), destaca que nos Estados Unidos existem algumas leis municipais que especificam quais tipos de fluidos refrigerantes podem ser usados em certos limites dentro da cidade.

### 2.3.3.7 Capacidade de miscibilidade com óleo

As capacidades de miscibilidade dos fluidos refrigerantes de se misturar com óleo podem trazer vantagens e desvantagens para os sistemas. De acordo com Miller *et al* (2014, p.157), “se o fluido refrigerante se mistura facilmente, partes do sistema podem ser lubrificadas

facilmente pelo fluido refrigerante e sua mistura de óleo. O fluido refrigerante trará o óleo de volta para o compressor e partes móveis para lubrificação”.

Em relação as desvantagens da miscibilidade entre o óleo e o fluido refrigerante pode-se destacar a capacidade que alguns óleos tem de se misturar com facilidade ao fluido refrigerante o que pode provocar a parada do compressor, e que além disso pode causar a queima do compressor provocando incêndios no sistema (MILLER *et al*, 2014).

#### **2.3.3.8 Umidade**

Para Miller *et al* (2014), a umidade é uma variável de extrema importância para os sistemas de refrigeração, sendo crucial mantê-la afastada, ou seja, deve ser mantida fora do sistema com o objetivo de evitar a corrosão e desgaste no sistema. Ainda Miller *et al* (2014), todos os fluidos refrigerantes absorvem alguma parcela de água e a quantidade de absorção dessa água é determinante para causar corrosão no sistema.

#### **2.3.3.9 Odor**

O odor dos fluidos refrigerantes tem como finalidade detectar o vazamento do sistema para evitar danos. Entretanto um odor muito forte pode prejudicar o sistema, exigindo que ao realizar a prática da manutenção dos equipamentos, os profissionais utilizem de máscaras especiais durante o processo de manutenção e também pode causar danos em alguns equipamentos devido ao odor elevado (MILLER *et al*, 2014).

Segundo Miller *et al* (2014), a presença de um odor forte em fluidos refrigerantes, embora possa causar danos ao sistema é vantajoso quando se utiliza um material tóxico como fluido refrigerante. Ainda Miller *et al* (2014, p.158), “um fluido refrigerante que possa ser muito inflamável deve ter um odor tal que o seu vazamento possa ser detectado facilmente para evitar incêndios ou explosões.

#### **2.3.3.10 Toxicidade**

“A toxicidade é a característica de um material que o torna intoxicante ou venenoso. Alguns fluidos refrigerantes podem ser muito tóxicos para os humanos, enquanto outros podem não ser tóxicos de maneira alguma” (MILLER *et al*, 2014, p.158). Ainda sob o ponto de vista de Miller *et al* (2014), existem fluidos refrigerantes como R-11, R-12 e R-22 que são inofensivos em seu estado normal, ou seja, sem sofrer alterações, mas se tornam tóxicos na presença de uma chama de temperatura muito elevada.

### 2.3.3.11 Tendência de Vazamento

O vazamento do fluido refrigerante pode ser prejudicial ao sistema e o tamanho das moléculas que compõem os fluidos refrigerantes estabelece uma diferença grande na tendência de vazamento dos fluidos (MILLER *et al*, 2014). Nas palavras de Miller *et al* (2014, p.158), “quanto maior o peso molecular, maior deverá ser o orifício para o fluido refrigerante escapar. Uma verificação do peso molecular de um fluido refrigerante indicará o problema que ele poderá apresentar para um sistema de refrigeração selado”. A tabela 6 mostra os pesos moleculares de cinco fluidos refrigerantes.

Tabela 6: Peso molecular de cinco fluidos refrigerantes

Fluido Refrigerante	Peso Molecular
R-11	137,4
R-12	120,9
R-22	86,5
R-717 (amônia)	17,0
R-718 (água)	18,0

Fonte: Miller *et al* (2014).

Observa-se na tabela 6 os pesos moleculares de cinco fluidos refrigerantes, destacando-se que o R-11 exibe a menor tendência a vazar, enquanto o R-717(amônia) é mais suscetível a vazamentos.

### 2.3.3.12 Visão geral das propriedades dos fluidos refrigerantes

A compreensão das propriedades dos fluidos refrigerantes propriedades refrigerantes é de grande importância nos sistemas de refrigeração, permitindo uma seleção mais criteriosa e informada desses fluidos para aplicação nos sistemas de refrigeração. A tabela 7 demonstra o desempenho relativo ao ciclo básico de compressão a vapor para diversos refrigerantes com temperaturas de evaporação e condensação iguais a -15°C e 30°C, respectivamente.

Tabela 7: Desempenho relativo ao ciclo básico de compressão a vapor para diversos refrigerantes com temperaturas de evaporação e condensação iguais a -15°C e 30°C

	R12	R134A	R22	R404A	R502	R717
Pressão de evaporação [kPa]	182,5	164,1	295,6	364,3	348,6	236,3
Pressão de condensação [kPa]	744,6	770,9	1191	1418	1319	1171
Relação entre pressões	4,08	4,70	4,03	3,89	3,78	4,96
Efeito frigorífico [kJ/kg]	116,4	147,4	162,9	113,4	104,4	1102
Vazão de refrigerante [kg/s/kW]	0,0086	0,0068	0,0061	0,0088	0,0096	0,00091
Volume específico do líquido [m <sup>3</sup> /kg]	0,774.10 <sup>-3</sup>	0,842.10 <sup>-3</sup>	0,852.10 <sup>-3</sup>	1,02.10 <sup>-3</sup>	0,839.10 <sup>-3</sup>	1,68.10 <sup>-3</sup>
Vazão volumétrica de líquido [m <sup>3</sup> /s/kW]	0,007.10 <sup>-3</sup>	0,006.10 <sup>-3</sup>	0,005.10 <sup>-3</sup>	0,009.10 <sup>-3</sup>	0,008.10 <sup>-3</sup>	0,002.10 <sup>-3</sup>

Fonte: Venturini e Pirani (2005).

Na tabela 7 são apresentadas as propriedades de seis fluidos refrigerantes em relação ao desempenho relativo ao ciclo básico de compressão a vapor para diversos refrigerantes com temperaturas de evaporação e condensação iguais a -15°C e 30°C, respectivamente. O conteúdo da tabela abrange informações como as pressões de evaporação e condensação, relações de pressões, efeito frigorífico, vazão de refrigerante, volume específico e vazão volumétrica de líquido.

## 2.4 Ciclos de refrigeração

Na refrigeração há diferentes ciclos, um dos principais ciclos usados na refrigeração é o de compressão de vapor sendo dividido em ciclo teórico e real.

O ciclo teórico também denominado como ciclo ideal tem como objetivo fazer uma aproximação do ciclo real desconsiderando as variações que podem ocorrer no sistema sendo assim, o ciclo teórico apresenta melhor eficiência que o real operando nas mesmas condições (MARTINELLI JR, 2003). Além disso, Martinelli Jr (2003), conceitua que o ciclo de refrigeração teórico por compressão de vapor é representado pelo gráfico de Mollier tendo as coordenadas pressão e entalpia, sendo a pressão exposta no eixo da ordenada e a entalpia no eixo das abscissas. A figura 3 mostra o diagrama de Mollier ideal (pressão-entalpia).

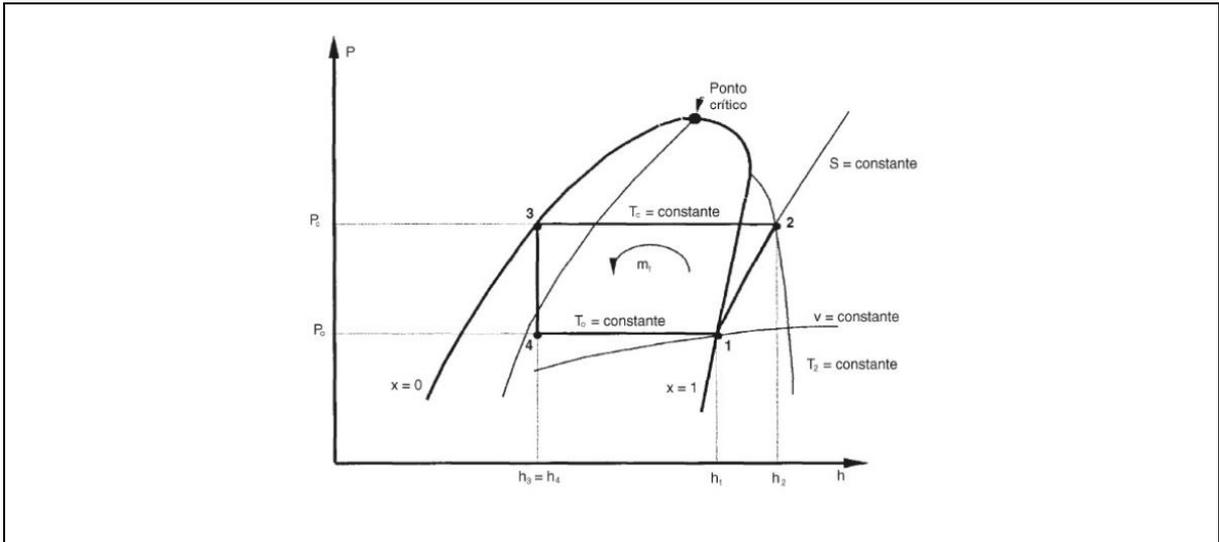


Figura 3: Diagrama de Mollier ideal (pressão-entalpia)  
Fonte: Castro (2010).

Observa-se na figura 3 o diagrama de Mollier ideal (pressão-entalpia) que representa graficamente as relações entre a pressão e a entalpia em um ciclo teórico ideal de refrigeração por compressão de vapor. Este diagrama exhibe os eixos cartesianos, onde observa-se os eixos, a abscissa representando a entalpia e a coordenada vertical é atribuída à pressão. Além disso, são representadas outras propriedades termodinâmicas como a entropia (S), o volume específico (v) e o título (x).

O ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor é composto pelo compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador. Cada equipamento desempenha uma função durante o ciclo (STOECKER e JABARDO, 2018). A figura 4 ilustra os equipamentos utilizados no ciclo de refrigeração.

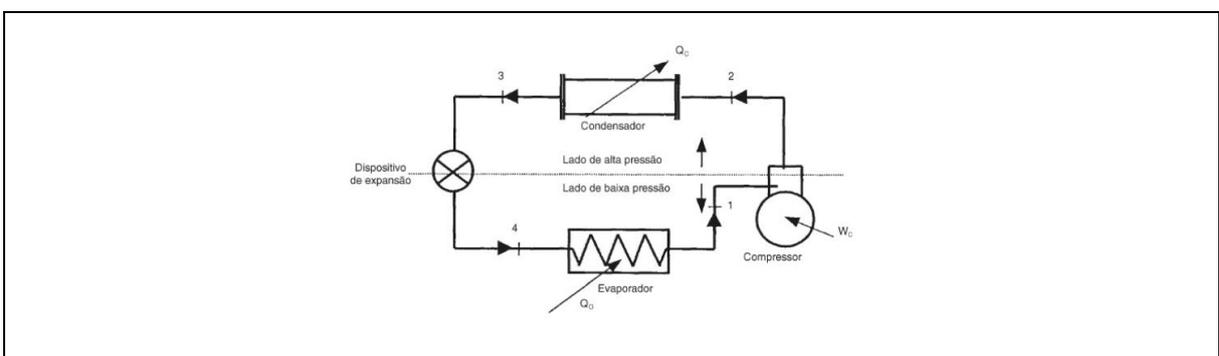


Figura 4: Equipamentos utilizados no ciclo de refrigeração  
Fonte: Castro (2010).

Observa-se na figura 4 os equipamentos utilizados no ciclo de refrigeração evidenciando o compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador.

De acordo com Castro (2010), o ciclo real de compressão de vapor considera as variações que podem ocorrer durante o ciclo e tem grande semelhança com o ciclo teórico, diferenciando-se no superaquecimento e sub-resfriamento, nas quedas de pressão no sistema e no processo politrópico no compressor. A figura 5 mostra o diagrama de Mollier real (pressão-entalpia).

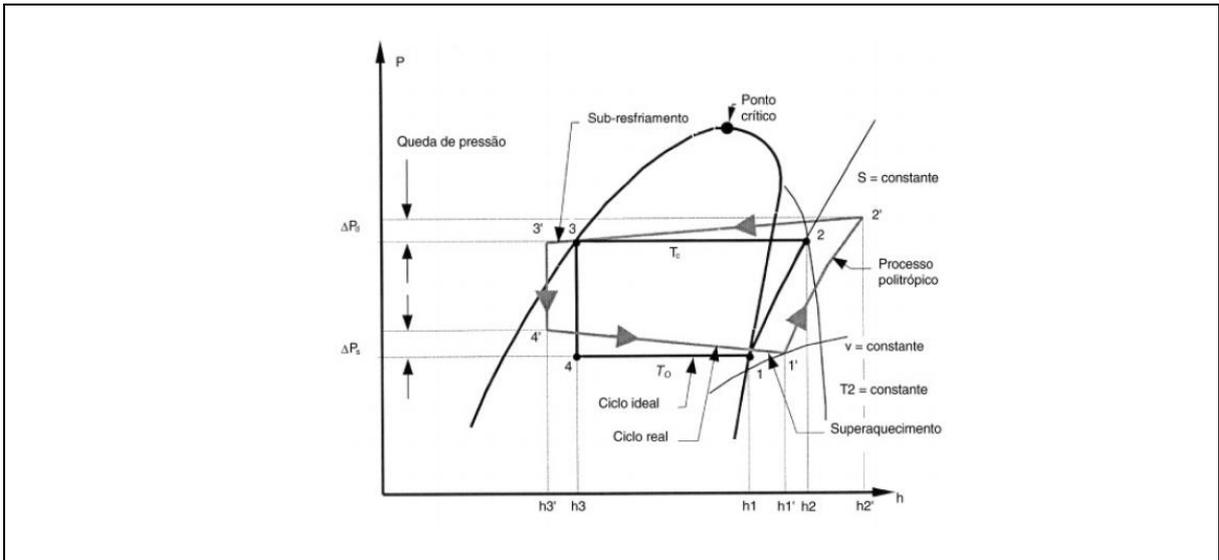


Figura 5: Diagrama de Mollier real (pressão-entalpia)  
Fonte: Castro (2010).

Observa-se na figura 5 o diagrama de Mollier real (pressão-entalpia), uma representação gráfica das relações entre a pressão e a entalpia em um ciclo real de refrigeração por compressão de vapor. Este diagrama exhibe os eixos cartesianos, sendo os eixos da abscissa representado pela entalpia e a coordenada vertical é atribuída à pressão. Além disso, são representadas as linhas do ciclo ideal e do real, evidenciando os estágios de sub-resfriamento e o superaquecimento.

“As principais diferenças entre o circuito real e o circuito teórico simples são a perda de carga e a queda de pressão tanto nas linhas de descarga, líquido e de sucção como no condensador e no evaporador” (CASTRO, 2010, p.18). Ainda de acordo com Castro (2010), outras diferenças entre esses dois ciclos são que no ciclo real destaca-se o sub-resfriamento do fluido refrigerante na saída do condensador (presente na maioria dos sistemas) e o superaquecimento que ocorre na sucção, visando prevenir a entrada de líquido no compressor.

Conforme mencionado por Martinelli Jr (2003), uma distinção significativa entre os ciclos ideais e os ciclos reais diz respeito à compressão no compressor, no ciclo real esse

processo de compressão é politrópico, isto é,  $S_1$  é diferente de  $S_2$ , ao contrário do ciclo ideal que é caracterizado como isentrópico.

### 2.4.1 Balanço de energia para o ciclo de refrigeração por compressão de vapor

De acordo com Venturini e Pirani (2005), “o balanço de energia do ciclo de refrigeração é feito considerando-se o sistema operando em regime permanente nas condições de projeto, ou seja, à temperatura de condensação ( $T_c$ ) e à temperatura de vaporização ( $T_o$ )”. A figura 6 mostra o ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor considerado no balanço de energia.

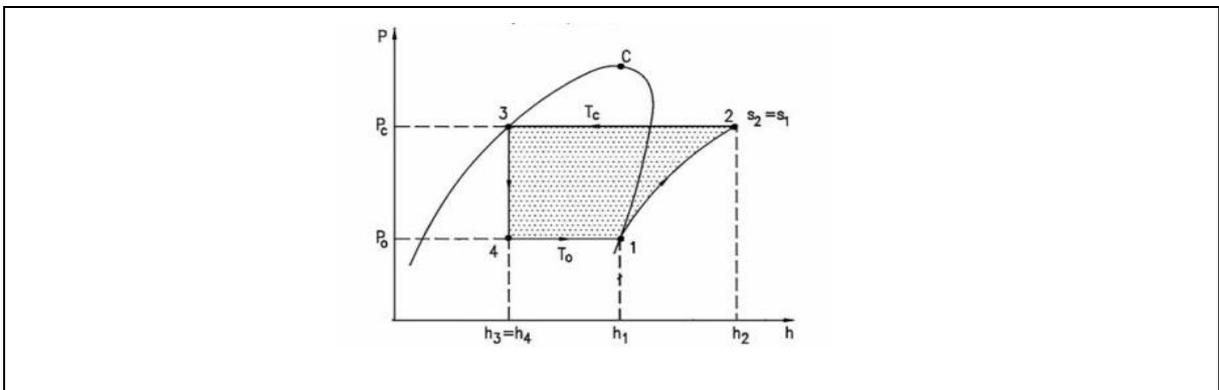


Figura 6: Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor.  
Fonte: Venturini e Pirani (2005).

Observa-se na figura 6 o ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor onde pode-se notar as temperaturas de condensação ( $T_c$ ) e evaporação ( $T_o$ ) e também as entalpias do sistema representadas por  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  e  $h_4$ .

#### 2.4.1.1 Capacidade frigorífica

Segundo Venturini e Pirani (2005, p.40), “a capacidade frigorífica ( $\dot{Q}_O$ ) é a quantidade de calor, por unidade de tempo, retirada do meio que se quer resfriar (produto), através do evaporador do sistema frigorífico”. Ainda Venturini e Pirani (2005), consideram que estes sistemas operam em regime permanente e as variações da energia cinética e potencial são negligenciadas. Assim, a aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica para o cálculo da capacidade frigorífica pode ser expressa da seguinte forma:

$$\dot{Q}_O = \dot{m}_f (h_1 - h_4) \quad (1)$$

Em que:

$\dot{Q}_O$  =Capacidade frigorífica (kcal/h);

$\dot{m}_f$  =Fluxo de massa (kg/h);

$h_1$  e  $h_4$ =Entalpia específica( kcal/kg).

Para Martinelli Jr (2003), a capacidade frigorífica do sistema de refrigeração deve ser igual à carga térmica quando o sistema está em regime permanente. De acordo com Venturini e Pirani (2005, p.41), “se forem estabelecidos o ciclo e o fluido frigorífico com o qual o sistema deve trabalhar, pode-se determinar o fluxo mássico que circula através dos equipamentos, pois as entalpias  $h_1$  e  $h_4$  são conhecidas e, conseqüentemente o compressor fica determinado. ”

“A quantidade de calor por unidade de massa de refrigerante retirada no evaporador é chamada de “efeito frigorífico” (EF). Este é um dos parâmetros usados para definir o fluido frigorífico que será utilizado em uma determinada instalação” (VENTURINI e PIRANI 2005, p.41). A equação que representa o efeito frigorífico é expressa na equação (2).

$$EF=h_1-h_4 \quad (2)$$

Em que:

EF=Efeito frigorífico (kcal/kg);

$h_1$  e  $h_4$ =Entalpia específica (kcal/kg).

#### 2.4.1.2 Potencia teórica de compressão

“Chama-se potência teórica de compressão a quantidade de energia, por unidade de tempo, que deve ser fornecida ao refrigerante, no compressor, para se obter a elevação de pressão necessária do ciclo teórico” (VENTURINI e PIRANI ,2005, p.41). Segundo Martinelli Jr (2003), a aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica com regime permanente e desprezando as variações das energias cinética e potencial fornece a equação (3), representando a potência teórica do compressor.

$$\dot{W}_C=\dot{m}_f (h_2-h_1) \quad (3)$$

Em que:

$\dot{W}_C$  =Potência teórica do compressor (kcal/h; kW);

$\dot{m}_f$  =Fluxo de massa (kg/h);

$h_1$  e  $h_2$ =Entalpia específica( kcal/kg).

#### 2.4.1.3 Calor rejeitado no condensador

De acordo Venturini e Pirani (2005, p.42), “a função do condensador é transferir calor do fluido frigorífico para o meio de resfriamento do condensador (água ou ar). Este fluxo de calor pode ser determinado por meio de um balanço de energia no volume de controle”. Ainda de acordo com Venturini e Pirani (2005), considerando que esse processo aconteça em regime permanente, o fluxo de calor rejeitado no condensador é calculado pela equação (4).

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_f (h_2 - h_3) \quad (4)$$

Em que:

$\dot{Q}_c$  =Fluxo de calor rejeitado no condensador (kcal/h);

$\dot{m}_f$  =Fluxo de massa (kg/h);

$h_2$  e  $h_3$ =Entalpia específica( kcal/kg).

#### 2.4.1.4 Dispositivo de expansão

Venturini e Pirani (2005), no dispositivo de expansão o processo é teórico e adiabático. Sob essas condições ao aplicar a primeira lei da termodinâmica em regime permanente e negligenciando as variações das energias potencial e cinética tem-se a seguinte relação, expressa na equação (5).

$$h_3 = h_4 \quad (5)$$

## 2.5 Câmaras frigoríficas

As câmaras frigoríficas são equipamentos de grande porte que ocupam um espaço significativo no ambiente onde estão instaladas e são sistemas altamente customizáveis, sendo adaptadas de acordo com a necessidade de armazenagem dos produtos (DUFRIIO, 2023). Para (WIRZ, 2011, p.371), “câmaras frigoríficas são um dos aspectos mais fascinantes da refrigeração comercial”.

Como relata Vilain (2018, p.47), “as câmaras frias são utilizadas principalmente para conservação de produtos perecíveis, mas podem ser adaptadas agregando os acessórios adequados para aplicações especiais”. Sob a perspectiva de Castro (2010), as câmaras frigoríficas encontram aplicações em variados setores, incluindo supermercados, restaurantes, açougues, indústrias, hotéis e outros. A figura 7 ilustra uma câmara frigorífica.

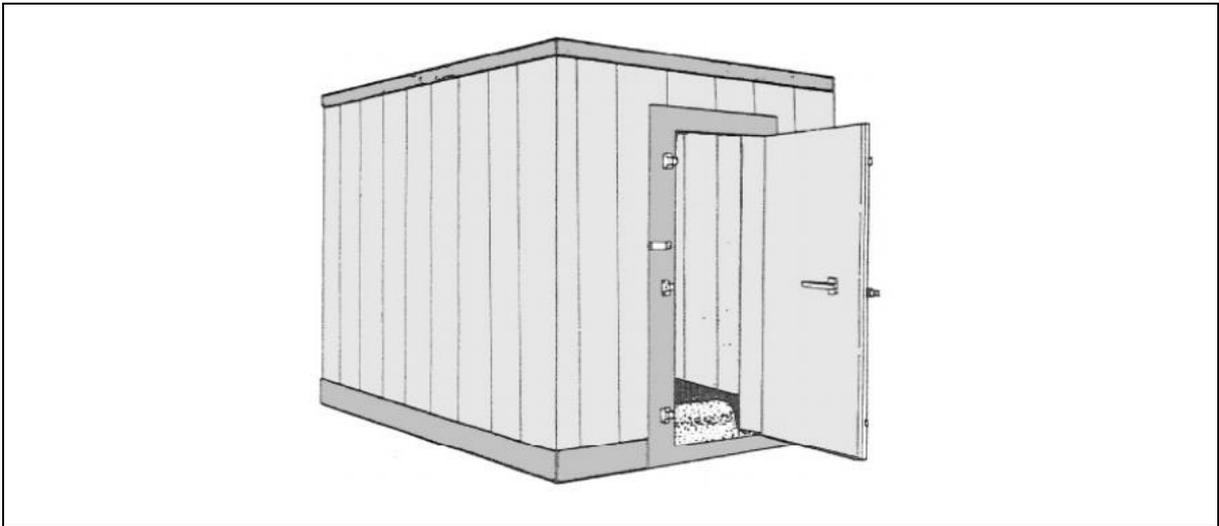


Figura 7: Câmara frigorífica  
Fonte: Castro (2010).

Na figura 7 é possível observar a representação de uma câmara frigorífica, exibindo a sua disposição da estrutura e a presença da porta vinculada à sua configuração.

Castro (2010), destaca que é importante ressaltar que cada produto exige condições específicas de temperatura para armazenamento, o que determina se a câmara é destinada ao resfriamento ou ao congelamento. Sob o ponto de vista de Wirz (2011), as câmaras frigoríficas de temperatura média e as congeladoras têm temperaturas diferentes; as congeladoras operam com temperaturas negativas, sendo normalmente a cerca de  $-23,3^{\circ}\text{C}$  e as câmaras com temperatura média operam em faixa de  $1,7^{\circ}\text{C}$  a  $2,8^{\circ}\text{C}$ .

Segundo Wirz (2011), as geladeiras comerciais operam com temperaturas mais elevadas que as câmaras frigoríficas de temperatura média devido a sua finalidade que é apenas refrigerar seus produtos, ela opera em uma faixa de  $3,3^{\circ}\text{C}$  a  $4,4^{\circ}\text{C}$ ; já os congeladores das geladeiras comerciais operam com uma temperatura um pouco mais elevada que as câmaras frigoríficas congeladoras devido ao tamanho e a finalidade que ele é usado, operando em torno de uma temperatura de  $-17,8^{\circ}\text{C}$ .

As câmaras frigoríficas são fabricadas de forma personalizada para atender às necessidades específicas de acordo com cada aplicação, sendo construídas em alvenaria ou em painéis pré-moldados, isto é, essas instalações são adaptadas de acordo com as especificações e requisitos de cada projeto, sendo a escolha do tipo de câmara determinada pelas preferências e necessidades do projeto (CASTRO, 2010).

## **2.6 Carga térmica**

A carga térmica desempenha um papel fundamental no contexto da refrigeração sendo essencial para a avaliação e determinação de diversos parâmetros nos sistemas de refrigeração. Segundo Dossat (2004, p.222) “a carga térmica total é dividida em um número de cargas individuais, de acordo com as fontes de calor suprindo a carga”. Igualmente, Miller *et al* (2014, p.454), “as cargas térmicas individuais devem ser avaliadas primeiramente e depois totalizadas. Isto fornece a carga que deve ser usada para quantificar o tempo de funcionamento e os parâmetros de projeto do equipamento”.

Nas palavras de Vilain (2018), uma câmara frigorífica para manter as condições ideais de temperatura e umidade precisa eliminar uma certa quantidade de calor que é composta por componentes de calor sensível e latente, que são conhecidas como carga térmica e que podem ser divididas em diversas parcelas, sendo carga térmica de: transmissão, infiltração (entrada de ar), produtos e diversas.

### **2.6.1 Condições externas e internas do projeto**

A definição das condições internas e externas do projeto é de grande importância, pois serve como ponto de partida para condução dos cálculos. Nas palavras de Venturini e Pirani (2005, p.68), “as condições externas de projeto podem ser obtidas de fontes específicas para a cidade considerada ou de normas técnicas, como a NBR-6401 e o livro de Goulart *et al* (1998), que trazem informações sobre as condições típicas de verão para diversas cidades”.

Considerando as condições internas de acordo com as palavras de Venturini e Pirani (2005, p.68), “para os melhores resultados, cada produto deveria ser armazenado de acordo com os seus requisitos específicos de temperatura e umidade relativa, especificados em manuais, como o *Handbook - Applications* da ASHRAE (1978) ”. Ainda Venturini e Pirani (2005), destacam que uma prática muito comum em câmaras frigoríficas é o armazenamento de vários tipos de produtos nas câmaras frigoríficas devido à maior praticidade na construção.

## 2.6.2 Carga térmica devido à transmissão de calor

Venturini e Pirani (2005), definem a carga térmica devido a transmissão de calor como uma função diferencial que considera a diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno da câmara, a condutividade térmica e espessura dos elementos da câmara, como paredes, piso, teto, portas, etc. E também a área das superfícies sujeitas ao diferencial de temperaturas. Portanto, a carga térmica pode ser calculada através da equação (6):

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\Delta T}{R_T} \quad (6)$$

Em que:

$\dot{Q}$ =Fluxo de calor que penetra na câmara por meio das superfícies (paredes, teto e piso) (kcal/h);

$A$ =Área das superfícies (m<sup>2</sup>);

$\Delta T$ =Diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno da câmara (°C);

$R_T$ =Resistência térmica (K/kcal/h.m<sup>2</sup>).

Segundo Venturini e Pirani (2005), para o cálculo da resistência térmica, é necessário considerar o coeficiente de convecção interno, a condutividade térmica dos materiais constituintes da parede e o coeficiente de convecção externo. Ainda Venturini e Pirani (2005), traz como exemplo a resistência térmica de uma câmara frigorífica de paredes de alvenaria, cujo esquema é representado na figura 8.

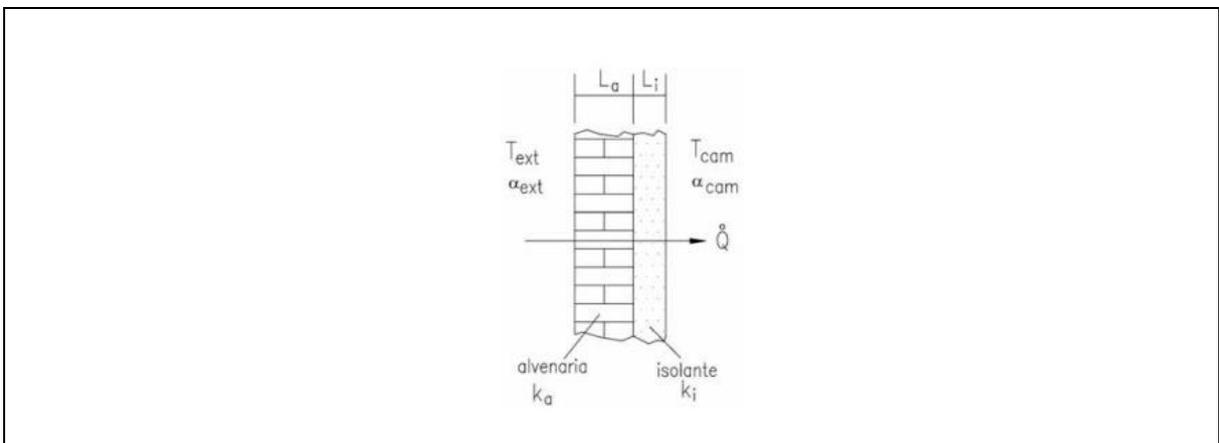


Figura 8: Esquema de uma parede de alvenaria de uma câmara frigorífica  
Fonte: Castro (2010).

A figura 8 apresenta um esquema representativo de uma parede de alvenaria de uma câmara frigorífica, exibindo as temperaturas, as espessuras e as condutividades térmicas e coeficientes de transferência de calor por convecção fundamentais para o cálculo da resistência térmica, conforme representado na equação (7).

$$R_T = \frac{1}{\alpha_{ext}} + \frac{L_a}{K_a A} + \frac{L_i}{K_i} + \frac{1}{\alpha_{cam} A} \quad (7)$$

De acordo com a equação (7) tem-se:

$R_T$  = Resistência térmica (K/kcal/h.m<sup>2</sup>);

$\alpha_{ext}$  = Coeficiente de convecção externo (kcal/h.m<sup>2</sup>.°C);

$\alpha_{cam}$  = Coeficiente de convecção interno (kcal/h.m<sup>2</sup>.°C);

$K_a$  = Condutividade térmica da alvenaria (kcal/h.m.°C);

$K_i$  = Condutividade térmica do isolante (kcal/h.m.°C);

$A$  = Área das superfícies (m<sup>2</sup>);

$L_a$  = Espessura da alvenaria (m);

$L_i$  = Espessura do isolante (m).

Segundo Venturini e Pirani (2005), foram convencionados valores típicos de coeficientes de convecção externo e interno, para a convecção externa se estabeleceu dois tipos de critério para a definição do valor desse coeficiente: sendo um para o ar parado, onde tem-se um valor de 7,0 kcal/h.m<sup>2</sup>.°C e para o ar com velocidade próxima de 20 km/h utiliza-se 35,0 kcal/h.m<sup>2</sup>.°C. Adicionalmente Venturini e Pirani (2005), destacam que o coeficiente de convecção interno, assim com o externo, também depende da movimentação do ar mas, no entanto, é importante ressaltar que o ar considerado da convecção interna é o de dentro da câmara definindo assim seu coeficiente como uma variação de 7,0 a 15 kcal/h.m<sup>2</sup>.°C.

A tabela 8 ilustra a condutividade térmica de alguns materiais usados na refrigeração industrial.

Tabela 8: Condutividade térmica de alguns materiais usados na refrigeração industrial

MATERIAL	k [kcal/h.m.oC]
Chapas de fibra de madeira	0,028
Cimento celular leve	0,06 - 0,103
Cortiça expandida pura	0,035
Cortiça granulada	0,05 - 0,069
Fibras de vidro	0,026
Folhas de papel corrugado	0,033
Poliuretano	0,018 - 0,028
Poliestireno (15 a 30 kg/m <sup>3</sup> )	0,025 a 0,040
Resinas fenólicas	0,026
Vermiculite agregada ao cimento	0,06 - 0,086

Fonte: Venturini e Pirani (2005).

Na tabela 8 são listadas as condutividades térmicas de alguns materiais usados na refrigeração industrial, incluindo o poliuretano e o poliestireno.

“Uma forma simplificada, porém, bastante utilizada, para o cálculo da espessura do isolamento consiste na fixação de um valor para o fluxo de calor por unidade de área da parede ( $\dot{Q}/A$ )” (VENTURINI e PIRANI 2005, p.70). A tabela 9 mostra valores de classificação da qualidade do isolamento.

Tabela 9: Valores de classificação da qualidade do isolamento

Classificação do Isolamento	Fluxo de calor (kcal/h.m <sup>2</sup> )	Fluxo de calor (W/m <sup>2</sup> )
Isolamento excelente	8	9,3
Isolamento bom	10	11,63
Isolamento aceitável	12	13,96

Fonte: Adaptado de Venturini e Pirani (2005).

Na tabela 9 são apresentados os valores de classificação da qualidade do isolamento, divididos em três categorias: excelente, bom e aceitável, acompanhados dos respectivos valores de fluxo de calor atribuídos a cada tipo de isolamento.

De acordo com Venturini e Pirani (2005), a resistência térmica causada pelo ar externo (parede e ar externo) pode ser negligenciada, uma vez que os são valores envolvidos são pequenos e tem um impacto limitado no resultado final da determinação da espessura do isolamento com isso a espessura pode ser calculada pela equação (8):

$$L_i = \frac{K_i \Delta T}{(\dot{Q}/A)} \quad (8)$$

Venturi e Pirani (2005), destacam que a diferença de temperatura expressa na equação (8), pode ser calculada de diversas formas dependendo das condições de onde a câmara está instalada. Considerando essa premissa, quando a câmara não estiver exposta a radiação solar diretamente a diferença de temperatura corresponde à temperatura externa e a da câmara, contudo se a câmara sofrer influência da radiação solar diretamente o valor de  $\Delta T$  deve sofrer uma correção em função da orientação da parede e também da sua coloração, sendo portanto efetuado o cálculo de  $\Delta T'$  (correção para a diferença de temperaturas em câmaras frigoríficas) e a tabela 10 demonstra as correções para as variações de temperaturas em câmaras frigoríficas expostas à radiação solar, o cálculo da temperatura é dado na equação (9):

$$\Delta T = (T_{\text{ext}} - T_{\text{cam}}) + \Delta T' \quad (9)$$

Tabela 10: Correções para as variações de temperaturas em câmaras frigoríficas expostas à radiação solar

TIPO DE SUPERFÍCIE	PAREDES			TETO
	LESTE	OESTE	NORTE	PLANO
Cor escura (preto, azul escuro, marrom, ardósia, etc).	5,0 °C	5,0 °C	3,0 °C	11,0 °C
Cor Média (cinza, amarelo, azul, etc).	4,0 °C	4,0 °C	2,5 °C	9,0 °C
Cor Clara (branco, azul claro, verde claro).	3,0 °C	3,0 °C	2,0 °C	5,0 °C

Fonte: Venturini e Pirani (2005).

A tabela 10 apresenta as correções para as variações de temperatura em câmaras frigoríficas expostas à radiação solar, enfatizando o tipo de superfície considerando tanto a cor quanto a orientação das paredes e do teto.

Portanto, para Venturini e Pirani (2005), com as considerações feitas o cálculo da carga térmica devido à transmissão de calor ( $\dot{Q}_{tm}$ ) pode ser calculado pela equação (10):

$$\dot{Q}_{tm} = \left( \frac{\dot{Q}}{A} \right) A \cdot 24 \quad (10)$$

De acordo com a equação 10 tem-se:

$\dot{Q}_{tm}$  = Carga térmica devido à transmissão de calor (kcal/dia);

$\dot{Q}$  = Fluxo de calor que penetra na câmara por meio das superfícies (paredes, teto e piso) (kcal/h.m<sup>2</sup>);

A = Área das superfícies (m<sup>2</sup>).

### 2.6.3 Carga térmica devido à infiltração de ar externo

A carga térmica devido a infiltração leva em consideração o ar que entra na câmara quando a porta é aberta, quando isso acontece o ar quente do lado exterior entra no interior da câmara causando o aumento da temperatura na câmara (DOSSAT, 2004). De acordo com Vilain (2018, p.30), “é a parcela correspondente ao calor do ar que atinge a câmara através de suas aberturas. Toda vez que a porta é aberta, o ar externo penetra no interior da câmara, representando uma carga térmica adicional”.

Segundo Venturini e Pirani (2005), a carga térmica devido à infiltração de ar está diretamente ligada ao fluxo de entrada e saída de ar, sendo a entrada associada ao ar quente proveniente do ambiente externo enquanto a saída de ar corresponde ao ar frio presente na câmara frigorífica. Essas infiltrações ocorrem por meio de portas ou qualquer abertura que se manifeste na estrutura da câmara, portanto, a equação (11) expressa o cálculo da infiltração de ar externo.

$$\dot{Q}_{inf} = V_{cam} \cdot FTA \cdot \Delta H' \quad (11)$$

Em que:

$\dot{Q}_{inf}$  = Carga térmica devido à infiltração de ar externo (kcal/dia);

$V_{cam}$  = Volume da câmara frigorífica (m<sup>3</sup>);

FTA = Fator de troca de ar de câmaras frigoríficas para conservação (Trocas/dia);

$\Delta H'$ =Calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara (kcal/m<sup>3</sup>).

“A quantidade de ar que entra em câmara pode ser estimada, entre outras formas, a partir do fator de troca de ar (FTA) de uma câmara, sendo este, por sua vez, dependente do volume e tipo da câmara. O FTA expressa o número de trocas de ar por dia (trocas/dia) da câmara ” (VENTURINI e PIRANI ,2005, p.73). O valor de FTA pode ser estimado pela tabela 11 que ilustra os fatores de troca de ar de câmaras frigoríficas para conservação.

Venturini e Pirani (2005), destacam que o calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara assim como o calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara frigorífica também é tabelado. Os valores são expostos na tabela 12 que ilustra o calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara.

Tabela 11: Fator de troca de ar de câmaras frigoríficas para conservação

CÂMARAS PARA PRODUTOS RESFRIADOS				CÂMARAS PARA PRODUTOS CONGELADOS			
VOLUME	FTA	VOLUME	FTA	VOLUME	FTA	VOLUME	FTA
[m <sup>3</sup> ]	[TROCAS/DIA]	[m <sup>3</sup> ]	[TROCAS/DIA]	[m <sup>3</sup> ]	[TROCAS/DIA]	[m <sup>3</sup> ]	[TROCAS/DIA]
40	15,00	500	3,60	40	11,00	500	2,80
50	13,00	700	3,00	50	10,00	700	2,30
60	12,00	1000	2,50	60	9,00	1000	1,90
80	10,00	1200	2,20	80	8,00	1200	1,70
100	9,00	1500	2,00	100	7,00	1500	1,50
125	8,00	2000	1,70	125	6,00	2000	1,30
150	7,00	3000	1,40	150	5,50	3000	1,10
200	6,00	5000	1,10	200	4,50	5000	1,00
300	5,00	10000	0,95	300	3,70	10000	0,80
400	4,10	15000	0,90	400	3,20	15000	0,80

Fonte: Venturini e Pirani (2005).

Tabela 12: Calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara

COND. EXTERNAS		TEMPERATURA NA CÂMARA [°C]									
UR [%]	T <sub>ext</sub> [°C]	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5
40	15,0	23,2	21,3	19,4	17,4	15,5	13,4	11,1	8,5	5,5	2,2
	20,0	26,5	24,6	22,7	20,8	18,8	16,7	14,4	11,8	8,8	5,6
	25,0	30,5	28,6	26,7	24,7	22,7	20,6	18,3	15,7	12,7	9,4
	30,0	35,1	33,2	31,3	29,3	27,3	25,1	22,8	20,2	17,2	13,9
	35,0	40,6	38,7	36,7	34,7	32,7	30,5	28,2	25,6	22,6	19,3
	40,0	47,2	45,2	43,2	41,2	39,1	37,0	34,6	32,0	28,9	25,6
50	15,0	24,5	22,6	20,7	18,8	16,8	14,7	12,4	9,8	6,8	3,5
	20,0	28,4	26,5	24,6	22,6	20,6	18,5	16,2	13,6	10,6	7,3
	25,0	33,0	31,0	29,	27,1	25,1	23,0	20,6	18,0	15,0	11,7
	30,0	38,4	36,5	34,5	32,5	30,5	28,3	26,0	23,4	20,3	17,0
	35,0	45,0	43,0	41,0	39,0	36,9	34,7	32,4	29,7	26,7	23,4
	40,0	52,8	50,8	48,8	46,7	44,6	42,4	40,0	37,4	34,3	30,9
60	15,0	25,9	23,9	22,0	20,1	18,1	16,0	13,7	11,1	8,1	4,8
	20,0	30,2	28,3	26,4	24,4	22,4	20,2	17,9	15,3	12,3	9,0
	25,0	35,4	33,5	31,5	29,6	27,5	25,4	23,0	20,4	17,4	14,1
	30,0	41,7	39,7	37,8	35,7	33,7	31,5	29,1	26,5	23,5	20,1
	35,0	49,3	47,3	45,3	43,2	41,1	38,9	36,5	33,9	30,8	27,4
	40,0	58,5	56,4	54,4	52,3	50,1	47,9	45,5	42,8	39,7	36,3
70	15,0	27,2	25,3	23,4	21,4	19,4	17,3	14,9	12,3	9,3	6,0
	20,0	32,1	30,1	28,2	26,2	24,2	22,0	19,7	17,1	14,1	10,7
	25,0	37,9	35,9	34,0	32,0	29,9	27,7	25,4	22,8	19,7	16,4
	30,0	45,0	43,0	41,0	39,0	36,9	34,7	32,3	29,6	26,6	23,2
	35,0	53,6	51,6	49,5	47,5	45,4	43,1	40,7	38,0	34,9	31,5
	40,0	64,1	62,0	60,0	57,8	55,7	53,4	50,9	48,2	45,1	41,6

Fonte: Venturini e Pirani (2005).

Na tabela 11 estão listados os valores dos fatores de trocar de ar em de câmaras frigoríficas para conservação, os quais relacionam o volume da câmara para a determinação do fator de troca de ar apropriado para a seleção. E na tabela 12 são apresentados os valores do calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara, levando em consideração a temperatura da

câmara (interna) e as condições externas, tais como a umidade relativa (UR) e a temperatura externa, para a devida seleção.

#### 2.6.4 Carga térmica devido aos produtos

A carga térmica devido aos produtos é definida como o calor gerado pelo produto que entra na câmara frigorífica. Essa carga, segundo Vilain (2018, p.29), é composta “por calor sensível antes do congelamento (resfriamento); calor latente de congelamento; calor sensível após o congelamento (resfriamento após congelado); calor de respiração (só para frutas)”. A carga térmica do produto é formada do calor que deve ser removido do produto refrigerado a fim de reduzir sua temperatura ao nível desejado (DOSSAT, 2004, p.275).

De acordo com Venturini e Pirani (2005), as parcelas consideradas na carga térmica devido aos produtos são: calor sensível antes do congelamento referente à quantidade de calor que deve ser extraída do produto para reduzir sua temperatura de entrada na câmara, calor latente antes do congelamento sendo o calor retirado do produto para promover sua mudança de fase, calor sensível após o congelamento corresponde ao calor que é retirado do produto para reduzir sua temperatura e o calor de respiração que é composto pelo calor liberado pela respiração de produtos como frutas frescas e vegetais. A carga térmica devido aos produtos é calculada pela equação (12).

$$\dot{Q}_{\text{prod}} = G_M \left[ c_{p,1} (T_{\text{ent}} - T_1) + h_{\text{cg}} + c_{p,2} (T_1 - T_2) + G_T Q_{\text{resp}} \right] \quad (12)$$

Em que:

$\dot{Q}_{\text{prod}}$  = Carga térmica diária (kcal/dia);

$G_M$  = Movimentação diária de um determinado produto na câmara (kg/dia);

$c_{p,1}$  = Calor específico do produto antes do congelamento (kcal/kg. °C);

$T_{\text{ent}}$  = Temperatura de entrada do produto na câmara (°C);

$T_1$  = em câmaras de resfriamento é a temperatura final do produto e para câmaras de congelamento é a própria temperatura de congelamento do produto (°C);

$h_{\text{cg}}$  = Calor latente do produto (kcal/kg);

$c_{p,2}$  = Calor específico do produto após o congelamento (kcal/kg. °C);

$T_2$ =Temperatura final do produto congelado (°C);

$G_T$ = Quantidade total de produtos na câmara (kg);

$Q_{resp}$ =Quantidade de calor liberado pela respiração do produto (kcal/kg).

### 2.6.5 Cargas diversas

As cargas térmicas diversas são definidas como o calor gerado pela ocupação de pessoas, iluminação, motores e outros equipamentos de produção de calor (VILAIN, 2018). Segundo Dossat (2004), a carga térmica diversas é determinada por todas as fontes de energia mistas de calor levando em consideração o calor gerado pela ocupação das pessoas trabalhando, iluminação provocada pelas luzes e equipamentos elétricos que operam dentro da câmara.

De acordo com Venturini e Pirani (2005), os equipamentos elétricos que estão instalados no interior da câmara frigorífica como lâmpadas, motores e outros dissipam calor que devem ser incluídos no cálculo da carga térmica. Ainda Venturini e Pirani (2005), destacam que os calores dissipados por motores elétricos podem ser obtidos por meio da sua potência e do seu rendimento e que na ausência de dados à tabela 13 de calor dissipado por motores elétrico pode ser usada para a realização dos cálculos.

Tabela 13: Calor dissipado por motores elétricos

POTÊNCIA DO MOTOR [cv]	RENDIMENTO DO MOTOR [%]	CALOR LIBERADO [kcal/h.cv] (motor e carga na câmara)	CALOR LIBERADO [kcal/h.cv] (carga na câmara e motor fora)
Menor que 1/4	≅ 60	1050 (1,221)	632 (0,735)
1/2 a 1,0	≅ 70	900 (1,046)	632 (0,735)
1 <sup>1/2</sup> a 5,0	≅ 78	800 (0,930)	632 (0,735)
7 <sup>1/2</sup> a 20	≅ 84	750 (0,872)	632 (0,735)
Acima de 20 cv	≅ 88	725 (0,843)	632 (0,735)

Fonte: Venturini e Pirani (2005).

A tabela 13 apresenta os dados referentes ao calor dissipado por motores elétricos, disponíveis para utilização quando não há informações específicas sobre a potência de calor dissipados pelos motores, considerando a potência do motor como critério de seleção.

### 2.6.5.1 Carga térmica devido à iluminação

“O calor dissipado pelo sistema de iluminação depende da potência das lâmpadas instaladas e do seu tempo de utilização, podendo se considerar que a potência dissipada pelo sistema de iluminação é de aproximadamente 10 W/m<sup>2</sup>” (VENTURINI e PIRANI, 2005, p.75). A carga térmica devido à iluminação é representada abaixo pela equação (13).

$$\dot{Q}_{\text{ilum}} = 10 \cdot A \cdot \tau \cdot 0,86 \quad (13)$$

$\dot{Q}_{\text{ilum}}$  = Carga térmica devido à iluminação (kcal/dia);

A = Área da câmara frigorífica (m<sup>2</sup>);

$\tau$  = Tempo de utilização (horas/24 horas).

### 2.6.5.2 Carga térmica devido à presença de pessoas

“A carga térmica decorrente da presença de pessoas no interior das câmaras frigoríficas depende da atividade que estas pessoas estão exercendo, do tipo de vestimenta e, sobretudo, da temperatura da câmara” (VENTURINI e PIRANI, 2005, p.75). E de acordo com Vilain (2018), a carga térmica pode ser calculada por meio da equação (14).

$$\dot{Q}_{\text{pessoas}} = n \cdot q \cdot \tau \quad (14)$$

Sendo:

$\dot{Q}_{\text{pessoas}}$  = Carga térmica devido à presença de pessoas (kcal/h);

n = número de pessoas na câmara;

q = calor liberado pelas pessoas (kcal/h.pessoa);

$\tau$  = Tempo de ocupação (h).

A tabela 14 apresenta o calor dissipado pelas pessoas dentro da câmara da câmara.

Tabela 14: Calor de ocupação de pessoas dentro da câmara

Temperatura interna da câmara [°C]	calor dissipado [kcal/h]
+ 10	180
+ 5	210
0	235
- 5	260
-10	285
- 15	310
- 20	340
- 25	365

Fonte: Vilain (2018).

A tabela 14 exibe os dados referentes ao calor dissipado pelas pessoas dentro da câmara frigorífica de acordo com a temperatura interna da câmara.

## 2.7 Softwares

O processo tecnológico desempenhou um papel fundamental em diversas áreas, incluindo a refrigeração, que possibilitou o desenvolvimento de uma variedade de *softwares* especializados que facilitam a simulação de diversas variáveis que compõem o sistema de refrigeração. “*Software* de computador é o produto que profissionais de software desenvolvem e ao qual dão suporte por muitos anos. Esses artefatos incluem programas executáveis em computador de qualquer porte ou arquitetura” (PRESSMAN e MAXIM, 2021, p.1).

De acordo com Sbrocco e Macedo (2012), os processos de desenvolvimento de *software* geralmente seguem uma estrutura comum possuindo um conjunto limitado de atividades que são aplicáveis a todos os projetos de software, independentemente de seu escopo ou complexidade.

Segundo Pressman e Maxim (2021), os desenvolvimentos de *softwares* são feitos por meio da engenharia de *software* que é suma importância pois habilita a criação de sistemas complexos de forma eficiente cumprindo os prazos estabelecidos e garantindo um alto padrão de qualidade.

No processo de refrigeração existem diversos *softwares* que auxiliam nos cálculos das parcelas das cargas térmicas que permitem diversos tipos de variação (VILAIN, 2018). Os *softwares* utilizados na refrigeração têm como objetivo simplificar e tornar mais acessível o *design* para os sistemas de refrigeração em diversos contextos como o comercial e o industrial (DANFOSS, 2023).

O *software coolselector*®2 foi desenvolvido pela empresa Danfoss fornecendo sugestões para os componentes na área de refrigeração, permitindo a seleção dos componentes mais ideais levando em consideração a capacidade de refrigeração, o tipo de refrigerante usado no processo, as temperaturas de evaporação e condensação, entre outras variáveis que interferem na refrigeração (DANFOSS, 2023).

O *coolselector*®2 apresenta uma exatidão em relação aos cálculos dos componentes de refrigeração e ar condicionado ajudando na seleção dos equipamentos que compõem o sistema (DANFOSS, 2023). A figura 9 apresenta o *layout* do software da *coolselector*®2.

The screenshot shows the 'Câmara Frigorífica - Passo 2 para 5: Revise a carga da câmara fria' (Refrigeration Chamber - Step 2 of 5: Review the load of the cold chamber) interface. It features several input fields and sections for configuring the chamber's load and insulation.

**As entradas abaixo são necessárias para calcular a capacidade de refrigeração requerida da Câmara Fria:**

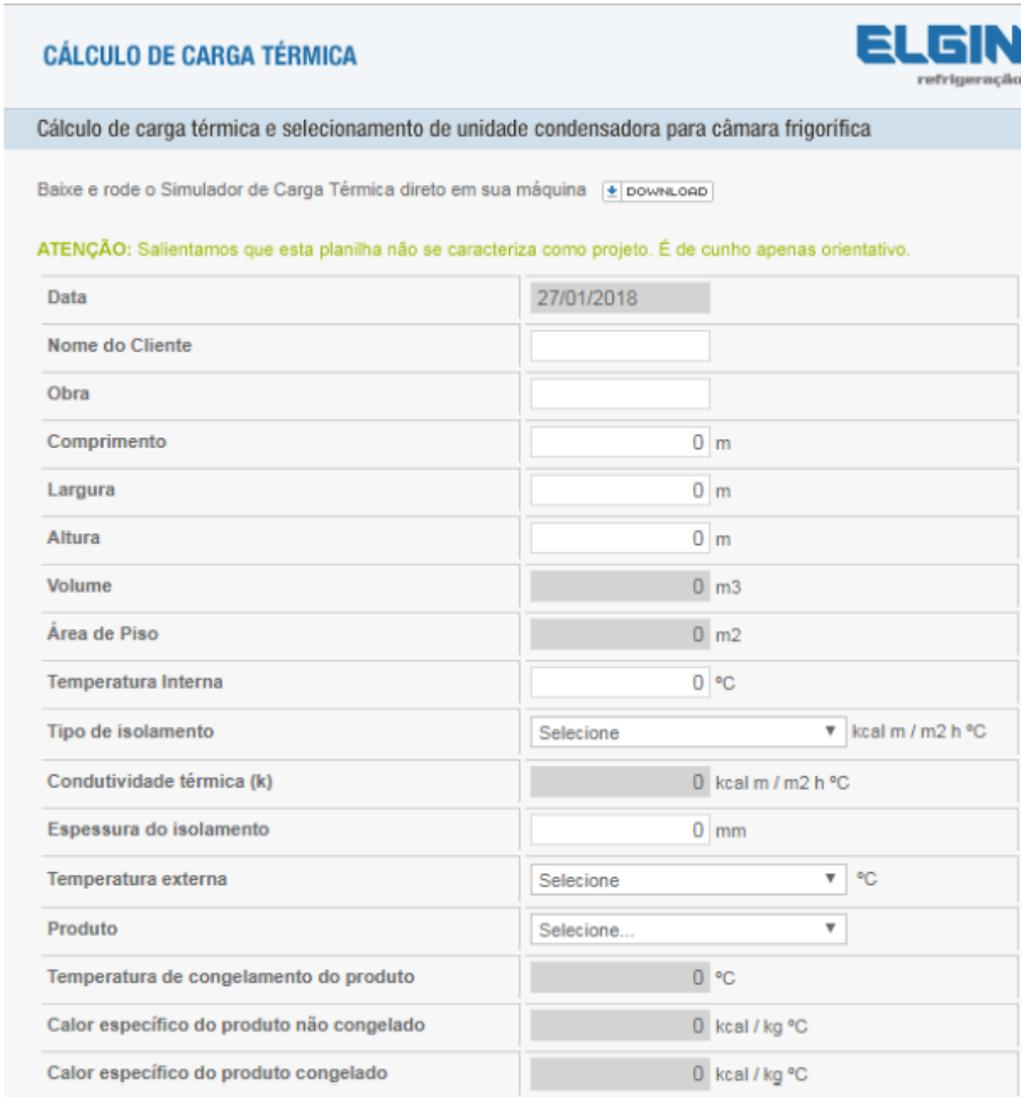
- Dimensões da câmara:** Comprimento: 6,00 m; Largura: 5,00 m; Altura: 3,60 m. (Radio buttons for 'Dimensões internas' and 'Dimensões externas').
- Condições da câmara:** Temperatura: 5,0 °C; Humidade relativa: 80 %; Horas de funcionamento: 17,3 h.
- Produtos:** Produtos diversificados (dropdown); Quantidade por dia: 4000 kg; Temperatura de entrada: 10,0 °C; Carga de calor de respiração: (empty); Massa total na câmara: 20000 kg.
- Troca de ar (infiltração):** Temperatura: 28,0 °C; Humidade relativa: 55 %; Abertura das portas: Regular (dropdown); Taxa de troca do ar: 4,81 (vezes o volume da câmara por 24 horas).
- Transferência de calor:** Painéis padrão (radio button); Tipo: Poliuretano (dropdown); Espessura: 60,00 mm; Temperatura do ambiente: 28,0 °C; Temperatura abaixo do piso: 10,0 °C. (Check for 'O piso é isolado').
- Cargas adicionais:** Luzes: 240 W; Ventiladores: 156 W; Pessoas: 2 horas/dia; Outros: 0 W; Degelo (checked): Elétrico (radio button) or Natural (radio button); Potência: 1136 W; Degelos por dia: 4; Tempo de degelo: 30 mínimo.

The interface includes a 3D cutaway view of a refrigeration chamber with a pallet and boxes, and navigation buttons for 'Ajuda', '< Anterior', and 'Próximo >'.

Figura 9: *Layout* do Software da *coolselector*®2  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

A figura 9 ilustra o *layout* do software *coolselector*®2, utilizado para calcular a carga térmica de uma câmara frigorífica, evidenciando claramente o campo destinado ao preenchimento dos dados pertinentes à câmara para frigorífica.

O *software* da *Elgin* realiza o cálculo da carga térmica e também indica os equipamentos adequados para o sistema de refrigeração, como as unidades condensadoras, evaporadoras, separadores de óleo e separadores de líquido, tubos capilares e válvulas de expansão e faz também simulação das condições de armazenamento dos produtos de refrigeração (ELGIN, 2023). A figura 10 mostra o *layout* do *software* da *Elgin*.



CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA	
<p>Cálculo de carga térmica e seccionamento de unidade condensadora para câmara frigorífica</p> <p>Baixe e rode o Simulador de Carga Térmica direto em sua máquina <a href="#">DOWNLOAD</a></p> <p><b>ATENÇÃO:</b> Salientamos que esta planilha não se caracteriza como projeto. É de cunho apenas orientativo.</p>	
Data	27/01/2018
Nome do Cliente	<input type="text"/>
Obra	<input type="text"/>
Comprimento	<input type="text"/> 0 m
Largura	<input type="text"/> 0 m
Altura	<input type="text"/> 0 m
Volume	<input type="text"/> 0 m <sup>3</sup>
Área de Piso	<input type="text"/> 0 m <sup>2</sup>
Temperatura Interna	<input type="text"/> 0 °C
Tipo de isolamento	Selecione <input type="text"/> kcal m / m <sup>2</sup> h °C
Condutividade térmica (k)	<input type="text"/> 0 kcal m / m <sup>2</sup> h °C
Espessura do isolamento	<input type="text"/> 0 mm
Temperatura externa	Selecione <input type="text"/> °C
Produto	Selecione... <input type="text"/>
Temperatura de congelamento do produto	<input type="text"/> 0 °C
Calor específico do produto não congelado	<input type="text"/> 0 kcal / kg °C
Calor específico do produto congelado	<input type="text"/> 0 kcal / kg °C

Figura 10: Layout inicial *Software Elgin*  
Fonte: Vilain (2018).

A figura 10 ilustra o *layout* inicial do *software* da *Elgin*, proporcionando a representação visual da interface gráfica, sendo idênticáveis os elementos que influenciam na carga térmica do sistema.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada em um projeto é importante para o seu desenvolvimento, uma vez que fornece elementos necessários para alcançar o seu objetivo final. O termo metodologia é designado como uma combinação de métodos científicos usados em uma área com o propósito de criar projetos com resultados finais concretos e bem fundamentados, ou seja, visa garantir a eficácia, a precisão e a confiabilidade na condução do projeto (MATIAS PEREIRA, 2016). Ainda Matias Pereira (2016, p.43), define a metodologia como “a lógica do procedimento científico e tem um caráter normativo, que se diferencia claramente da teoria (substantiva) ”.

“O método é um instrumento do conhecimento que proporciona aos pesquisadores, em qualquer área de sua formação, orientação geral que facilita planejar uma pesquisa, formular hipóteses, coordenar investigações, realizar experiências e interpretar os resultados” (FACHIN, 2017, p.27). “O método é a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um certo fim dado ou um resultado desejado. Nas ciências, entende-se por método o conjunto de processos empregado na investigação e na demonstração da verdade” (CERVO *et al*, 2014, p. 27).

Segundo Nascimento (2016), a metodologia de pesquisa é um tipo de método capaz de trazer conhecimentos e explicar como fazer para aplicar esses conhecimentos com a utilização de ferramentas, procedimentos e técnicas com o objetivo de chegar a um denominador final. Sob o mesmo ponto de vista Nascimento (2016, p.11), define ainda que “a metodologia proporciona flexibilidade aos caminhos e alternativas na resolução dos problemas para os quais procuramos resultados apropriados em relação aos propósitos pretendidos”.

#### 3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa é um processo dedicado à busca e aquisição de informações relevantes com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre um determinado assunto ou tópico específico. E de acordo com Gil (2022), a pesquisa é um procedimento que tem como propósito oferecer respostas para um determinado problema, podendo ser feita de diversas formas e com a utilização de várias ferramentas. “A pesquisa é desenvolvida mediante o concurso dos

conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos e técnicas de investigação científica” (GIL, 2022, p.17).

Para Nascimento (2016, p.14), “a pesquisa é o principal caminho para o saber, o pensar, o criar e construir. A pesquisa é o caminho para a descoberta de novas oportunidades e novos conhecimentos”. Além disso, Nascimento (2016), destaca que o ato de realizar pesquisas permite fazer algumas afirmações e perguntas acerca do tema permitindo assim novos questionamentos.

Fachin (2017), descreve que a pesquisa é entendida como uma forma de buscar um determinado assunto com o intuito de encontrar uma definição que ajude na solução dos problemas, sendo considerada assim o ponto de partida para a realização de um trabalho. Maffei *apud* Lozado e Nunes (2019, p.66), “apontam que uma pesquisa nasce a partir de uma ideia, que é a primeira etapa do planejamento do estudo a ser desenvolvido, o ponto de partida da pesquisa em si ”.

As pesquisas podem ser categorizadas de diversas maneiras, considerando diferentes critérios e métodos de classificação. “Cada pesquisa é naturalmente diferente de qualquer outra. Daí a necessidade de previsão e provisão de recursos de acordo com a sua especificidade” (GIL, 2022, p.40).

As classificações das pesquisas podem variar de acordo com a sua finalidade sendo essencial definir o critério para a classificação da pesquisa, possibilitando a adoção de sistemas de categorização distintos, os quais podem ser baseados em critérios de cada área de conhecimento (GIL, 2022).

## **3.2 Classificação das pesquisas de acordo com a forma de abordagem de pesquisa**

### **3.2.1 Pesquisa qualitativa**

A classificação das pesquisas de acordo com a forma de abordagem, inclui um tipo fundamental de pesquisa que é a pesquisa qualitativa, muito importante e que é amplamente empregada para realizar diversas análises em diferentes áreas de estudo. Segundo Marconi e Lakatos (2021), a pesquisa qualitativa tem como objetivo a realização de coleta de dados realizadas em campo com o propósito de selecionar informações para serem analisadas e interpretadas.

De acordo com Creswell *et al* (2021, p.149), “os métodos qualitativos partem de dados baseados em texto e imagem, têm passos singulares na análise dos dados e se valem de diferentes abordagens”. Por outro lado, Sampieri *et al* (2013), descreve a pesquisa qualitativa como a utilização de coleta de dados sem a conferência numérica em suas pesquisas. Sob tal ótica Sampieri *et al* (2013), lista as características desse tipo de abordagem de pesquisa destacando que essa pesquisa é realizada com profundidade, em campo, podendo ser realizada mediante entrevista e sem utilização de dados estatísticos.

Segundo Gil (2021), a abordagem de pesquisa qualitativa tem como objetivo obter dados de situações reais, ou seja, se baseiam em situações existentes. “Os métodos qualitativos possibilitam ao pesquisador acompanhar as respostas dadas pelos indivíduos em tempo real, mediante uma conversa amigável sobre um assunto” (GIL,2021, p.16).

### **3.2.2 Pesquisa quantitativa**

A pesquisa quantitativa é um tipo de abordagem amplamente empregada em projetos de pesquisas. A pesquisa quantitativa é expressa pela coleta de dados com a finalidade de tratar esses dados por meio de uma medição numérica utilizando uma análise estatística, esse tipo de pesquisa apresenta características como a medição maior de fenômenos, utilização de dados estatísticos os quais comprovando as teorias e também ocorre a realização de análises desses dados (SAMPIERI *et al*, 2013).

Marconi e Lakatos (2021, p.328), definem a pesquisa quantitativa como “uma investigação que se apoia em regras da Lógica, particularmente do raciocínio dedutivo: com base na teoria, deriva expressões lógicas, as hipóteses, que deverão ser testadas”. Segundo Creswell *et al* (2021), define a pesquisa quantitativa como um método que utiliza variáveis numéricas para testar teorias com o objetivo de chegar a uma resposta mais concreta e objetiva.

“O objetivo geral das pesquisas quantitativas é explicar e prever fenômenos. Para isso, procuram identificar relações de causa e efeito, medir, relacionar e comparar variáveis” (MATTAR e RAMOS, 2021, p.133). “O método quantitativo, conforme o próprio nome sugere, tem como principal característica a utilização da quantificação, seja nas modalidades de coleta de informações ou no tratamento das mesmas” (MATIAS PEREIRA, 2016, p.86).

### 3.2.3 Pesquisa mista

A pesquisa mista é uma abordagem metodológica que integra componentes tanto da pesquisa quantitativa quanto da pesquisa qualitativa, sendo empregada com o propósito de oferecer uma análise mais abrangente e completa dos projetos de pesquisa. De acordo com Creswell *et al* (2021, p.3), “a pesquisa de métodos mistos é uma abordagem de investigação que envolve a coleta de dados quantitativos e qualitativos, integrando os dois tipos de dados e usando desenhos distintos que refletem pressupostos filosóficos e estruturas teóricas”.

Para Creswell *et al* (2021), elenca que a utilização da abordagem mista parte do princípio da relação entre os dados qualitativos e quantitativos gerando um desenvolvimento de compreensão que extrapola os dados qualitativos e quantitativos gerando assim uma nova abordagem de análise. De acordo com Creswell e Clark (2013, p.29), “antes de planejar um estudo de métodos mistos, os pesquisadores precisam considerar outros aspectos além de se seus problemas ou questões de pesquisa são adequados para métodos mistos”.

“A pesquisa de métodos mistos incorpora elementos das abordagens qualitativas e quantitativas, procurando, assim, gerar uma perspectiva mais completa dos fenômenos estudados” (MATTAR e RAMOS,2021, p.134). Sob a perspectiva de Creswell *et al* (2021, p.195), “a escolha de uma abordagem de métodos mistos particular está baseada em vários fatores que se relacionam à intenção dos procedimentos além das considerações práticas”.

### 3.3 Classificação das pesquisas de acordo com seus objetivos

O propósito fundamental de qualquer pesquisa é buscar e obter informações relevantes sobre um determinado assunto e com isso Gil (2022), faz uma classificação das pesquisas de acordo com seus objetivos classificando assim em três tipos sendo a exploratória, descritiva e explicativa.

De acordo com Gil (2022), a pesquisa exploratória tem como objetivo criar uma base de conhecimento com o intuito de criar hipóteses para o estudo. As pesquisas descritivas como o próprio nome diz tem como objetivo fazer uma descrição de um determinado fenômeno. A pesquisa explicativa tem como objetivo a identificação de elementos que ajudam na identificação de fenômenos.

### **3.3.1 Pesquisa exploratória**

O principal objetivo de uma pesquisa é buscar e obter informações relevantes sobre um determinado tema e um tipo de pesquisa frequentemente utilizado para esse fim é a pesquisa exploratória. Fundamentado por Gil (2022), a pesquisa exploratória tem como objetivo criar uma base de conhecimento com o intuito de criar hipóteses para o estudo. Ainda Gil (2022), afirma que a maioria das pesquisas feitas no âmbito acadêmico tem no seu momento inicial caráter de pesquisa exploratória, devido à falta de definição clara e objetiva sobre a pesquisa.

“Um projeto de pesquisa exploratória é uma tentativa de estabelecer as bases que levarão a estudos futuros ou determinarão se o que está sendo observado pode ser explicado por uma das teorias existentes” (SORDI, 2017, p.76). Bonho (2018, p.42), “pesquisa exploratória é considerada uma pesquisa preliminar para definir a natureza exata do problema a ser resolvido e obter melhor compreensão do ambiente no qual ele está ocorrendo”.

### **3.3.2 Pesquisa descritiva**

A pesquisa descritiva, assim como a exploratória, é um tipo de pesquisa que é classificada de acordo com seus objetivos. E de acordo com Sordi (2017), a pesquisa exploratória tem como finalidade estabelecer uma base sólida para a construção da pesquisa descritiva, ou seja, estabelecer dados iniciais e informações para ocorra a pesquisa descritiva.

Segundo Gil (2022, p.42) “as pesquisas descritivas têm como objetivo a descrição das características de determinada população ou fenômeno. Podem ser elaboradas também com a finalidade de identificar possíveis relações entre variáveis”. De acordo Walliman (2015, p.8), “a pesquisa com natureza descritiva almeja examinar situações de modo a estabelecer um padrão que pode ocorrer em outros sob as mesmas circunstâncias”.

A pesquisa descritiva pode ser direcionada para diversas finalidades sendo uma das quais inclui o estudo dos objetivos de determinado conjunto populacional ou de fenômeno de interesse particular, além disso esse tipo de pesquisa também pode ser orientado com o objetivo de relacionar variáveis para a condução e obtenção de dados para a realização da pesquisa (GIL, 2022).

### 3.3.3 Pesquisa explicativa

As pesquisas explicativas, assim como as pesquisas exploratórias e descritivas, estão relacionadas com o objetivo da pesquisa. De acordo com o ponto de vista de Gil (2022, p.42), “as pesquisas explicativas têm como propósito identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Essas pesquisas são as que mais aprofundam o conhecimento da realidade, pois têm como finalidade explicar a razão, o porquê das coisas”.

Segundo Sordi (2017), a abordagem de pesquisa do tipo explicativa busca esclarecer as razões das relações específicas por meio do emprego de testes de hipóteses com o objetivo de trazer compreensão entre as interações entre divergentes variáveis, ou seja, esse tipo de pesquisa tem como objetivo investigar e fornecer explicações sobre como as variáveis diferentes se relacionam uma com as outras.

### 3.4 Classificação das pesquisas de acordo com procedimentos técnicos

As pesquisas realizadas podem ser categorizadas com base nos métodos técnicos empregados. E segundo Matias Pereira *apud* Gil (2016), essas pesquisas podem ser classificadas como pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, levantamento, estudo de caso, pesquisa *ex post facto*, pesquisa-ação e pesquisa participante.

“A pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, essa modalidade de pesquisa inclui ampla variedade de material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos” (GIL, 2022, p.44). A pesquisa bibliográfica oferece benefícios na descoberta de questões concretas, pois permite uma investigação mais profunda e ampla, isso ocorre devido a exploração e análise de conceitos de fontes existentes contribuindo assim para uma base mais sólida sobre o assunto (GIL, 2022).

“Toda pesquisa acadêmica tem uma pesquisa bibliográfica para que se possa verificar como o tema-problema foi tratado em outras experiências, para verificar que evolução conceitual e/ou metodológica pode ter ocorrido com os estudos já realizados” (CORDEIRO FILHO *et al*, 2015, p.64).

“A pesquisa documental é utilizada em praticamente todas as ciências sociais e constitui um dos delineamentos mais importantes no campo da História e da Economia” (GIL, 2022, p.45). A pesquisa documental é um tipo de pesquisa que quando é construída, a partir de fontes

que não submetidas a uma análise, seus dados analíticos podem assim serem refeitos fazendo com seja possível a realização de uma análise analítica (CORDEIRO FILHO *et al*, 2015).

A pesquisa experimental tem como objetivo definir um campo de estudo, fazendo a seleção e a definição de variáveis que podem influenciar nos resultados e por fim realizando a observação dos efeitos dessas variáveis no resultado final do estudo (GIL, 2022). Sob a perspectiva de Walliman (2015, p.9), “a pesquisa experimental tenta isolar e controlar cada uma das condições relevantes que determinam os eventos investigados para, então, observar os efeitos quando tais condições são manipuladas”.

O levantamento é um tipo de pesquisa que busca obter informações diretamente das pessoas, por meio de perguntas diretas, com o objetivo de coletar dados relevantes sobre um problema específico, permitindo assim uma interação direta com os participantes a fim de explorar suas perspectivas, opiniões e experiências, onde seus dados são analisados para que haja uma compreensão mais profunda do tópico estudado (GIL, 2022). Uma pesquisa de levantamento é definida, segundo Cordeiro Filho *et al* (2015, p.66), “quando a pesquisa envolve a interrogação direta das pessoas, cujo comportamento se deseja conhecer, a partir de critérios estatísticos (usa-se censo ou amostras) ”.

“Quando o levantamento recolhe informações de todos os integrantes do universo pesquisado, tem-se um censo. Os censos são muito úteis, pois proporcionam informações gerais acerca das populações, que são indispensáveis em boa parte das investigações sociais” (GIL, 2022, p.48).

O estudo de caso é definido por Gil (2022, p.49), como o “estudo profundo e exaustivo de um ou poucos casos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento; tarefa praticamente impossível mediante outros delineamentos já considerados”. Sob o ponto de vista de Cordeiro Filho *et al* (2015), o estudo de caso é um tipo de pesquisa que envolve a investigação minuciosa e detalhada de um determinado objeto com o objetivo de obter o conhecimento profundo sobre o objeto de estudo.

Pesquisa *ex post facto* ocorre “quando o “experimento” se realiza depois dos fatos” (MATIAS PEREIRA *apud* GIL, 2016, p.91). De acordo com Cordeiro Filho *et al* (2015), a pesquisa *ex post facto* é realizada quando o estudo é feito depois da ocorrência dos eventos, ou seja, o pesquisador não tem influência sobre as variações que podem afetar o fenômeno investigado.

Williman (2015), define que a pesquisa-ação é um método de pesquisa desenvolvida com o propósito de investigar um problema específico em um contexto particular, sendo essa abordagem envolvida diretamente com a participação do pesquisador no ambiente de estudo com objetivo de compreender e transformar melhor a situação estudada.

“A pesquisa-ação vem emergindo como uma metodologia para intervenção, desenvolvimento e mudança no âmbito de grupos, organizações e comunidades” (GIL, 2022, p.54).

“Pesquisa participante: quando se desenvolve a partir da interação entre pesquisadores e membros das situações investigadas, com os pesquisadores assumindo função no grupo pesquisado” (CORDEIRO FILHO *et al*, 2015, p.67). Segundo Matias Pereira *apud* Gil (2016, p.91), “pesquisa participante: quando se desenvolve a partir da interação entre pesquisadores e membros das situações investigadas”

### **3.5 Metodologia de pesquisa usados**

A metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho é categorizada com base na sua abordagem, nos objetivos e nos procedimentos técnicos adotados.

Neste estudo, a metodologia de pesquisa é direcionada pela combinação de abordagens quantitativas e qualitativas, com o objetivo de analisar o impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes diferentes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica. A abordagem quantitativa concentra-se na entrega de valores das cargas térmicas, sendo essencial para avaliar os efeitos das variações da utilização de diferentes fluidos no sistema. Por outro lado, a abordagem qualitativa se faz presente pois considera o impacto geral dos diferentes fluidos refrigerantes na câmara frigorífica sem a necessidade de utilizar números.

A pesquisa em relação aos seus objetivos utilizada nesse estudo é a pesquisa exploratória pois visa realizar uma análise do impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica.

Em relação aos procedimentos técnicos desse trabalho são utilizados as pesquisas bibliográfica, experimental e o estudo de caso. A pesquisa bibliográfica tem como objetivo definir os conceitos relacionados com a refrigeração e suas aplicações, fluidos refrigerantes enfatizando suas características, aplicações e propriedades, ciclos de refrigeração, câmaras frigoríficas, carga térmica e a utilização de software para realização de simulações.

A pesquisa experimental tem como objetivo utilizar uma câmara frigorífica real de uma determinada fabricante para realizar a simulação e o estudo de caso que está relacionado com o estudo da câmara frigorífica.

### 3.6 Materiais e métodos

Materiais e métodos são componentes interligados em um estudo e tem como finalidade estabelecer diretrizes e procedimentos para orientação da execução da pesquisa. Nesse trabalho é detalhado os materiais e métodos que são utilizados para a realização da análise do impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica, com o objetivo de elencar como o procedimento é realizado. O fluxograma é mostrado na figura 11.

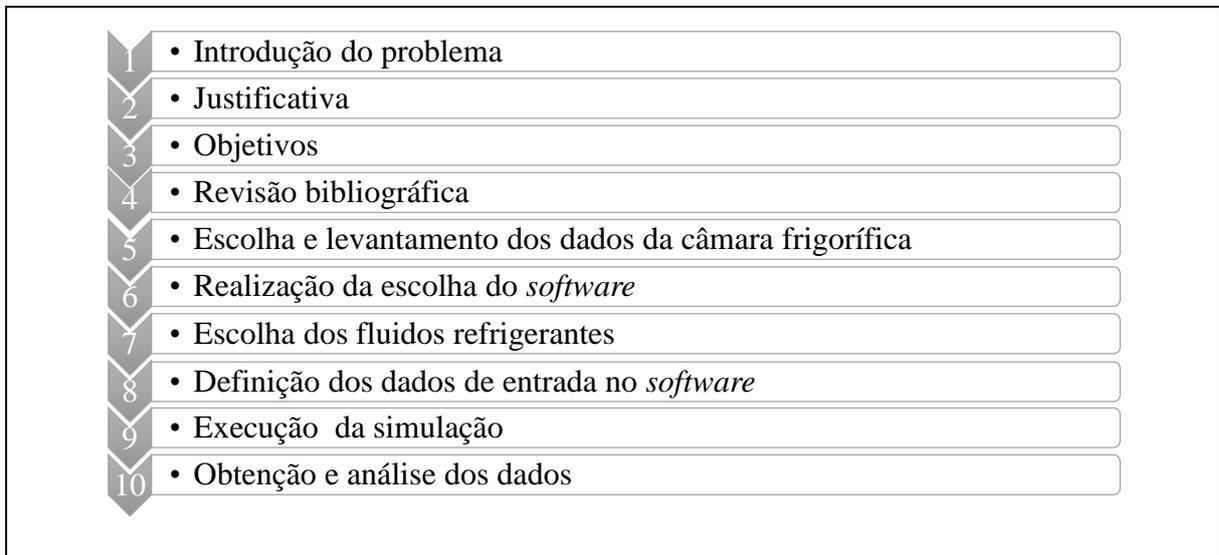


Figura 11: Fluxograma de materiais e métodos  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

Conforme observado no fluxograma da figura 11, o ponto de partida inicial envolve a elaboração de uma introdução, na qual se contextualiza o problema em questão. Nessa etapa realiza-se uma ampla abordagem do tema, como área geral de estudo, que é a refrigeração e área específica que engloba as câmaras frigoríficas, fluidos refrigerantes, carga térmica e *software* e também a área de atuação que se relaciona com a conservação de produtos. Com base nesses elementos uma pergunta problema foi formulada servindo como o ponto de origem para o desenvolvimento do estudo.

A segunda etapa deste estudo, a justificativa tem como objetivo de estabelecer razões que motivaram a realização da pesquisa destacando a importância dos sistemas de refrigeração,

a evolução dos sistemas de refrigeração ao longo do tempo que desempenhou papel fundamental no desenvolvimento das câmaras frigoríficas, a importância dos fluidos refrigerantes para o sistema de refrigeração e a utilização de *softwares* para simulações.

O terceiro passo deste estudo procede-se na definição clara e precisa dos objetivos, considerando os objetivos gerais e os específicos, com o intuito de guiar a investigação de forma estruturada e direcionada.

O quarto passo é o desenvolvimento da revisão bibliográfica que compreende tópicos como refrigeração e suas aplicações, fluidos refrigerantes enfatizando suas características, aplicações e propriedades, ciclos de refrigeração, câmaras frigoríficas, carga térmica e a utilização de software para realização de simulações.

No quinto passo, inicia-se a etapa de seleção e coleta de dados referentes à câmara frigorífica. Nessa seleção é realizada a escolha de uma câmara frigorífica a partir um catálogo que contém informações técnicas acerca da câmara frigorífica.

O sexto passo envolve a seleção do *software* a ser utilizado para a condução das simulações. A escolha do *software* de simulação é uma decisão muito importante que tem influência direta na qualidade e na precisão das análises para atingir o objetivo final do estudo.

No sétimo passo deste estudo, procede-se à seleção dos fluidos refrigerantes com o propósito de analisar o sistema de refrigeração da câmara frigorífica funcionando com diferentes fluidos.

O oitavo passo deste processo, consiste na definição dos dados de entrada que serão inseridos no *software* de simulação da câmara frigorífica. Esses dados incluem o tamanho da câmara frigorífica, variáveis relacionadas a troca de ar (como temperatura do local, abertura das portas e umidade relativa), condições da câmaras (como temperatura interna, umidade relativa e horas de funcionamento), o tipo de produto armazenado na câmara (incluindo quantidade diária, temperatura de entrada e variações de temperatura). Além disso, também é importante considerar o número de pessoas que ocupam diariamente a câmara, a carga de iluminação, motores e outros equipamentos de produção de calor.

O nono passo é a execução das simulações da câmara frigorífica, empregando diferentes fluidos refrigerantes. Essa etapa de simulação é realizada após a configuração do *software* com os dados de entrada correspondentes ao cenário planejado.

A fase final deste estudo consiste na obtenção e análise dos dados gerados pela simulação. Esta análise é realizada por meio dos dados obtidos durante a simulação, juntamente com a elaboração de gráficos e tabelas no *software Microsoft Excel*, com o objetivo de realizar representações visuais para auxiliar na compreensão e interpretação dos resultados dados de maneira mais eficaz.

### 3.6.1 Descrição da aplicação

A descrição da aplicação visa analisar os impactos resultantes que as utilizações de diferentes fluidos refrigerantes causam no sistema de refrigeração de câmaras frigoríficas. Para este fim, foi conduzida uma pesquisa abrangente sobre variados modelos disponíveis de câmara frigorífica no mercado, tendo como foco principal a seleção de uma câmara frigorífica para análise.

A realização da pesquisa e as análises possibilitaram a seleção de uma câmara frigorífica do catálogo da Gallant, uma empresa renomada por sua especialização na fabricação desses sistemas de refrigeração.

### 3.6.2 Especificação da câmara frigorífica

A câmara frigorífica selecionada corresponde a um modelo fornecido pela empresa Gallant cujas especificações estão disponíveis em seu catálogo. As figuras 12 e 13 mostram as representações visuais da câmara frigorífica selecionada.



Figura 12: Câmara Frigorífica - perspectiva 1  
Fonte: Gallant (2023).



Figura 13: Câmara Frigorífica - perspectiva 2  
Fonte: Gallant (2023).

Observa-se nas Figuras 12 e 13 uma visão detalhada da câmara frigorífica da Gallant, destacando o seu projeto, seu sistema de quadro de comando, a estrutura da porta e a unidade condensadora.

As características da câmara são compostas por:

- Especificações gerais;
- Itens e acessórios;
- Especificações técnicas;
- Dimensões da câmara.

A tabela 15 representa as especificações gerais da câmara frigorífica, sendo os itens e acessórios que compõem a câmara frigorífica apresentados na tabela 16. A tabela 17 representa as especificações técnicas e a tabela 18 mostra as dimensões da câmara frigorífica.

Tabela 15: Especificações gerais da câmara frigorífica

<b>Variável</b>	<b>Especificação</b>
Linha	Gallant Refrigeração
Categoria	Câmara fria
Voltagem	220V/3F
Sistema de refrigeração	Elgin
Tamanho	3X3
Resfriado ou congelado	Congelado
Capacidade	3000 kcal/h
Piso	Com piso

Fonte: Adaptado de Gallant (2023).

Tabela 16: Itens e acessórios

<b>Itens e acessórios</b>
Cantoneiras (externas e internas) e perfil U (quando aplicável)
Estrados de PCV para piso, painel e soleira de alumínio para a porta
Selante siltano MS e rebites
Encanamento de PCV para saída do esgoto e válvula solenoide e de expansão completa
Filtro secador e visor de líquido
Barra roscada para fixação do evaporador, sifão de cobre e porca forjada
Cabos pp para alimentação do sistema de refrigeração e iluminação da câmara fria
7,5 m de tubulação de cobre para sucção e para a linha de líquido
Canaleta de acabamento de 2 m e quadro de comando digital

Fonte: Adaptado de Gallant (2023).

Tabela 17: Especificações técnicas da câmara frigorífica

<b>Especificações Técnicas</b>
Marca: Gallant (Cor branca)
Faixa de temperatura: 0°C a -18°C (Modelo congelados)
Indicação: Mercados, Padarias, Açougues, Comércio, entre outros
Isolamento: 150mm EPS (Poliestireno) /Aço
Piso: Pannel de 150mm com estrados de PCV para proteção
Porta: Giratória, Injetada poliuretano, tamanho 0,80×1,80m
Unidade condensadora: Hermética, Marca Elgin
Capacidade: 3000 kcal/h
Fluído refrigerante: R404
Voltagem de 220V/3F e potência de 2283W
Evaporador: Forçador de 3 moto ventiladores de 250mm
Vazão de ar interno: 2867m³/h
Degelo: Degelo Elétrico
Consumo médio: 3,03kW/h
Iluminação: Lâmpada LED
Peso: 680 kg
Garantia: Garantia Legal de 3 Meses + 6 Meses de Garantia Estendida Gallant

Fonte: Adaptado de Gallant (2023).

Tabela 18: Dimensões da câmara

<b>Dimensões</b>	<b>Internas</b>	<b>Externas</b>
Comprimento	3,18m	3,42m
Largura	3,42m	3,66m
Altura	2,40m	2,40m

Fonte: Adaptado de Gallant (2023).

A tabela 15 apresenta as especificações gerais da câmara frigorífica, organizadas em duas seções claramente definidas, onde abrangem as listas das variáveis juntamente com suas respectivas especificações possibilitando uma visualização mais clara e estruturada dos dados fornecidos. Na tabela 16 detalha-se os itens e acessórios essenciais usados no sistema de refrigeração e na operação da câmara frigorífica.

Na tabela 17 observa-se as especificações técnicas da câmara frigorífica, fornecendo uma visão completa das características e configurações específicas deste equipamento. A tabela 18 apresenta as dimensões da câmara frigorífica da Gallant detalhando tanto suas dimensões internas quanto externas, incluindo detalhes sobre comprimento, largura e altura.

### 3.6.2.1 Especificações da unidade condensadora

A unidade condensadora da Elgin UCB 4400(4Hp), com tensão de 220V e configuração trifásica é destinada à utilização em diversos equipamentos, incluindo expositores e balcões de congelados, máquinas de sorvete, câmaras congeladas, túneis de congelamento e freezers de congelamento rápido, seu uso é especificamente desenhado para atender as demandas de refrigeração, garantindo eficiência e desempenho para as aplicações comerciais com a utilização do fluido refrigerante R-404A (GALLANT,2023). A figura 14 representa a unidade condensadora da Elgin.

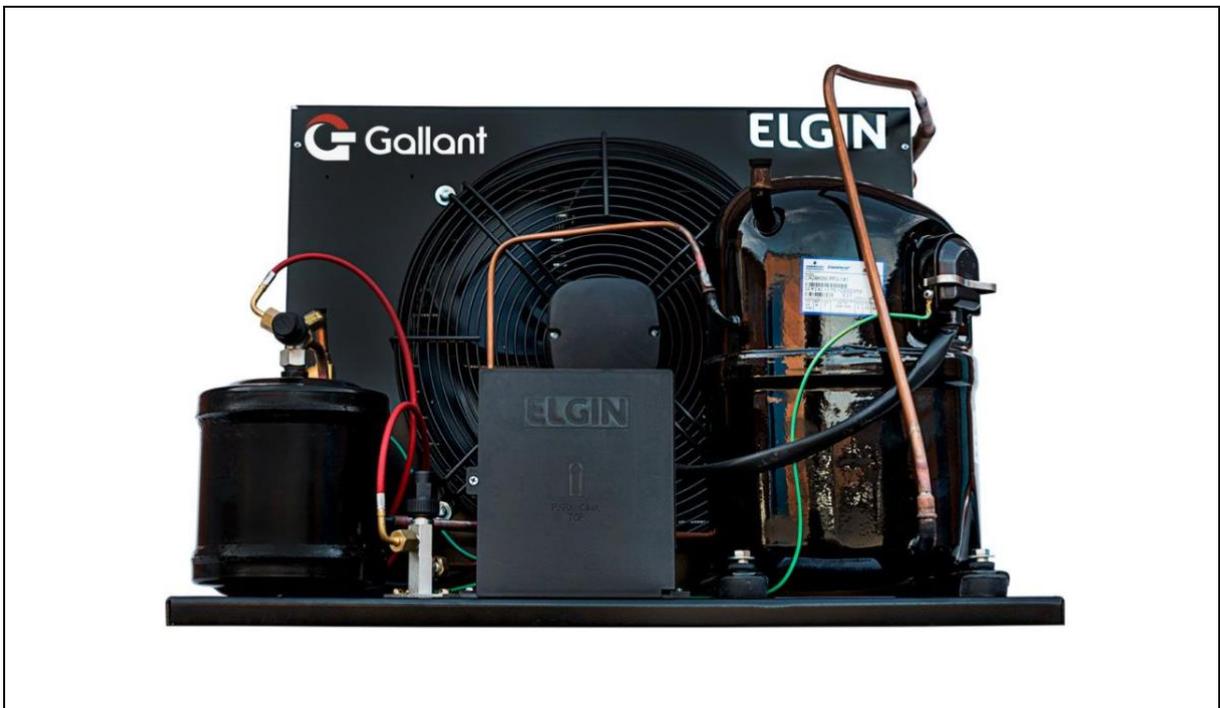


Figura 14: Unidade condensadora  
Fonte: Gallant (2023).

A figura 14 representa a unidade condensadora utilizada na câmara frigorífica da Gallant, fabricada pela empresa Elgin. Nesta imagem são evidenciadas as conexões dos componentes, incluindo também detalhes do ventilador e do compressor.

A tabela 19 apresenta as especificações técnicas da unidade condensadora.

Tabela 19: Especificações técnicas da unidade condensadora

<b>Especificações Técnicas</b>
Marca: Elgin (Modelo UCB 4400) com referência comercial de 4,0 HP
Tensão: 220V/3F (Trifásico)
Fluido Refrigerante: R-404A
Dimensões externas (CxLxAlt): 0,52 m X 0,87 m X 0,7 m
Faixa de evaporação: -5°C a -30°C (aplicação em baixas temperaturas)
Faixa de capacidade: 3580 a 9560 kcal/h
Frequência: 60Hz
Compressor: Hermético, marca Elgin
Condensador: Aletas de alumínio auto espaçadas com tubos de cobre
Ventilador: 01 ventilador de Ø 450 mm (¼ HP) 220V-3F com proteção térmica
Potência Total: 4,1 kW
Corrente: 11,7 amperes
Conexão de descarga ( 1/2”),conexão de sucção(3/4”) e conexão de líquido (1/2”)
Capacidade do tanque de líquido: 6,0 litros
Dimensão de embalagem (CxLxAlt): 0,57m X 0,96m X 0,8m
Peso Bruto (78 kg) e peso líquido (72kg)
Itens e acessórios da unidade condensadora: Tanque de líquido, filtro secador, visor de líquido, pressostato de alta/baixa pressão e válvulas rotolock.
Garantia: 12 meses

Fonte: Adaptado de Gallant (2023).

A tabela 19 apresenta as especificações técnicas detalhadas da unidade condensadora evidenciando suas capacidades, características e componentes principais.

### 3.6.2.2 Especificações do evaporador

O evaporador de baixo perfil *Elgin*, com resistência 220V Mono FXBE 039-3 é especialmente projetado para atender aplicações comerciais como câmaras frigoríficas. Este evaporador é equipado com sistemas de degelo elétrico ou natural assegurando a máxima eficiência (GALLANT,2023). A figura 15 fornece a ilustração deste evaporador da *Elgin*.



Figura 15: Evaporador  
Fonte: Gallant (2023).

A figura 15 representa o evaporador utilizado na câmara frigorífica da Gallant, fabricada pela empresa Elgin. Nesta imagem são evidenciados os ventiladores e incluindo também detalhes do layout do evaporador.

A tabela 20 apresenta as especificações técnicas do evaporador.

Tabela 20: Especificações técnicas do evaporador

<b>Especificações Técnicas</b>
Marca: ELGIN (Modelo FXBE 039-3)
Tensão: 220V/1F (monofásica)
Fluído Refrigerante: R-22 / R-134a / R-404A / R507A / R407C
Faixa de evaporação: 0°C a -35°C (aplicação baixa/baixa temperatura)
Faixa de capacidade: 2784 a 4149 kcal/h
Frequência: 60 Hz
Vazão de ar: 2.867 m <sup>3</sup> /h
Aletado: Aletas de alumínio auto espaçadas de 6mm com tubos de cobre
Ventilador: 03 ventiladores de Ø 250mm (1/25 HP) 220V-1F c/ hélice de plástico
Potência unitária das resistências: 1500 Watts (duas resistências)
Corrente dos ventiladores: 1,4 amperes
Corrente das resistências: 13,5 amperes
Entrada de 1/2" e saída de 5/8"
Conexão do dreno: 1"
Dimensões externas (CxLxA): 1,3m X 0,44m X 0,36m
Dimensão de embalagem (CxLxA): 1,36m X 0,44m X 0,43m
Peso Bruto 38 kg e peso líquido de 36 kg
Itens e acessórios do evaporador: Caixa de Ligação elétrica, difusor de ar em ABS, válvula schrader no coletor de saída

Fonte: Adaptado de Gallant (2023).

Destaca-se na tabela 20 as especificações técnicas detalhadas do evaporador evidenciando suas características operacionais e suas capacidades.

### **3.6.3 Seleção do *Software***

A seleção do *software* é um passo fundamental para a condução das simulações e obtenção dos dados. Nesse contexto, foram realizadas pesquisas a respeito de *softwares*

destinados a simulações resultando na identificação do *Coolselector*®2 como opção mais promissora para atingir os objetivos finais pretendidos.

O *Coolselector*®2, desenvolvido pela empresa *Danfoss*, exibe uma considerável versatilidade ao promover recomendações aos usuários na realização da seleção mais adequada com base em parâmetros do sistema de refrigeração, como a capacidade de refrigeração, o fluido refrigerante, temperatura de evaporação e condensação, entre outras variáveis críticas do sistema (DANFOSS, 2023).

### **3.6.4 Seleção dos fluidos refrigerantes**

A seleção dos fluidos refrigerantes foi fundamentada com base nos dados da câmara frigorífica, onde o primeiro fluido refrigerante selecionado foi o R-404A conforme é especificado na tabela 17. Além disso, para efeitos de comparação foram considerados o R-448A e R-452A, sendo a escolha desses três fluidos também influenciada pela a disponibilidade dos fluidos refrigerantes no *software* utilizado.

“O refrigerante R 448A apresenta-se como uma mistura zeotrópica de componentes HFC e HFO com potencial ODP não relevante” (TAZZETTI, 2023). Ainda TAZZETTI (2023), destaca que esse fluido refrigerante tem GWP baixo sendo considerado um potencial substituto dos refrigerantes R 404A e também para aplicações a médio e baixa temperatura. “O refrigerante R-452A representa uma solução de baixo impacto ambiental para a conversão de sistemas para substituir o R-404A e outros refrigerantes HFC” (TAZZETTI, 2023). Com isso, os baixos índices de potencial de aquecimento global, também justifica a seleção do R-448A e do R-452A.

### **3.6.5 Definição dos dados de entrada**

#### **3.6.5.1 Condições externas**

As condições externas do projeto envolvem a consideração da temperatura do local onde a câmara está situada. Para a realização da simulação em questão, a cidade de Belo Horizonte em Minas Gerais, foi selecionada como ponto de referência. Os dados correspondentes a essas condições são apresentados na tabela 21, sendo essenciais para a realização da simulação.

Tabela 21: Dados climáticos

CIDADE	TEM. DE BULBO SECO (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	ALTITUDE (M)
Belo Horizonte	32,0	52,0	858,0
Cuiabá	36,0	50,0	176,0
Florianópolis	32,0	62,0	nível do mar
Manaus	35,0	65,0	92,0
Recife	32,0	62,0	nível do mar
Rio de Janeiro	35,0	50,0	nível do mar
Salvador	32,0	62,0	nível do mar
São Paulo	31,0	55,0	760,0

Fonte: Venturi e Pirani (2005).

A tabela 21 apresenta os registros referentes à temperatura de bulbo seco, umidade relativa e altitude relativos da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais.

### 3.6.5.2 Dimensões da câmara

Os dados fornecidos na tabela 18 fornecem os parâmetros das dimensões internas e externas da câmara frigorífica fornecida pela empresa fabricante. Na condução da simulação serão empregadas unicamente as dimensões externas.

### 3.6.5.3 Quantidade de produto

A determinação da quantidade de armazenamento de produto na câmara frigorífica desempenha papel importante para o cálculo da carga térmica. Com base nas dimensões externas da tabela 18 tem-se o cálculo do volume disponível, permitindo uma seleção da quantidade de produto a ser estocada. A equação 15 descreve o cálculo do volume com base nas dimensões, enquanto a equação 16 fornece o valor exato desse volume.

$$V=CxLxAlt \quad (15)$$

Em que:

V=Volume da câmara (m<sup>3</sup>)

C=Comprimento (m)

L=Largura (m)

Alt=Altura (m)

$$V=3,42 \times 3,66 \times 2,64=33,045 \text{ m}^3 \quad (16)$$

Conforme os dados da tabela do anexo 1 (quantidade média de produto) e de acordo com o cálculo do volume expresso na equação 16, a média diária de congelado corresponde a 800 kg.

#### **3.6.5.4 Abertura de porta e circulação de pessoas**

Estima-se que a câmara é regularmente aberta ao longo do dia, com a presença regular de duas pessoas diariamente, ressaltando a importância da abertura regular e a presença constante de indivíduos no desempenho da câmara.

#### **3.6.5.5 Iluminação**

A tabela 17 demonstra as especificações técnicas da câmara frigorífica e de acordo com a mesma verifica-se que a câmara frigorífica utiliza lâmpadas de led em seu interior.

### **3.6.6 Realização da simulação**

A realização da simulação no *software* da *Coolselector*®2 é fundamental para a modelagem e análise de sistemas complexos, relacionados à refrigeração. Conforme o *layout* inicial do *software* no anexo 2, o *Coolselector*®2 compreende válvulas componentes em linha, componentes em série, aplicações comerciais e industriais, compressores e unidades condensadoras, controles eletrônicos, sensores e atuadores e aplicações personalizadas.

No anexo 2 que representa o *layout* inicial do *software* estão descritas as aplicações comerciais do *software*, abrangendo câmaras frigoríficas, lado de alta pressão transcrito, ferramenta de retrofit, unidade de recuperação de calor e prumada. Em conformidade com o propósito do estudo a aplicação selecionada é a função destinada à câmara frigorífica.

#### **3.6.6.1 Assistência de cálculo de carga térmica da câmara frigorífica**

O *software* da *Coolselector*®2 oferece a capacidade de seleção entre dois métodos para determinar a carga da câmara frigorífica sendo esses métodos expostos na figura 16.

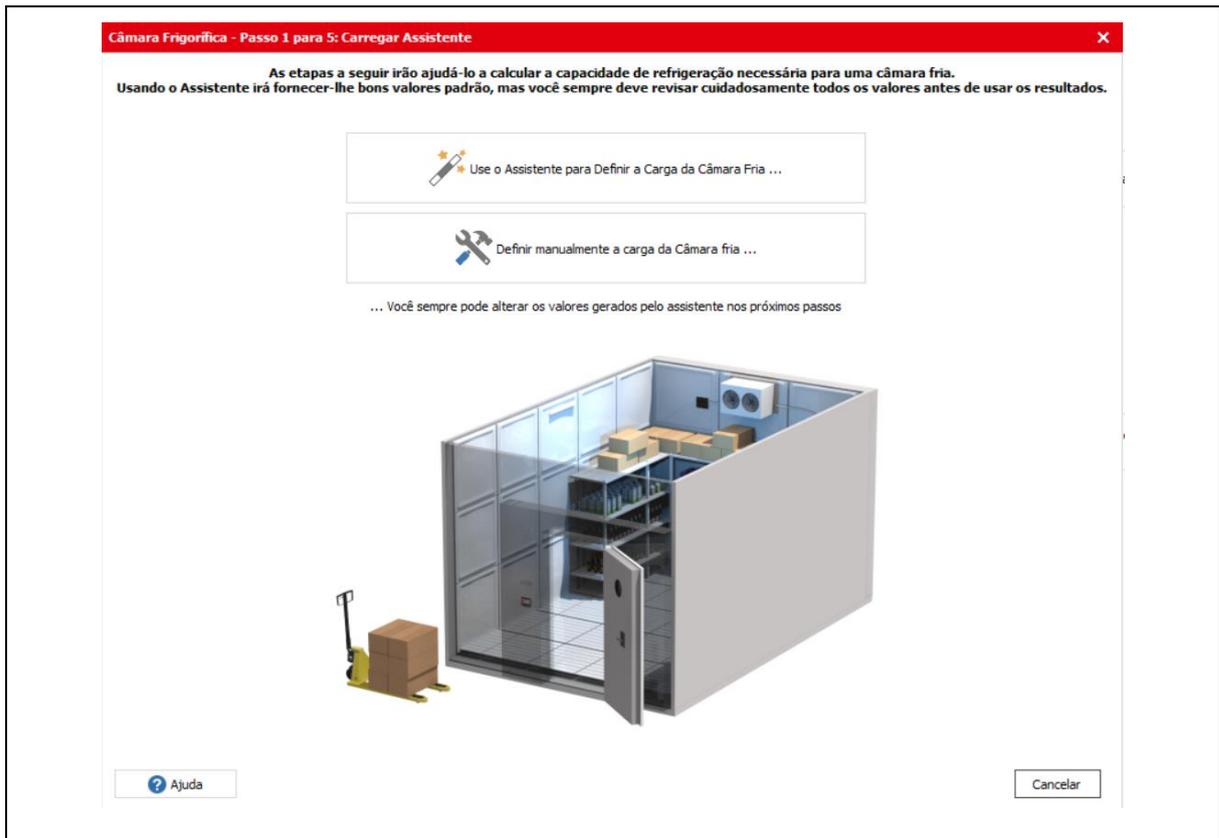


Figura 16: Assistência de carga  
 Fonte: Pesquisa Direta (2023).

A figura 16 ilustra a assistência de carga que conforme indicado na figura a seleção oferece duas opções, sendo essas alternativas o uso da assistência integrado do *software* e a opção manual. No contexto da simulação, a abordagem adotada compreende o emprego da assistência integrada fornecida pelo *software* para a realização da simulação.

### 3.6.6.2 Dimensões e arredores

Nessa etapa o *software* pede a inserção dos dados das dimensões internas ou externas da câmara frigorífica e também os dados no arredor da câmara como a temperatura do ambiente, temperatura do piso e umidade relativa.

As dimensões utilizadas correspondem às dimensões externas listadas na tabela 18. As informações referentes à temperatura ambiente e a umidade relativa estão contidas na tabela 21 e além disso, a temperatura do piso, considerando-o como isolado, é sugerida pelo *software*. A figura 17 apresenta os dados das dimensões e arredores utilizados na simulação.

Figura 17: Dados das dimensões e arredores  
 Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Observa-se na figura 17 as dimensões usadas na simulação e os dados do ambiente ao redor da câmara selecionados especificando valores de temperatura do ambiente, umidade relativa e temperatura do piso.

### 3.6.6.3 Seleção de produtos

O *software* exibe uma lista de produtos disponíveis para seleção, conforme evidenciado na figura 18, permitindo a escolha entre uma variedade de opções de produtos.

Figura 18: Exemplos de lista de produtos disponíveis  
 Fonte: Pesquisa Direta (2023).

A figura 18 demonstra a lista de alguns exemplos de produtos disponíveis no *software*, como produtos diversificados, produtos diversificados congelados, produtos de padaria, produtos de padaria congelados, bebidas, laticínios, peixe e peixe congelado.

De acordo com os dados da tabela 17 a câmara frigorífica selecionada destina-se ao armazenamento de produtos congelados. Portanto, a seleção do produto utilizado na simulação é mostrada na figura 19.

Figura 19: Seleção do produto usado na simulação  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na figura 19 observa-se a seleção do produto usado na simulação que neste caso é a carne congelada, juntamente com as especificações da quantidade de produtos selecionada e com a temperatura de entrada do produto sendo sugerida pelo *software*.

#### 3.6.6.4 Condições da câmara e painéis

As condições da câmara englobam a temperatura, umidade e horas de funcionamento da câmara frigorífica, enquanto as condições referentes aos painéis são caracterizadas pelo tipo de material empregado e sua espessura. A figura 20 ilustra esses parâmetros os quais foram selecionados em consonância com os dados da tabela 17.

Figura 20: Condições da câmara e dos painéis  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Demonstra-se na figura 20 as condições da câmara e dos painéis. No que se refere à câmara a temperatura é de  $-18^{\circ}\text{C}$ , a umidade relativa de 85%, que foram estimadas com base no produto selecionado, enquanto as horas de funcionamento foram sugeridas pelo aplicativo. A respeito das condições dos painéis observa-se a utilização do poliestireno, conforme indicado na tabela 18 que além de fornecer o tipo de material específica também a espessura.

### 3.6.6.5 Troca de ar (infiltração)

A infiltração de ar refere-se à quantidade de ar que entra na câmara por meio da abertura da porta. O *software* considera os dados de temperatura de entrada, umidade relativa, abertura das portas sendo disponível a escolha entre três opções, a regular, frequência e raro que influenciam diretamente na taxa de troca de ar. A figura 21 mostra a troca de infiltração (ar).

Figura 21: Troca de ar (infiltração)  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

A figura 21 ilustra a troca de infiltração (ar) utilizada para realizar a simulação. Esses dados foram retirados dos dados de entrada especificados.

### 3.6.6.6 Cargas adicionais

As cargas adicionais incluem fatores como a iluminação, potência do ventilador, presença de pessoas, método de degelo e outras variantes. As variáveis usadas na simulação são apresentadas na figura 22.

Figura 22: Cargas adicionais  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na figura 22 é demonstrada as cargas adicionais com seus valores que foram sugeridos pelo *software* e também o tipo de degelo utilizado na simulação com seus respectivos valores sugeridos também pelo *software*.

### 3.6.6.7 Revisão dos dados

O apêndice A apresenta uma revisão de todos os dados empregados durante o processo de simulação. Isso inclui informações detalhadas sobre as condições de entrada na câmara, as dimensões, condições do produto, trocas de ar, transferência de calor (painéis) e cargas adicionais. E também mostra as cargas térmicas parciais e total para o R-404A e o apêndice B mostra as condições de operação da câmara.

## 3.6.7 Unidade de condensação

Considerando os dados de entrada especificados de acordo com a região, a seleção da unidade condensadora pode ser feita a partir de uma lista disponível na *Danfoss*. Além da escolha da unidade condensadora essa lista também é apresentada os fluidos refrigerantes compatíveis com os dados fornecidos pela câmara. A figura 23 mostra a escolha desses dados de entrada da unidade condensadora.

Figura 23: Dados de entrada da unidade condensadora  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

A figura 23 ilustra a escolha da região da unidade condensadora e a escolha do fluido refrigerante, que nesse caso o primeiro fluido foi o R-404A. A unidade condensadora selecionada é mostrada no apêndice C.

### 3.6.8 Válvulas de expansão

O software permite a seleção de válvulas possibilitando escolher entre válvulas eletrônicas e termostáticas. A exemplificação dessa variável é mostrada na figura 24.

The screenshot shows a software window titled "Câmara Frigorífica - Passo 4 para 5: Válvula de expansão". The main instruction is "Selecione o modelo de válvula de expansão que você quer utilizar na sua Câmara Frigorífica". There are two radio button options: "Válvula de expansão eletrônica (ETS 6)" and "Válvula de expansão termostática:". The "Válvula de expansão termostática:" option is selected. Below this, there is a text input field for "Material da válvula de expansão termostática preferida:" with two radio button options: "Latão" (selected) and "Aço inoxidável". There are two images: one of an electronic expansion valve (ETS 6) on the left and one of a thermostatic expansion valve on the right. Below the images is a dropdown menu for "Tipo de conexão:" with "Solda ODF ANSI" selected. At the bottom left is an "Ajuda" button with a question mark icon. At the bottom right are "< Anterior" and "Próximo >" buttons.

Figura 24: Válvulas de expansão  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Observa-se na figura 24 os exemplos de válvulas disponíveis no catálogo e também a escolhida para a simulação no projeto. Os anexos 3 e 4 mostram as características e os dados técnicos da válvula escolhida.

### 3.6.9 Seleção do evaporador

A seleção do evaporador consiste na escolha da dimensão do mesmo, do número de ventiladores e evaporadores. A figura 25 mostra o evaporador.



Figura 25:Evaporador  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

A figura 25 ilustra as o evaporador utilizado na simulação. Sendo o evaporador selecionado é mostrado no apêndice D.

### 3.6.10 Simulação com outros fluidos refrigerantes

Para a simulação dos fluidos refrigerantes R-448A e R-452A utilizou-se os dados idênticos do R-404A, exceto pela alteração do fluido refrigerante no sistema de refrigeração, permitindo assim uma comparação do desempenho dos diferentes fluidos refrigerantes mantendo a consistência dos métodos aplicados e garantindo a análise das variáveis obtidas nos resultados.

## 3.7 Variáveis e indicadores

Variável é fundamental em diversas áreas do conhecimento, especialmente nas ciências, estatísticas e pesquisa. Segundo Gil (2022, p.32) é definida como “tudo aquilo que pode assumir diferentes valores numéricos, como, por exemplo: temperatura, idade, renda familiar e número de filhos de um casal”. “Uma variável pode ser considerada como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração” (LAKATOS, 2021, p.161).

O indicador está diretamente relacionado com a variável e de acordo com Gil (2022, p.109) é indicado como “uma medida geralmente quantitativa que informa acerca de algum aspecto da realidade que está sendo estudada. “A seleção de indicadores é uma tarefa de grande

importância para as pesquisas, isso é devido ao fato de múltiplos indicadores poderem exprimir a mesma variável dificultando muitas vezes a escolha do indicador adequado (GIL, 2022). Na tabela 22 são mostrados as variáveis e os indicadores relacionados ao trabalho.

Tabela 22: Variáveis e indicadores

Variáveis	Indicadores
Refrigeração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicações.</li> </ul>
Fluidos refrigerantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características;</li> <li>• Classificação;</li> <li>• Propriedades.</li> </ul>
Câmara frigorífica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos e aplicações;</li> </ul>
Carga térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições internas e externas;</li> <li>• Transmissão de calor;</li> <li>• Infiltração de ar externo;</li> <li>• Produtos;</li> <li>• Diversas.</li> </ul>
<i>Softwares</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo.</li> </ul>

Fonte: Pesquisa direta (2023).

Observa-se na tabela 22 o fornecimento de uma estrutura das variáveis e indicadores em diversas áreas de estudo relacionadas à refrigeração, fluidos refrigerantes, câmara frigorífica, carga térmica e softwares.

### 3.8 Instrumento de coleta de dados

A coleta de dados é importante para qualquer tipo de estudo, independente da área. Neste estudo, os dados foram obtidos das seguintes maneiras:

- Revisão bibliográfica: essa revisão tem como objetivo coletar informações de fontes confiáveis e relevantes para ajudar no aprofundamento da pesquisa.

- Coleta de informações da câmara frigorífica via catálogo: essa etapa é realizada por meio da coleta de dados técnicos da câmara frigorífica de um catálogo de um fabricante específico, contendo informações detalhadas sobre o equipamento.

- Pesquisa de softwares disponíveis: essa fase tem como objetivo a realização de uma pesquisa de *softwares* disponíveis para simulação.

- Aquisição de dados de entrada da câmara: realizada por meio de pesquisas e coleta de informações relacionadas à câmara frigorífica.

### **3.9 Tabulação dos dados**

A tabulação dos dados foi realizada por meio de dois *softwares*: *coolselector*®2 utilizado para a realização das simulações e obtenção dos dados e do *Microsoft Excel* para a confecção de tabelas e gráficos.

### **3.10 Considerações finais**

No capítulo 3 é abordado a metodologia, o tipo de pesquisa, materiais e métodos, variáveis e indicadores, instrumento de coleta e tabulação de dados com a finalidade de alcançar o objetivo proposto no estudo.

No capítulo 4 são apresentados os resultados referentes a simulação da utilização dos diferentes fluidos refrigerantes na câmara frigorífica.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo tem como premissa a apresentação dos resultados obtidos, os quais constituem o conjunto de dados que responde à pergunta inicial e que fornecem a base necessária para as discussões subsequentes.

### 4.1 Obtenção de dados e análise dos resultados

#### 4.1.1 Carga térmica

A carga térmica representa um elemento importante nos sistemas de refrigeração, principalmente na seleção dos componentes da câmara frigorífica. Os resultados da simulação referentes a carga térmica para cada refrigerante estão representados nos apêndices E, F e G.

Com a obtenção desses dados é elaborado uma tabela e gerado um gráfico para realizar a comparação das cargas térmicas dos fluidos. Os dados das cargas térmicas são mostrados na tabela 23 e a figura 26.

Tabela 23: Carga térmica (kW)

Condições da câmara		
Fluido	Carga térmica (kW)	Porcentagem em relação ao R-404A
R-404A	1,846	100%
R-448A	3,652	198%
R-452A	1,740	94%

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

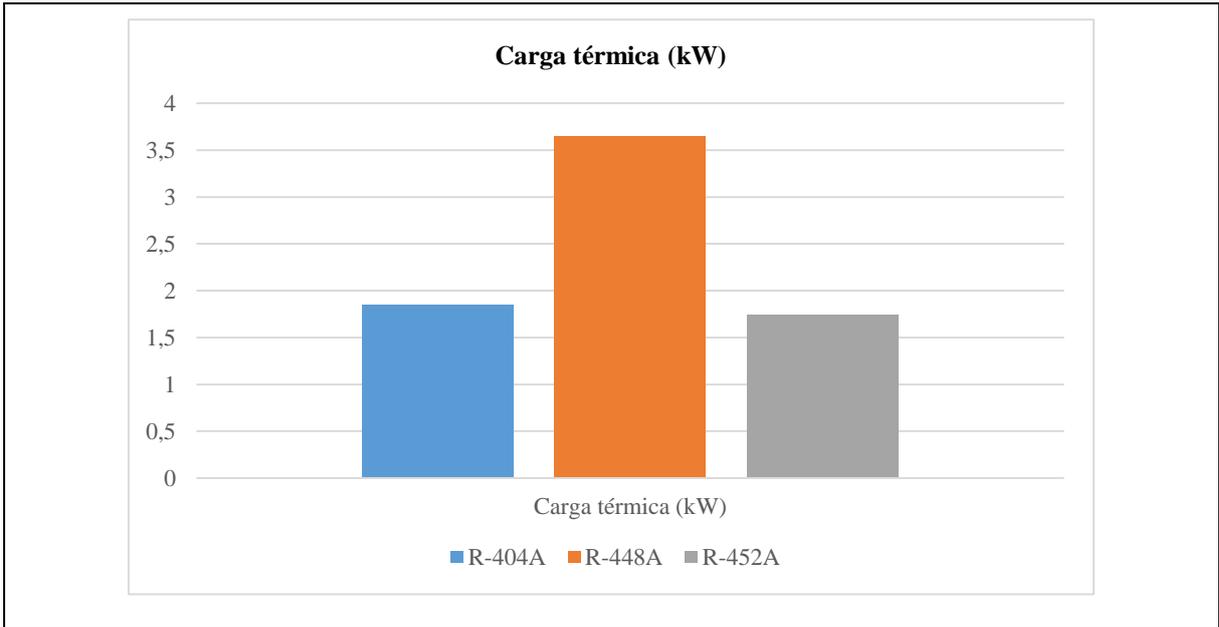


Figura 26: Gráfico comparativo da carga térmica  
 Fonte: Pesquisa Direta (2023).

A tabela 23 apresenta os dados referentes às cargas térmicas dos fluidos refrigerantes R-404 A, R-448A e R-452A, enquanto a figura 26 ilustra graficamente esses dados. Observa-se que o R-448A demonstra a carga térmica mais elevada, com um valor de 3,652 kW, que ao ser comparada com o R-404A verifica-se que o R-448 apresenta uma carga térmica de aproximadamente 198% superior, correspondendo a um acréscimo de 98% em relação ao R-404A. Em contrapartida, tanto o R-404A e o R-452A demonstram cargas térmicas comparativamente próximas, registrando respectivamente um valor de 1,846 kW e de 1,740 kW. A análise percentual revela que o R-452A possui uma carga térmica 94% da carga térmica quando comparada ao R-404A, correspondendo a um decréscimo de 6%. Com isso, o R-448A tem a maior capacidade de absorver ou dissipar calor entre os três fluidos refrigerantes, seguido pelo R-404A e, por último, o R-452A.

O *software* produz representações gráficas das cargas térmicas associadas aos fluidos refrigerantes R-404 A, R-448A e R452A, considerando as variações da temperatura ambiente. Estes gráficos são apresentados nas figuras 27, 28 e 29.

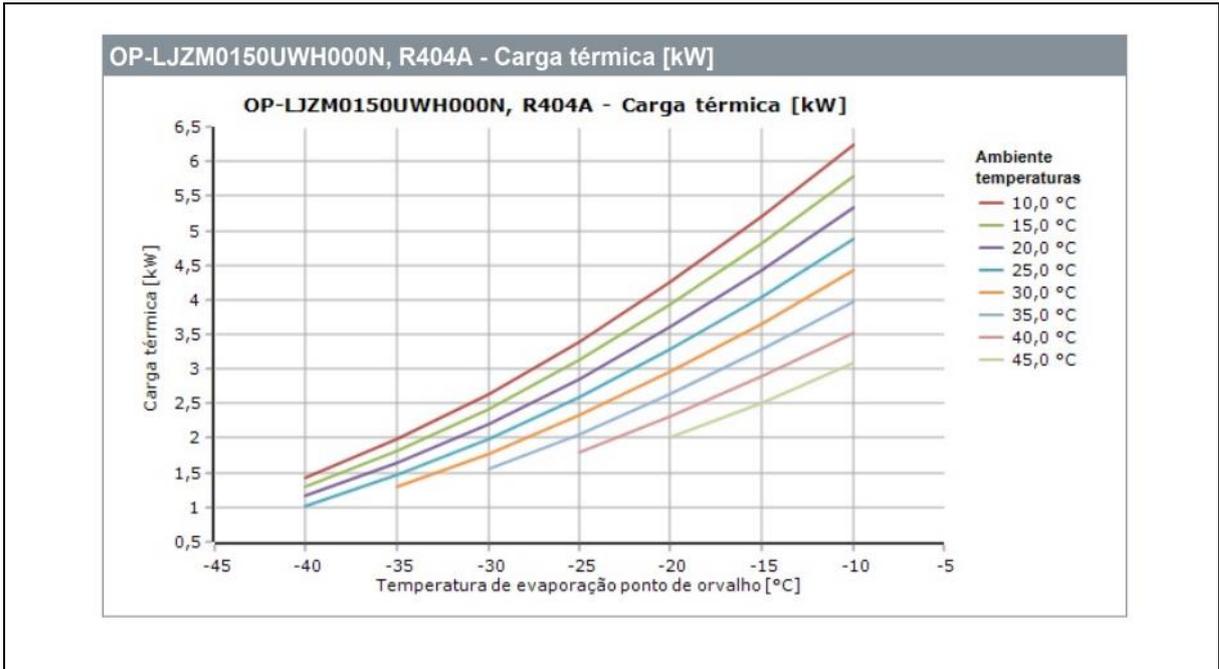


Figura 27: Carga térmica R-404A de acordo com a temperatura ambiente  
 Fonte: Pesquisa direta (2023).

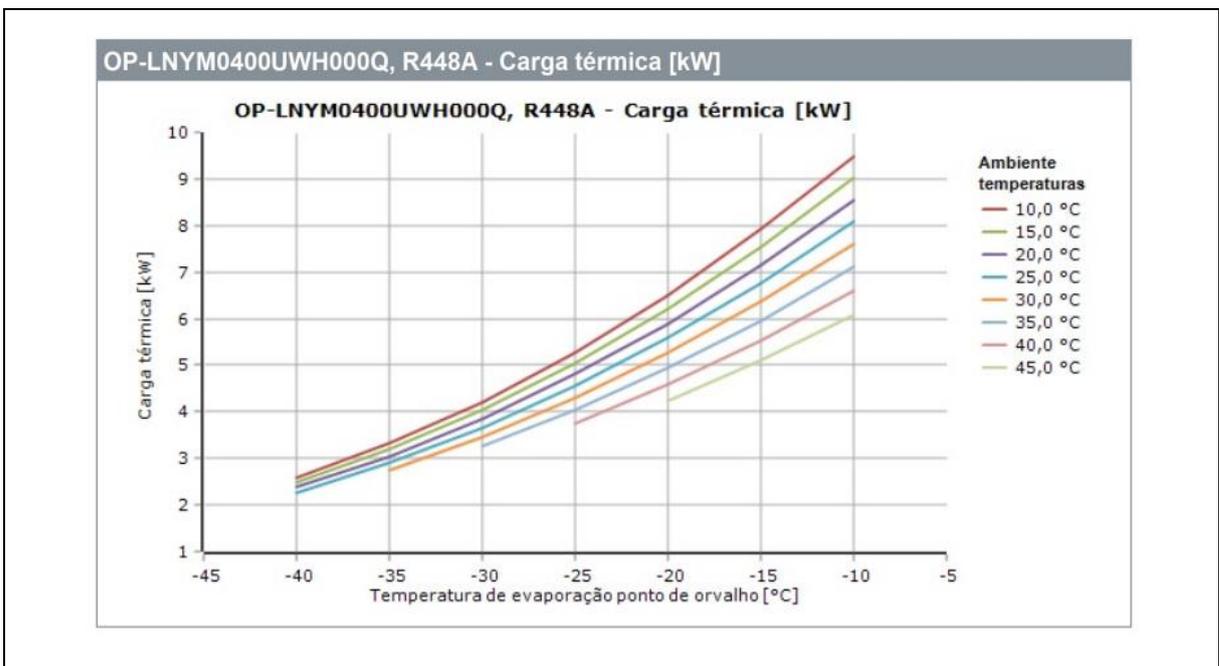


Figura 28: Carga térmica 448A de acordo com a temperatura ambiente  
 Fonte: Pesquisa direta (2023).

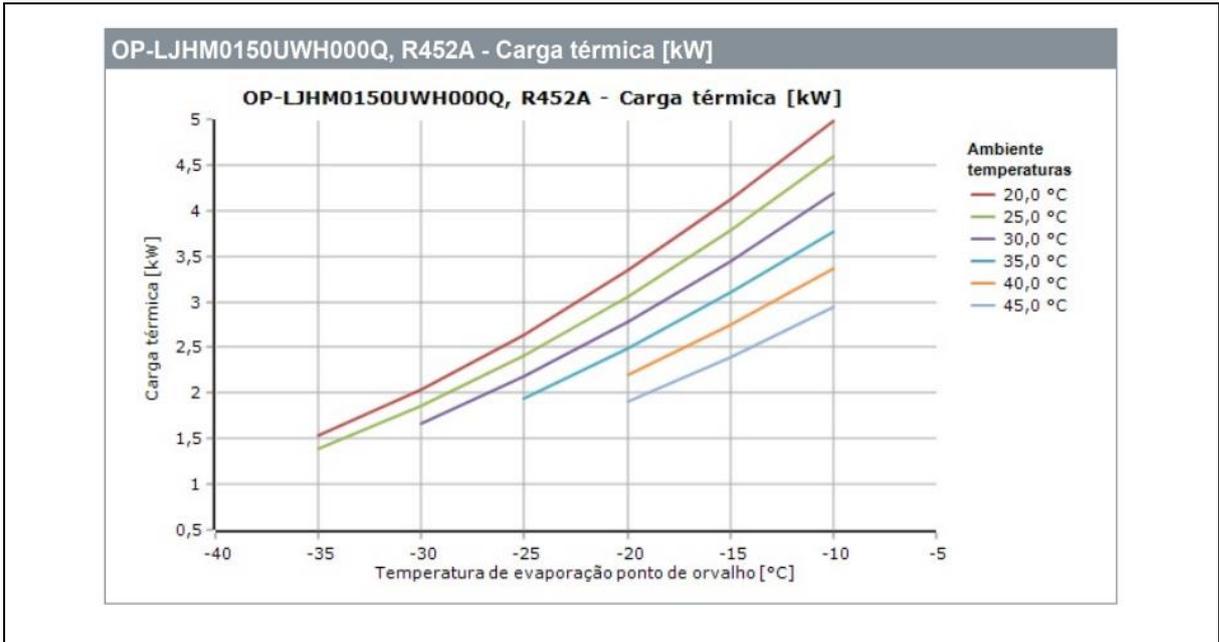


Figura 29: Carga térmica R-452A de acordo com a temperatura ambiente  
 Fonte: Pesquisa direta (2023).

Observa-se nas figuras 27, 28 e 29 a carga térmica correspondente aos fluidos refrigerantes R-404A, R-448A e R-452A, correlacionadas com as diferentes temperaturas ambientes. É perceptível que o R-448A demonstra a maior faixa de variação de carga térmica quando comparado com os outros fluidos refrigerantes, iniciando essa comparação com a variação de 20°C nas temperaturas do ambiente. Por outro lado, o R-452A apresenta o menor valor entre os fluidos considerados e o R-404A se posiciona em um nível intermediário em relação aos demais.

#### 4.1.2 Unidade condensadora

Os resultados da simulação referentes às unidades condensadoras para cada refrigerante estão representados nos apêndices C, H e I. Esses dados fornecem as condições de funcionamento de cada unidade condensadora com o respectivo fluido refrigerante, incluindo a seleção do modelo da unidade condensadora.

Com a obtenção desses dados são elaboradas tabelas e gerados gráficos para comparar o impacto dos fluidos refrigerantes nessas unidades condensadoras. A tabela 24 mostra esses dados, enquanto as figuras 30, 31 e 32 ilustram os gráficos correspondentes obtidos a partir desses dados.

Tabela 24: Dados da unidade condensadora

Unidade condensadora			
Fluido	Pressão de evaporação(Bar)	Ponto médio de temperatura de evaporação(°C)	Potência total(KW)
R-404A	2,219	-28,2	1,598
R-448A	1,759	-30,1	3,371
R-452A	1,999	-29,2	1,582

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

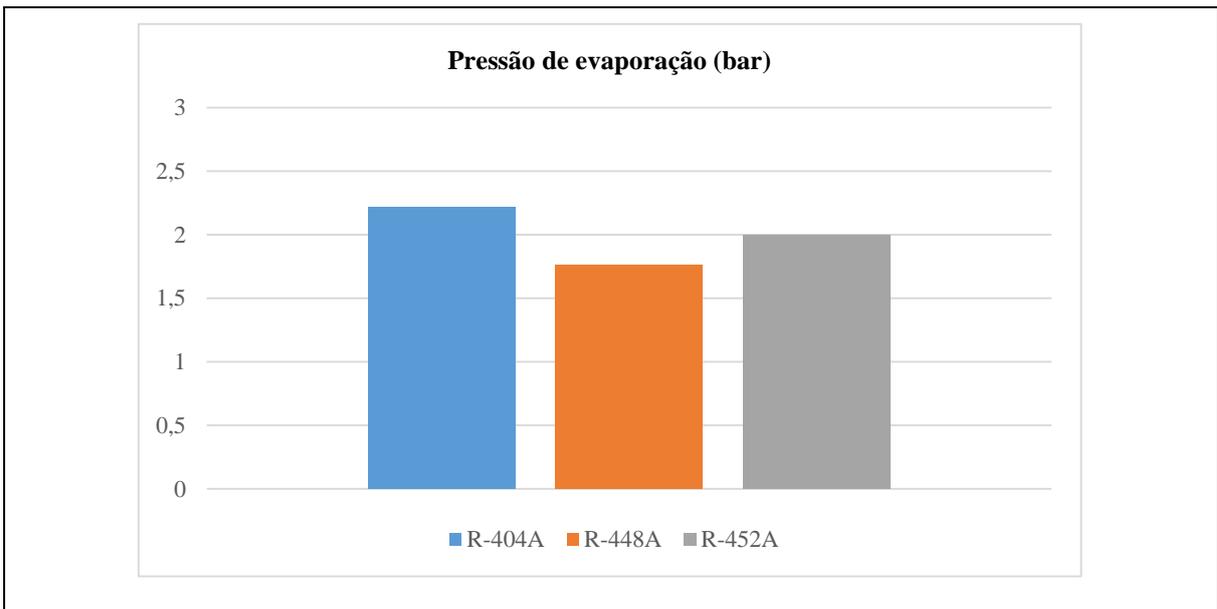


Figura 30: Gráfico Pressão de evaporação (bar)

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Tabela 25: Dados da pressão de evaporação em termos percentuais em relação ao R-404A

Unidade condensadora		
Fluido	Pressão de evaporação(Bar)	Porcentagem em relação ao R-404A
R-404A	2,219	100%
R-448A	1,759	79%
R-452A	1,999	90%

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

A figura 30 demonstra as curvas de pressão de evaporação para os fluidos refrigerantes R-404A, R-448A e R-452A. Observa-se que o R-448A apresenta o menor valor de pressão de evaporação, sendo de 1,759 bar, enquanto o R-404A e o R-452A demonstram valores superiores de pressão de evaporação, sendo respectivamente 2,219 bar e 1,999 bar. A tabela 25 mostra os dados da pressão de evaporação em termos percentuais em relação ao R-404A destacando que

o R-448A tem um valor de 79%, sendo 21% abaixo e o R-452A corresponde a 90% apresentando uma redução de 10 %, com relação ao R-404A. Desta forma, o R-448A exibe uma pressão mais próxima da pressão atmosférica, o que oferece vantagens em relação aos custos de equipamentos.

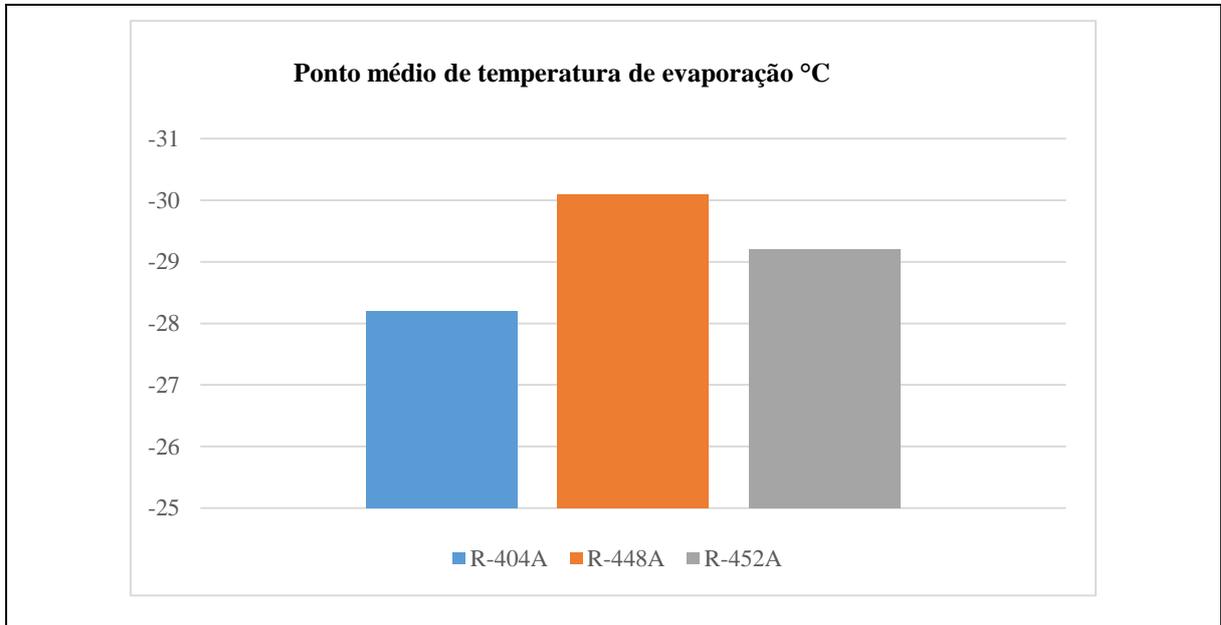


Figura 31: Ponto médio de temperatura de evaporação (°C)  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Demonstra-se na figura 31 o ponto médio da temperatura de evaporação dos fluidos refrigerantes R-404A, R-448A e R-452A. Observa-se que os valores apresentam uma faixa próxima, sugerindo similaridades nas temperaturas médias de evaporação dos fluidos refrigerantes. Apesar dessa proximidade, há distinções entre os valores apresentados, como pode ser notado que o R-448A exibe o valor de -30,1 °C, sendo o menor valor de temperatura média de evaporação em comparação ao R-404A e R-452A, que apresentam respectivamente, 28,2°C e -29,2°C, indicando assim que o R-448A tem potencial superior em termos de eficiência energética.

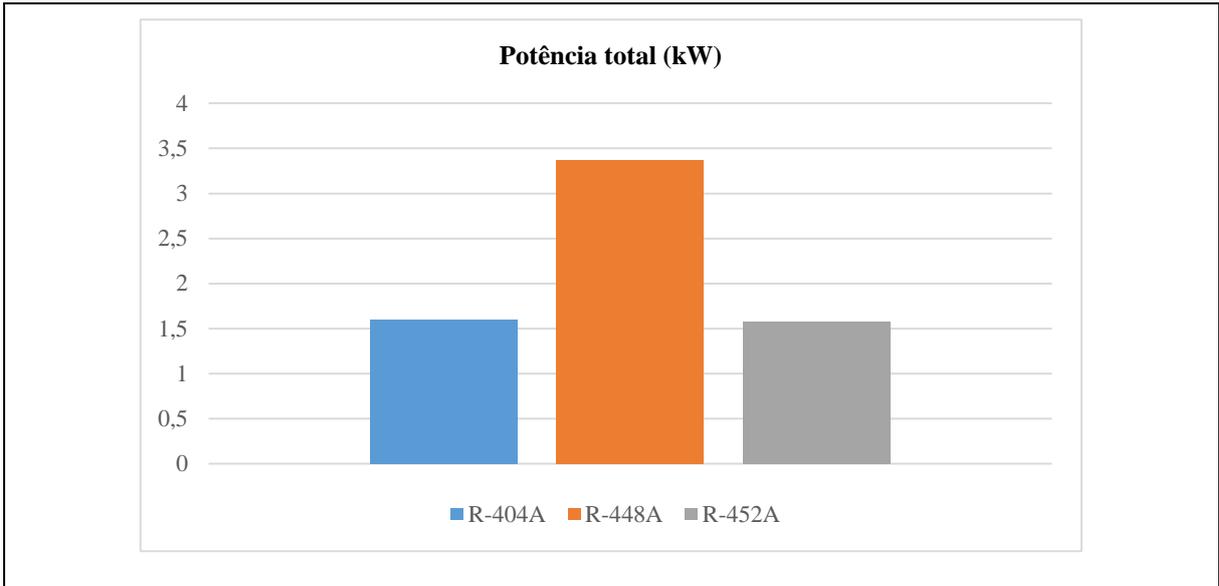


Figura 32: Potência total (kW)  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Tabela 26: Dados da potência total em termos percentuais em relação ao R-404A

Unidade condensadora		
Fluido	Potência total(KW)	Porcentagem em relação ao R-404A
R-404A	1,598	100%
R-448A	3,371	211%
R-452A	1,582	99%

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Observa-se na figura 32 e na tabela 26 a potência total dos refrigerantes R-404A, R-448A e R-452A destacando-se no gráfico que o R-448A exibe a maior potência total sendo de 3,371 kW ao ser comparado com o R-404A; a potência do R-448A tem um valor percentual de 211%, exibindo um aumento de 111%. Enquanto o R-404A e o R-452A exibem valores inferiores, sendo respectivamente de 1,598 kW e 1,582kW que em relação à comparação ao R-404A tem-se uma variação inferior de apenas 1%. A potência mais elevada associada ao R-448A sugere a possibilidade de uma maior exigência de energia sendo um indicativo de que o sistema está lidando com cargas mais elevadas de calor a serem dissipadas.

### 4.1.3 Linha de superaquecimento

O superaquecimento é definido como a diferença entre a temperatura efetiva do fluido refrigerante quando o mesmo deixa o evaporador e a temperatura de evaporação do fluido refrigerante na serpentina do evaporador, sendo essa diferença fundamental para assegurar a vaporização do fluido antes de entrar no compressor (MILLER *et al*, 2014). As figuras 33, 34 e 35 exibem as representações gráficas da linha de superaquecimento geradas por meio do *software* para cada tipo de fluido analisado.

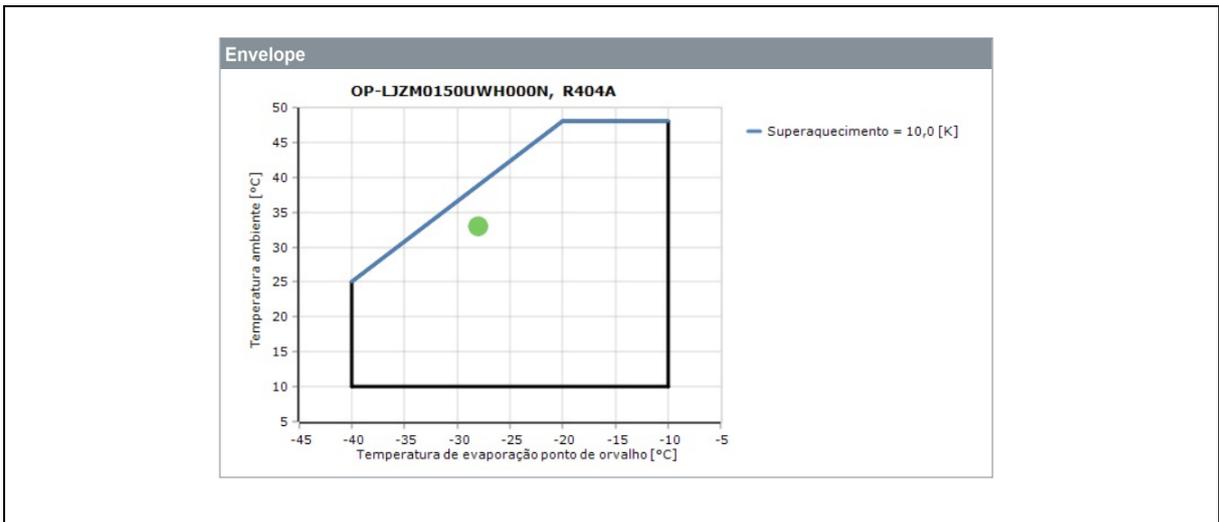


Figura 33: Linha de superaquecimento do R-404 A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

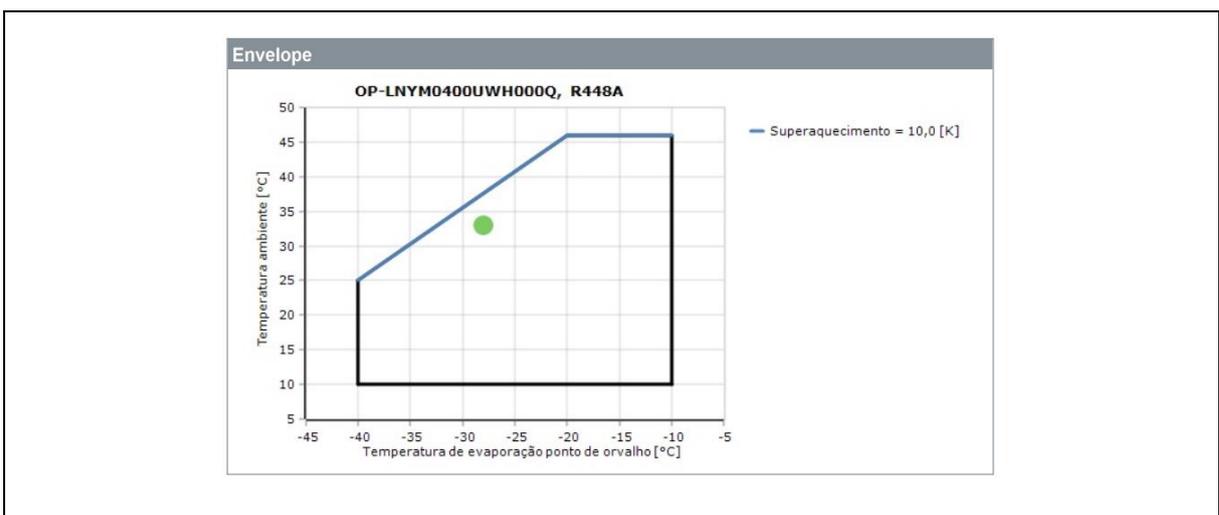


Figura 34: Linha de superaquecimento do R-448 A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

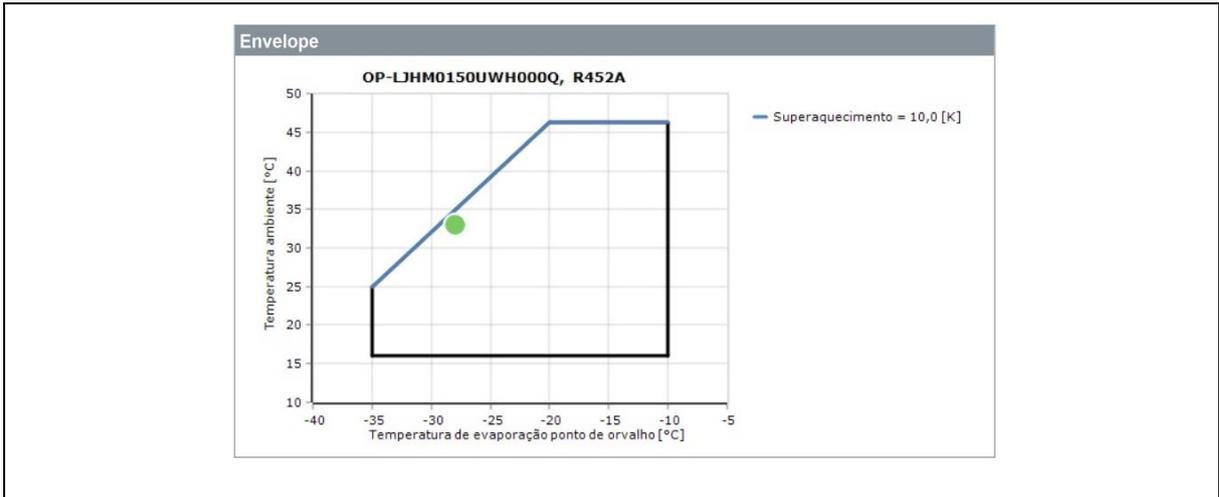


Figura 35: Linha de superaquecimento do R-452 A  
 Fonte: Pesquisa direta (2023).

As figuras 33, 34 e 35 mostram as linhas de superaquecimento dos fluidos refrigerantes R-404A, R-448A e do R-452A, sendo perceptível notar que o R452A possui o menor superaquecimento devido ao seu ponto de trabalho (representado pelo ponto verde no gráfico) estar mais próximo a linha de superaquecimento quando comparados com o R-448 A e o R-404 A. Em contrapartida observa-se que a linha de superaquecimento do R-404 A e do R-448A estão mais distantes do ponto de trabalho evidenciando um maior superaquecimento.

#### 4.1.4 Coeficiente de performance (COP)

O coeficiente de performance (COP) é um parâmetro importante na avaliação de sistemas de refrigeração, sendo o COP do ciclo real inferior ao COP do ciclo teórico para as mesmas condições de operação (VENTURINI e PIRANI, 2005). As tabelas 27, 28 e 29 mostram os valores do COP, em função da temperatura ambiente e da temperatura de evaporação, para cada fluido refrigerante.

Tabela 27: COP do R-404A

Tamb\Te dew	-40,0	-35,0	-30,0	-25,0	-20,0	-15,0	-10,0
10,0	1,30	1,56	1,84	2,15	2,49	2,86	3,25
15,0	1,19	1,42	1,66	1,91	2,18	2,47	2,78
20,0	1,08	1,28	1,49	1,70	1,92	2,15	2,39
25,0	0,98	1,15	1,33	1,51	1,69	1,88	2,07
30,0	-	1,03	1,18	1,33	1,49	1,64	1,79
35,0	-	-	1,05	1,17	1,30	1,42	1,55
40,0	-	-	-	1,02	1,13	1,23	1,33
45,0	-	-	-	-	0,97	1,06	1,14

Fonte: Pesquisa direta (2023).

Tabela 28: COP do R-448A

Tamb\Te dew	-40,0	-35,0	-30,0	-25,0	-20,0	-15,0	-10,0
10,0	1,26	1,48	1,72	1,97	2,24	2,52	2,81
15,0	1,14	1,35	1,56	1,79	2,02	2,26	2,50
20,0	1,02	1,21	1,41	1,61	1,81	2,02	2,22
25,0	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,79	1,97
30,0	-	0,94	1,11	1,27	1,43	1,59	1,74
35,0	-	-	0,96	1,11	1,25	1,39	1,53
40,0	-	-	-	0,96	1,09	1,21	1,33
45,0	-	-	-	-	0,93	1,04	1,14

Fonte: Pesquisa direta (2023).

Tabela 29: COP do R-452A

Tamb\Te dew	-35,0	-30,0	-25,0	-20,0	-15,0	-10,0
20,0	1,539	2,040	2,642	3,341	4,128	4,992
25,0	1,392	1,858	2,416	3,063	3,792	4,594
30,0	-	1,670	2,183	2,778	3,449	4,188
35,0	-	-	1,946	2,487	3,100	3,777
40,0	-	-	-	2,195	2,748	3,363
45,0	-	-	-	1,904	2,397	2,951

Fonte: Pesquisa direta (2023).

As tabelas 27, 28 e 29 exibem o valor do COP em relação a temperatura ambiente e a temperatura de evaporação (ponto de orvalho) para os fluidos refrigerantes R-404A, R-442A e

R452A. Observa-se que na faixa de temperatura de evaporação de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  para as temperaturas ambientes de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o COP do R-452A apresenta maiores valores, já o R-404A e o R-448A apresentam valores menores e mais próximos. Com isso, o R-452A é o fluido com a maior capacidade de remover calor.

#### 4.1.5 Linha de líquido

A linha de líquido do sistema de refrigeração é responsável por transportar o refrigerante do receptor ao evaporador, movimentando exclusivamente refrigerante na forma líquida (VENTURINI e PIRANI, 2005). Os dados referentes à linha de líquido de cada fluido refrigerante estão representados nas figuras 36, 37 e 38. E as figuras 39, 40 e 41 retratam os gráficos que demonstram as curvas de desempenho das respectivas linhas de líquido de cada fluido refrigerante.

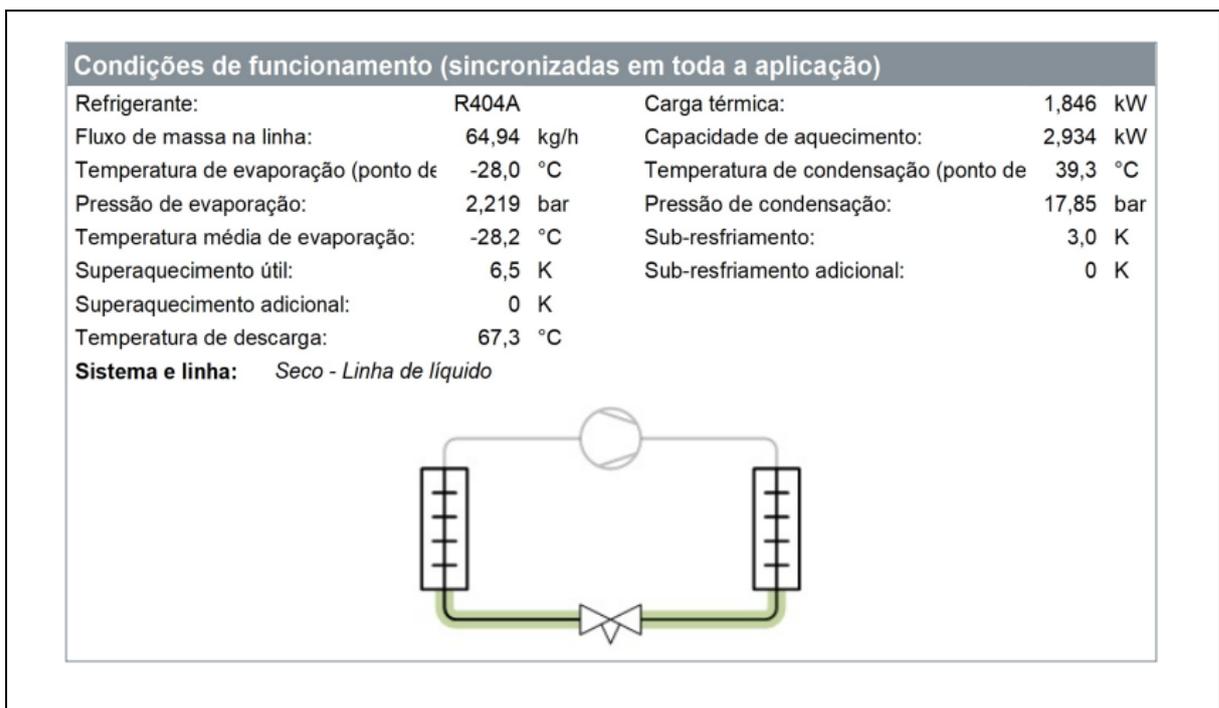


Figura 36: Dados da linha de líquido do R-404A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

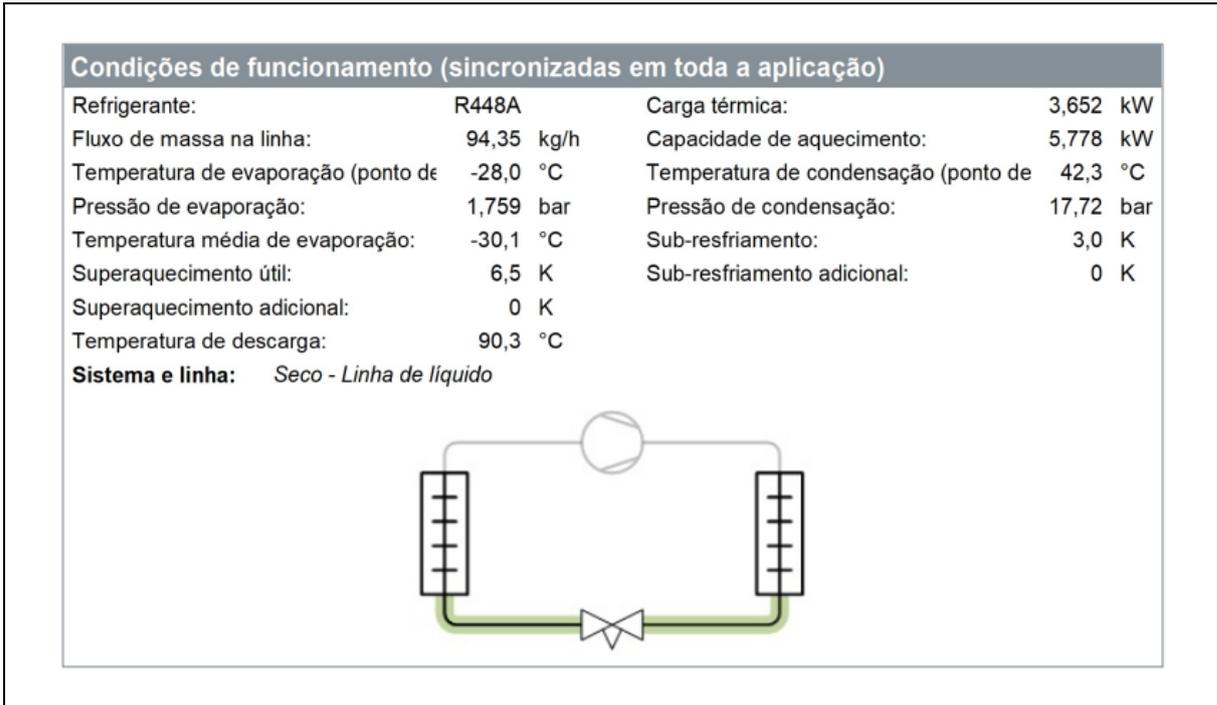


Figura 37: Dados da linha de líquido do R 448A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

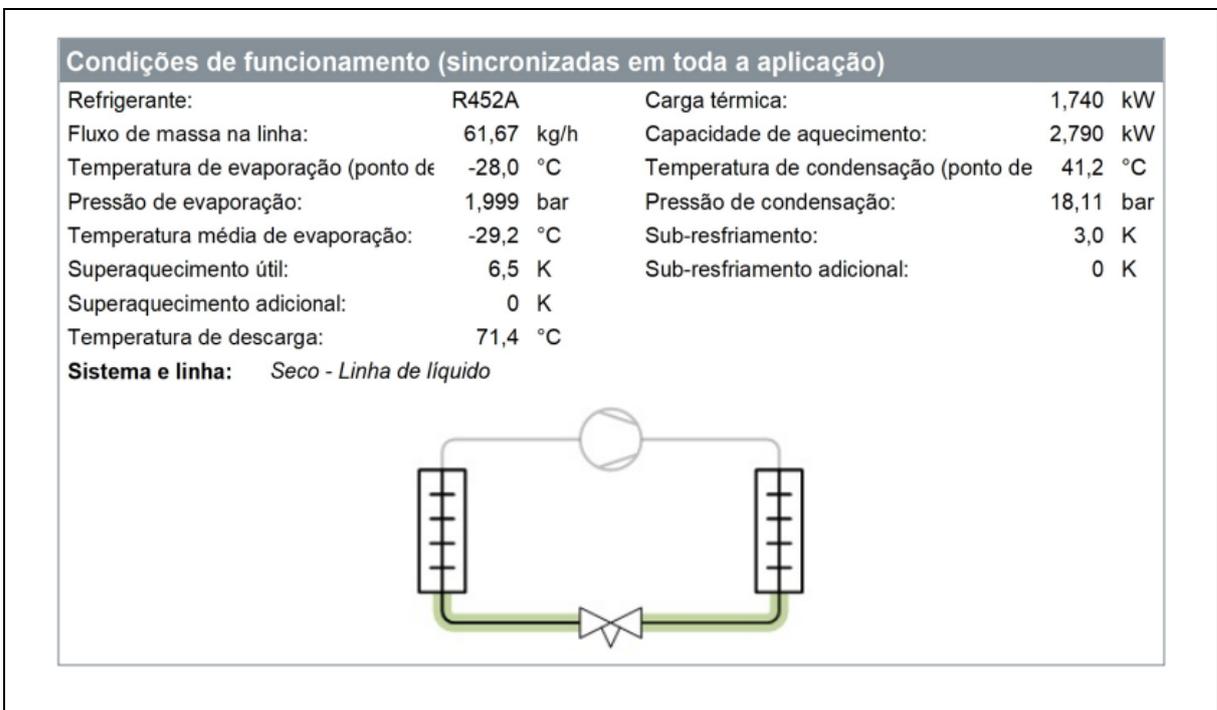


Figura 38: Dados da linha de líquido do R-452A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

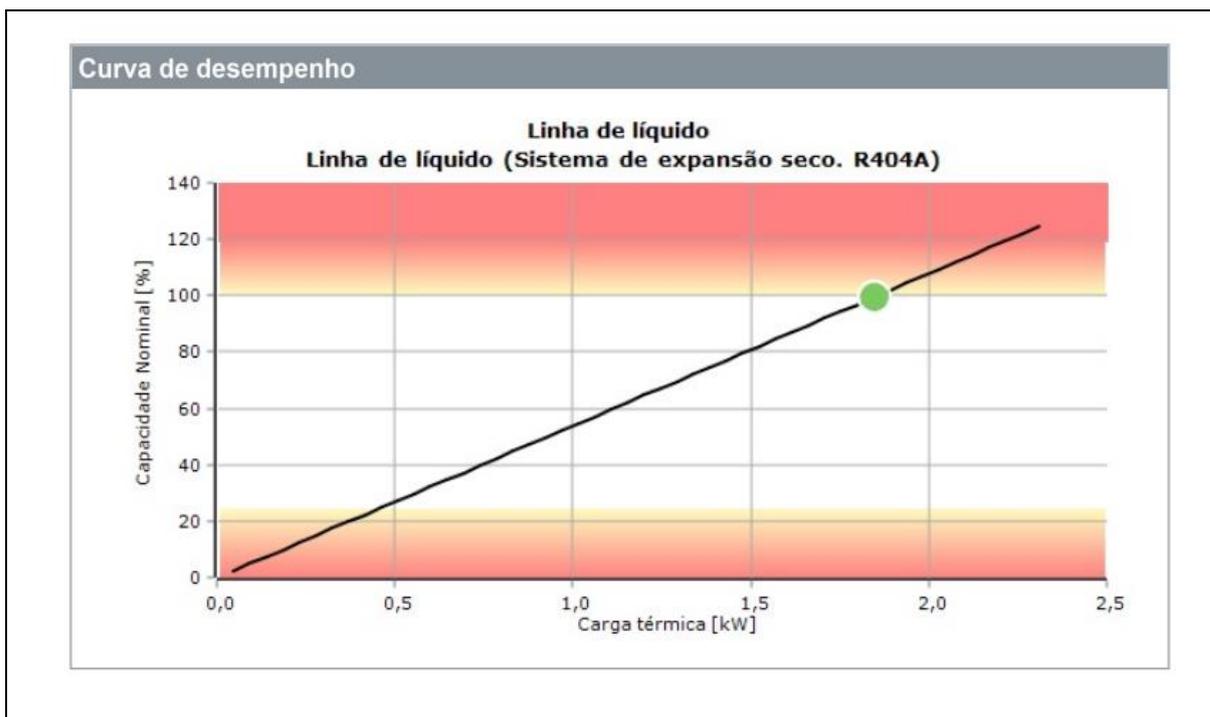


Figura 39: Curva de desempenho do R-404A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

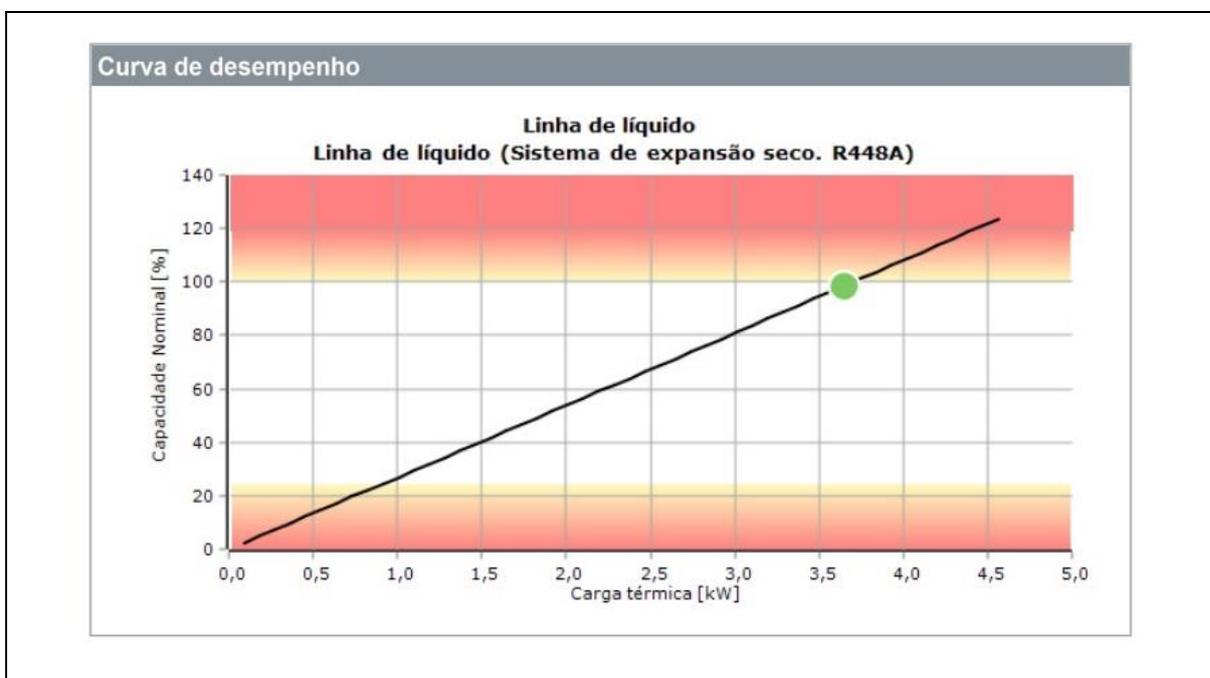


Figura 40: Curva de desempenho do R-448A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

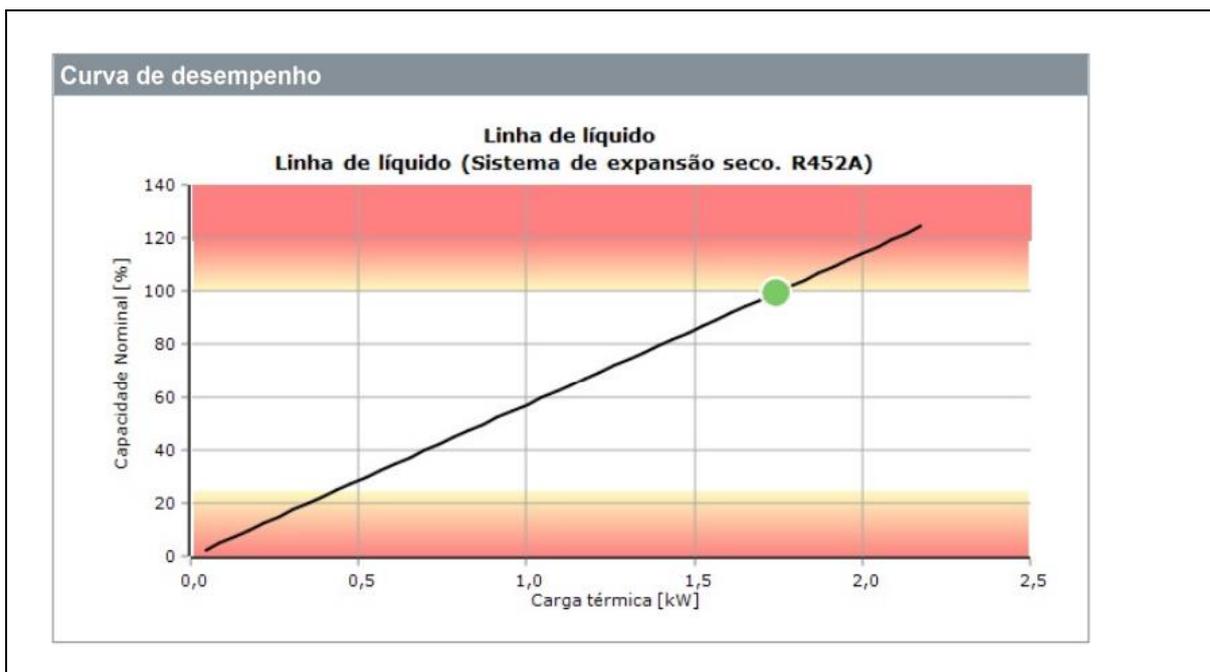


Figura 41: Curva de desempenho do R-452A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

Ilustra-se nas figuras 36, 37 e 38 os dados referentes a linha de líquido dos respectivos sistemas, destacando as condições operacionais de cada fluido refrigerante. As figuras 39, 40 e 41 representam as curvas de desempenho da linha de líquido para os fluidos R-404A, R-448A e R-452A, onde observa-se que o R-448A demonstra uma carga térmica superior operando em condições equivalentes, por outro lado, as curvas de desempenho do R-452A e R-404 exibem valores próximos. A maior carga térmica no R-448A indica a possibilidade de remover uma quantidade de calor maior no sistema demandando uma capacidade de refrigeração maior.

#### 4.1.6 Perda de carga no evaporador

O apêndice D apresenta os dados referentes ao evaporador selecionado para o fluido refrigerante R-404A, enquanto o apêndice J refere-se ao resfriador do R-448A e o apêndice K abrange os dados correspondentes ao evaporador do R-452A. Com base nesses conjuntos de dados, foi elaborada a tabela 30 para demonstrar as variações da perda de carga no evaporador em relação ao seu respectivo fluido, sendo essas informações utilizadas para gerar um gráfico que é apresentado na figura 42.

Tabela 30: Perda de carga no evaporador

Evaporador		
Fluido	Perda de carga (bar)	Porcentagem em relação ao R-404A
R-404A	0,195	100%
R-448A	0,220	113%
R-452A	0,242	124%

Fonte: Pesquisa direta (2023).

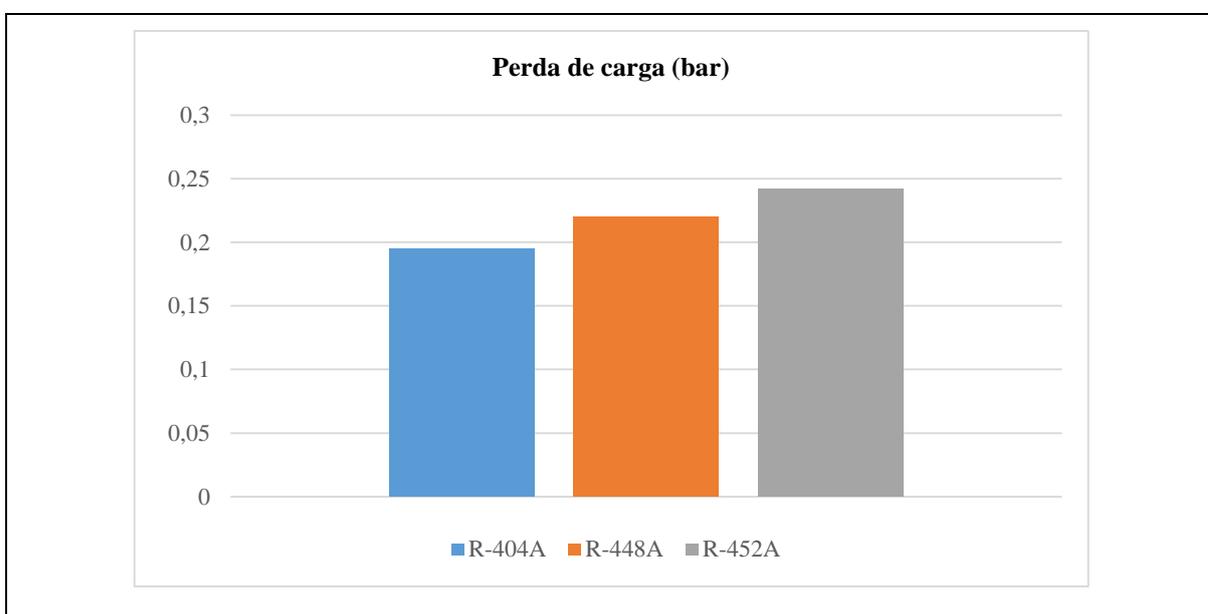


Figura 42: Perda de carga no evaporador

Fonte: Pesquisa direta (2023).

A figura 42 e a tabela 30 representam a perda de carga do evaporador para os fluidos refrigerantes R-404A, R-448A e 452A. Observa-se que o fluido refrigerante R-452A apresenta a maior perda de carga, sendo de 0,242 bar, e que o R-404A apresenta o menor valor de perda de carga de 0,195 bar, e o R-448A tem valor de perda de carga intermediária em comparação aos outros fluidos. O R-452A e o R-448A apresentam aumentos de 24% e 13%, respectivamente, quando comparados ao R-404A. Esta análise indica o nível de dificuldade que cada fluido refrigerante enfrenta ao passar pelo sistema de resfriamento, sendo o R-404A o fluido com a menor resistência enquanto o R-448A apresenta a maior resistência.

#### 4.1.7 Linha de sucção

A linha de sucção do sistema de refrigeração é responsável por transportar o vapor do fluido refrigerante do evaporador para o compressor (VENTURINI e PIRANI, 2005). Os dados da linha de sucção de cada fluido refrigerante são detalhados nas figuras 43, 44 e 45 e a partir desses dados foram gerados gráficos que são apresentados nas figuras 46, 47 e 48.

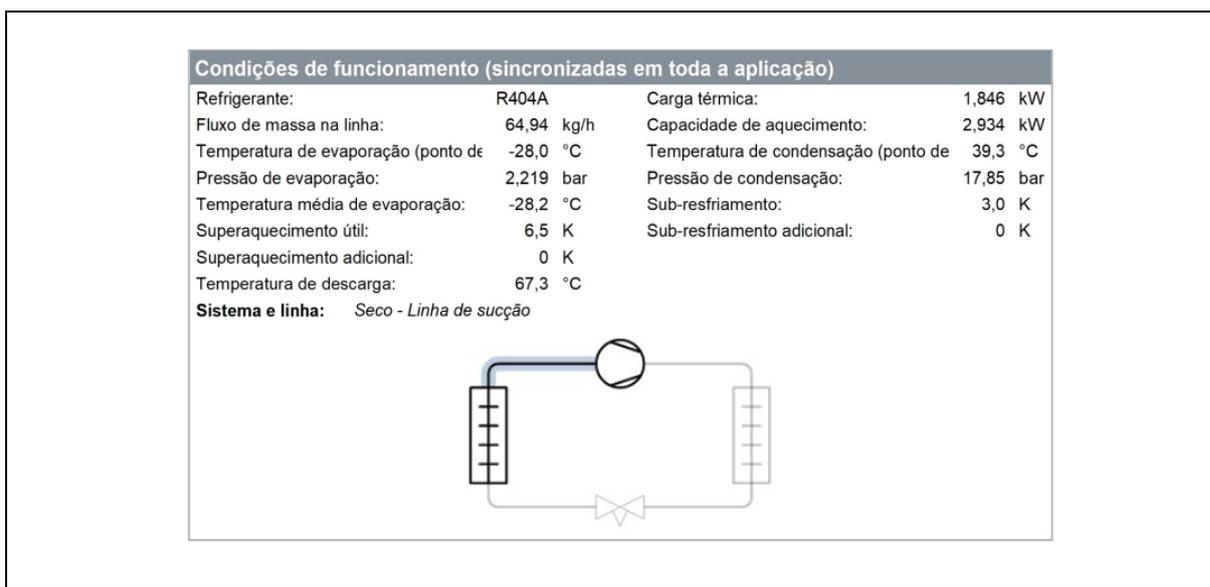


Figura 43: Dados da linha de sucção do R-404A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

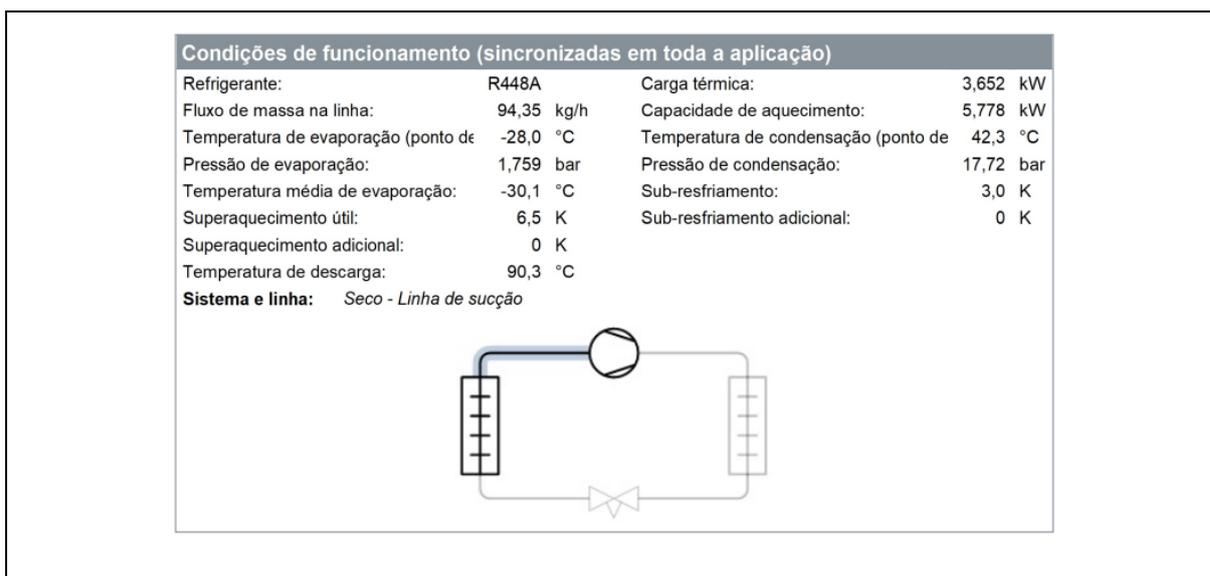


Figura 44: Dados da linha de sucção R-448A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

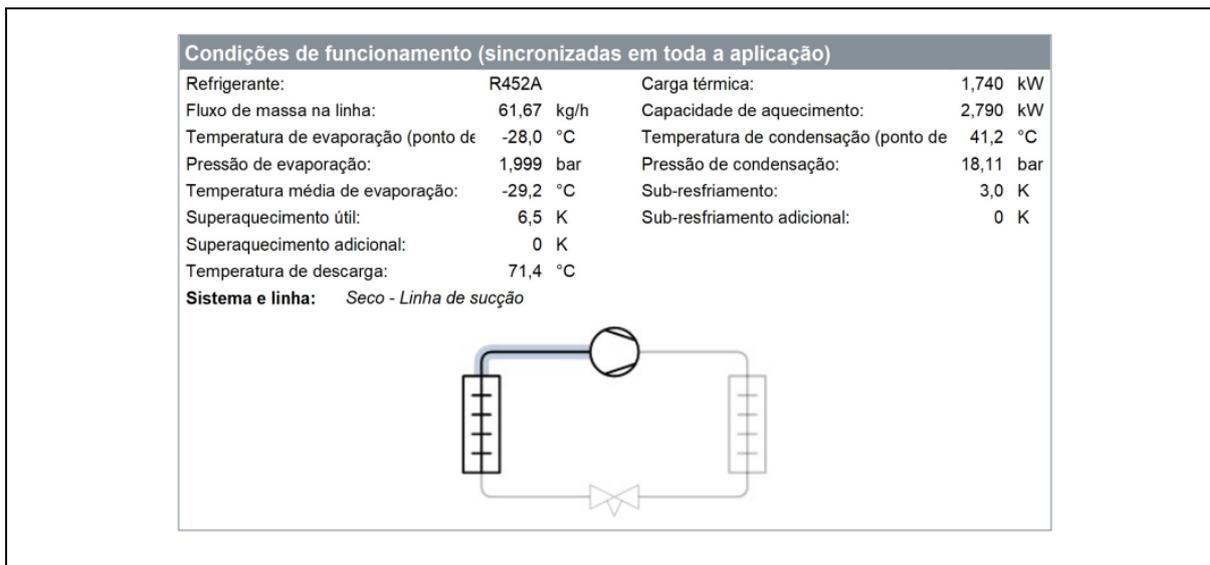


Figura 45: Dados da linha de sucção do R-452A  
 Fonte: Pesquisa direta (2023).

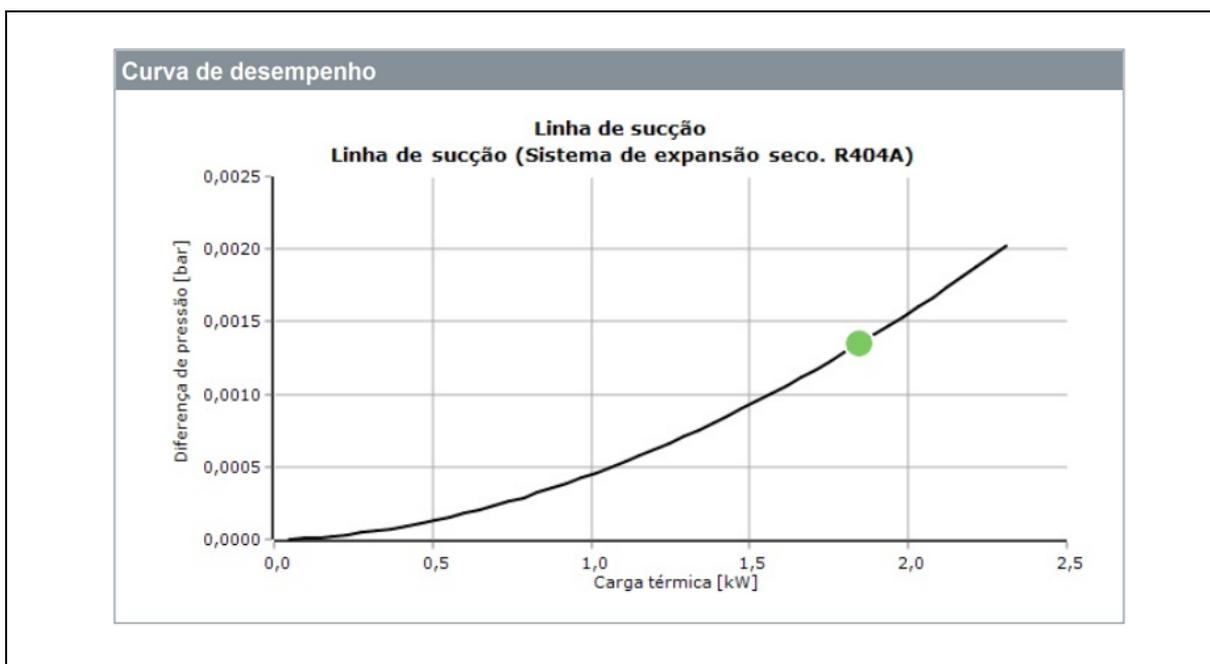


Figura 46: Gráfico da linha de sucção do R-404A  
 Fonte: Pesquisa direta (2023).

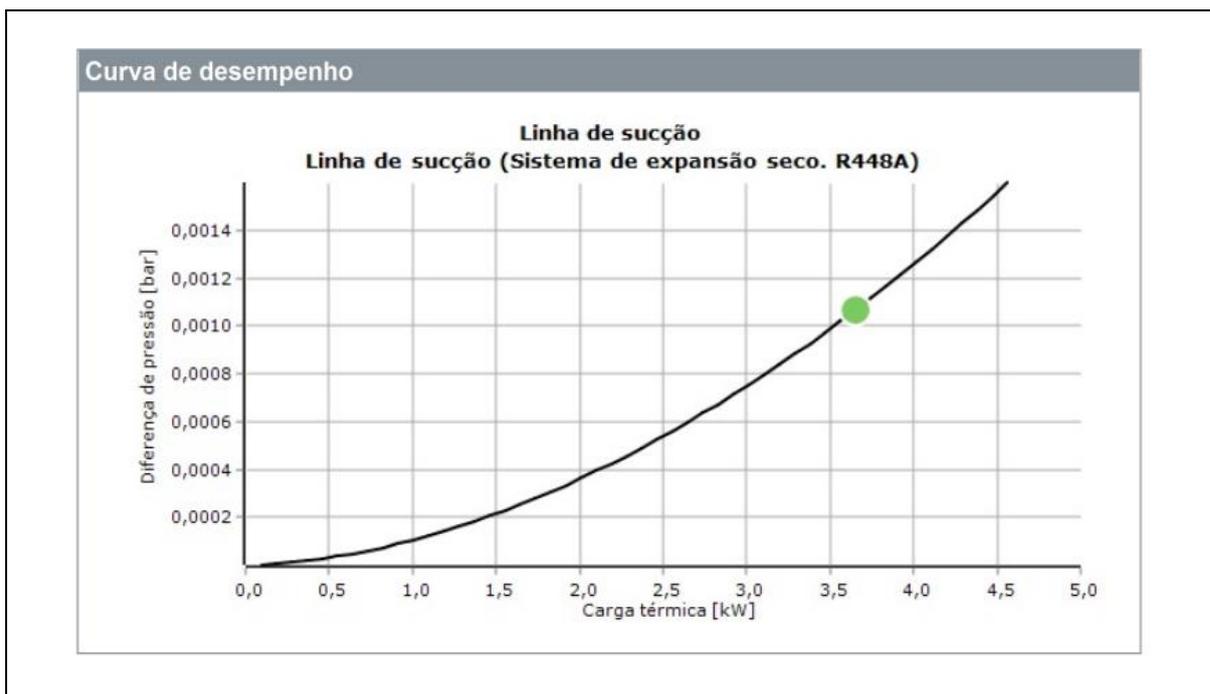


Figura 47: Gráfico da linha de sucção R-448A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

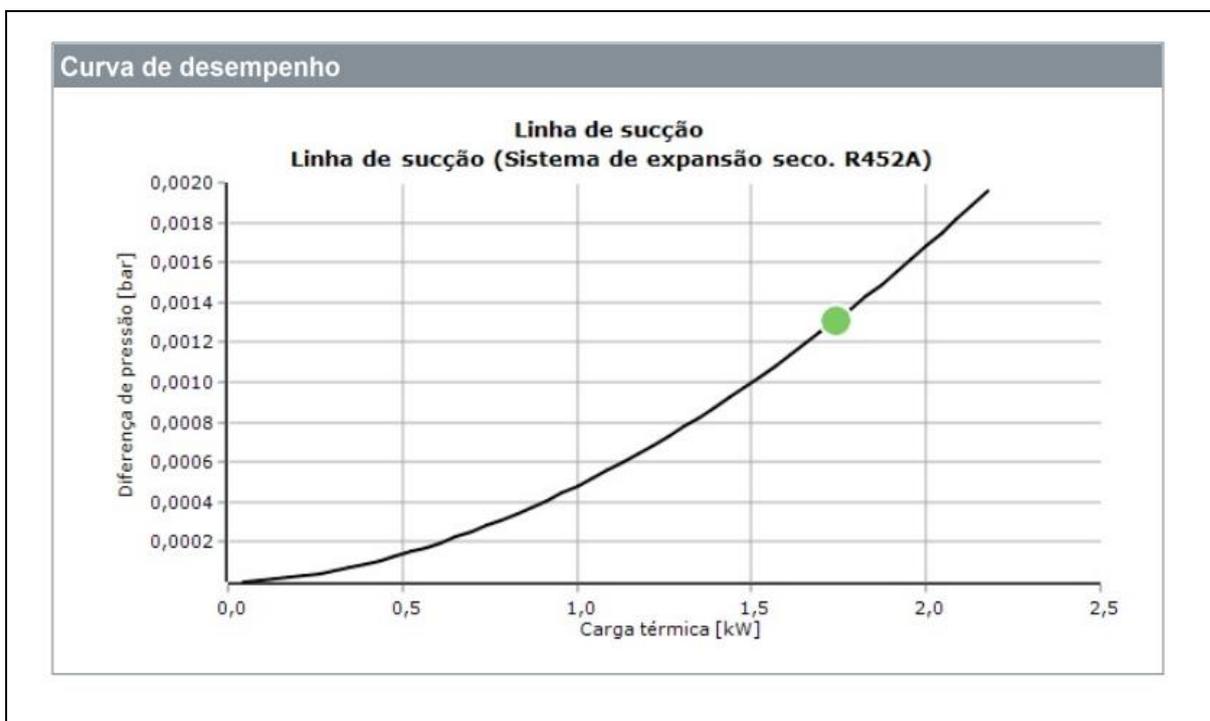


Figura 48: Gráfico da linha de sucção do R-452A  
Fonte: Pesquisa direta (2023).

Nas figuras 43, 44 e 45 demonstra-se os dados referentes a linha de sucção dos respectivos sistemas, destacando as condições operacionais de cada fluido refrigerante. As figuras 46, 47 e 48 representam as curvas de desempenho da linha de sucção para os fluidos refrigerantes R-404A, R-448A e R-452A, e os gráficos apresentam a curva da linha de sucção em relação a diferença de pressão ao longo da carga térmica. De acordo com os gráficos o R-448A demonstra o maior valor de carga térmica operando com diferenças de pressão menores em comparação com R-404A e R-452A, sugerindo que o R-448A apresenta uma capacidade superior de sustentar maiores cargas térmicas operando com diferenças de pressão menores em comparação aos outros dois fluidos, indicando uma maior habilidade em atender demandas mais elevadas de refrigeração em condições de pressão.

#### 4.1.8 Compressor

“O compressor é um dos principais componentes do sistema de refrigeração. Sua função é aumentar a pressão do fluido refrigerante e promover a circulação desse fluido no sistema” (VENTURINI e PIRANI,2005, p.78). Os dados referentes ao compressor gerados pelo *software* são apresentados nas tabelas 31, 32 e 33, para cada fluido refrigerante.

Tabela 31: Dados referentes aos pontos do sistema com o R-404A

Ponto	Descrição	Temperatura [°C]	Pressão (a) [bar]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Entalpia [kJ/kg]	Entropia [kJ/(kg·K)]
1	Sucção do compressor	-21,5	2,219	11,13	355,6	1,645
2	Descarga do compressor (estimada)	78,2	17,85	72,97	428,5	1,732
2s	Condensação (Ponto de orvalho)	39,3	17,85	98,96	380,4	1,586
3s	Condensação (Ponto de ebulição)	38,9	17,85	972,5	258,2	1,195
3a	Saída do condensador	35,9	17,85	989,4	253,3	1,18
3	Incluir sub-resfriamento adicional	35,9	17,85	989,4	253,3	1,18
4	Após válvula de expansão	-28,4	2,219	23,47	253,3	1,228
4s	Evaporação (Ponto de ebulição)	-28,7	2,219	1252	161,9	0,8541
1s	Evaporação (ponto de orvalho)	-28,0	2,219	11,51	350,1	1,623
1a	Saída do evaporador	-21,5	2,219	11,13	355,6	1,645

Fonte: Pesquisa direta (2023).

Tabela 32: Dados referentes aos pontos do sistema com o R-448A

Ponto	Descrição	Temperatura [°C]	Pressão (a) [bar]	Densidade [kg/m³]	Entalpia [kJ/kg]	Entropia [kJ/(kg·K)]
1	Sucção do compressor	-21,5	1,759	7,663	391,3	1,803
2	Descarga do compressor (estimada)	118,7	17,72	52,55	503,6	1,949
2s	Condensação (Ponto de orvalho)	42,3	17,72	81,07	415,8	1,699
3s	Condensação (Ponto de ebulição)	37,6	17,72	1038	257	1,192
3a	Saída do condensador	34,6	17,72	1054	252	1,176
3	Incluir sub-resfriamento adicional	34,6	17,72	1054	252	1,176
4	Após válvula de expansão	-32,0	1,759	18,51	252	1,23
4s	Evaporação (Ponto de ebulição)	-34,0	1,759	1313	153,3	0,8191
1s	Evaporação (ponto de orvalho)	-28,0	1,759	7,92	385,9	1,781
1a	Saída do evaporador	-21,5	1,759	7,663	391,3	1,803

Fonte: Pesquisa direta (2023).

Tabela 33: Dados referentes aos pontos do sistema com o R-452A

Ponto	Descrição	Temperatura [°C]	Pressão (a) [bar]	Densidade [kg/m³]	Entalpia [kJ/kg]	Entropia [kJ/(kg·K)]
1	Sucção do compressor	-21,5	1,999	10,53	350,9	1,631
2	Descarga do compressor (estimada)	79,8	18,11	77,27	421,4	1,706
2s	Condensação (Ponto de orvalho)	41,2	18,11	103,3	376,7	1,574
3s	Condensação (Ponto de ebulição)	37,9	18,11	1056	254,1	1,182
3a	Saída do condensador	34,9	18,11	1075	249,4	1,166
3	Incluir sub-resfriamento adicional	34,9	18,11	1075	249,4	1,166
4	Após válvula de expansão	-30,4	1,999	22,41	249,4	1,215
4s	Evaporação (Ponto de ebulição)	-31,9	1,999	1354	159,3	0,843
1s	Evaporação (ponto de orvalho)	-28,0	1,999	10,89	345,7	1,61
1a	Saída do evaporador	-21,5	1,999	10,53	350,9	1,631

Fonte: Pesquisa direta (2023).

As tabelas 31, 32 e 33 apresentam dados referentes ao sistema, destacando informações do compressor em relação aos parâmetros de sucção e descarga. A tabela 34, é resultante da compilação dos dados das tabelas 31, 32 e 33 com o objetivo de oferecer uma visão mais ampla sobre os dados do compressor e também realizar a confecção de um gráfico. Este gráfico é mostrado na figura 49. E a tabela 35 mostra os dados da razão de pressão em termos percentuais em relação ao R-404A.

Tabela 34: Dados do compressor

Compressor			
Fluido refrigerante	Pressão de sucção (bar)	Pressão de descarga (bar)	Razão de pressão (bar)
R-404A	2,219	17,85	8,044
R-448A	1,759	17,72	10,074
R-452A	1,999	18,11	9,060

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

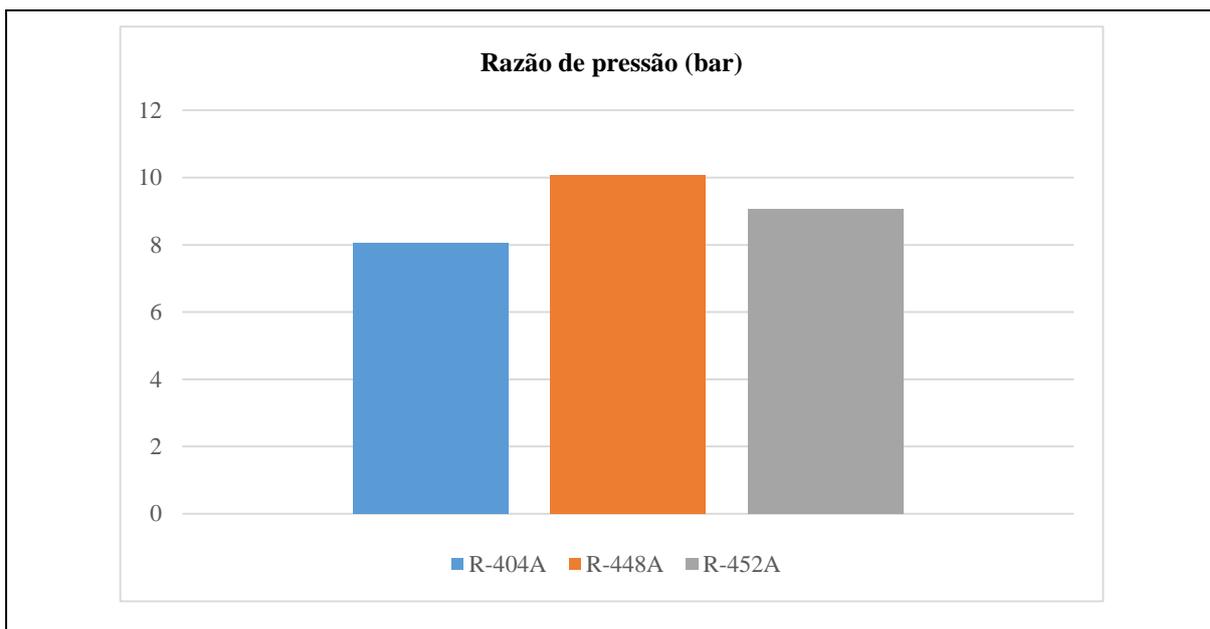


Figura 49: Razão de pressão (bar)  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Tabela 35: Dados da razão de pressão em termos percentuais em relação ao R-404A

Compressor		
Fluido refrigerante	Razão de pressão (bar)	Porcentagem em relação ao R-404A
R-404A	8,044	100%
R-448A	10,074	125%
R-452A	9,060	113%

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na tabela 34 apresenta-se os dados referentes ao compressor, evidenciando a pressão de sucção, pressão de descarga e as razões de pressão para os fluidos R-404A, R-448A e R-452A. A figura 49 ilustra as razões de pressão dos fluidos refrigerantes em estudo. Analisando esses dados observa-se que o R-448A exibe a maior de razão de pressão, sendo de 10,074 bar, enquanto o R-404A exibe o menor valor, de 8,044 bar, e o R-452A demonstra valor intermediário, de 9,060 bar. A comparação do R-448A e R-452A em relação ao R-404A é mostrado na tabela 35, onde demonstram respectivamente um aumento de 25% e 13%. Essa diferença implica que o R-448A realiza uma maior compressão, aumentando a pressão do vapor do sistema cada vez mais, quando comparado aos outros dois fluidos refrigerantes.

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusão

A refrigeração é um processo valioso para a sociedade, amplamente utilizada em diversas áreas da sociedade contemporânea, especialmente na conservação de produtos por meio das câmaras frigoríficas.

O avanço tecnológico possibilitou o desenvolvimento de *softwares* para simulações das câmaras frigoríficas permitindo o dimensionamento preciso dos componentes. Um fator crítico para o funcionamento das câmaras frigoríficas é o fluido refrigerante, sendo os *softwares* ferramentas fundamentais para a simulação de sistemas de câmaras frigoríficas com diferentes fluidos refrigerantes.

Este estudo tem como objetivo avaliar, por meio da utilização de um software específico, como a variação de fluidos refrigerantes impactam no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica evidenciando os resultados obtidos no processo. A realização da simulação tem como premissa analisar o impacto resultante da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica.

Para a realização da simulação, foram descritas as aplicações, as especificações da câmara frigorífica, unidade condensadora e do evaporador, além da seleção do *software Coolselector®2* e a seleção dos fluidos refrigerantes para a realização da comparação. Os dados de entrada foram definidos com base em condições externas, dimensões da câmara, quantidade de produto, abertura de porta e circulação de pessoas e iluminação.

As simulações são conduzidas utilizando três diferentes fluidos refrigerantes, sendo o R-404A, R-448A e R-452A, com o propósito de realizar uma análise comparativa. A obtenção e análise desses dados proporcionaram a geração de gráficos e tabelas para a avaliação das informações obtidas.

O fluido refrigerante R-448A destaca-se em vários aspectos, apresentando uma carga térmica (capacidade de refrigeração) superior, de 3,652 kW, e um aumento percentual de 98% em relação ao R-404A, indicando uma maior capacidade de absorção ou dissipação de calor. Sua pressão de evaporação de 1,759 bar está mais próxima da pressão atmosférica, o que oferece vantagens econômicas nos custos de equipamentos. E sua temperatura média de evaporação, apesar de ser próxima ao R-404A e ao R-452A, é a mais baixa entre os três fluidos

analisados, registrando o valor de  $-30.1^{\circ}\text{C}$ . Essa temperatura mais baixa sugere um potencial energético superior. Além disso, o valor de 3,371 kW e o percentual de superior de 111% do R-448A representam a maior potência total na unidade condensadora, o que exige maior demanda de energia para lidar com cargas térmicas mais elevadas.

O R448A quando comparado ao R-404A e R-452A no compressor apresenta a maior razão de pressão, de 10,074 bar, indicando uma maior compressão, e quando comparado ao R-404A apresenta um aumento de 25%, apontando um aumento na pressão de vapor do sistema.

O R-404A demonstra uma carga térmica intermediária de 1,846 kW quando comparado com o R-448A e o R-452A. Na unidade condensadora, o R-404A e o R-452A, apresentam respectivamente, 1,598 kW e 1,582 kW, representando os menores valores de potência total em comparação ao R-448A. O aumento percentual de apenas 1% do R-452A em relação ao R-404A indica uma menor demanda de energia na operação da unidade condensadora.

Na linha de líquido e de sucção o R-404A e o R-452A apresentam valores menores de carga térmica que o R-448A. Na linha de líquido a carga térmica menor indica uma menor demanda de capacidade de refrigeração e na linha sucção indica uma capacidade inferior de sustentar cargas térmicas mais elevadas. O menor valor da razão de pressão do R-404A, sendo de 8,044 bar, indica que o compressor tem uma menor compressão, resultando em uma pressão de vapor do sistema mais baixa.

O R-452A quando comparado com o R-404A e o R-448A, possui o menor valor de carga térmica, sendo de 1,740 kW, reduzindo a capacidade de absorver ou dissipar calor. O COP do R-452A para a faixa de variação de temperatura de evaporação de  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $-30^{\circ}\text{C}$  e para as temperaturas ambientes de  $20^{\circ}\text{C}$  a  $45^{\circ}\text{C}$  o COP do R-452A apresenta maiores valores indicando uma maior capacidade de remover calor. E o R-452A possui o menor superaquecimento devido ao seu ponto de trabalho estar mais próximo a linha de superaquecimento quando comparados com o R-448 A e o R-404 A.

A análise comparativa dos diferentes fluidos refrigerantes permitiu observar que cada fluido refrigerante possui uma propriedade, influenciando diretamente na eficiência e no desempenho do sistema de refrigeração da câmara frigorífica. Esses resultados reforçam a importância de considerar as propriedades individuais de cada fluido refrigerante ao projetar e operar sistemas de refrigeração.

## 5.2 Recomendações

De acordo com o estudo realizado sugere-se para trabalhos futuros:

- Análise do impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes em sistemas de refrigeração de uma câmara frigorífica em pleno funcionamento.
- Estudo dos impactos na operação e manutenção ao adotar novos fluidos refrigerantes em sistemas de refrigeração comerciais.
- Análise do impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de condicionamento de ar industrial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APOSTILA de Refrigeração e Ar-condicionado parte II de Luiz Carlos Martinelli Jr. Disponível em: [https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/b/bb/RAC\\_II.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/b/bb/RAC_II.pdf). Acesso em: 23 set. 2023.

APOSTILA de Refrigeração Fábio Ferraz. Disponível em: [https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/ref1\\_total2.pdf](https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/ref1_total2.pdf). Acesso em: 23 set. 2023.

BONHO, Fabiana T. **Pesquisa mercadológica**. São Paulo: Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595026636. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595026636/>. Acesso em: 12 out. 2023.

CÂMARA Fria Gallant 3×3 Congelado c/ Piso Cond Elgin 220v/3F. **Gallant**, [s.d.]. Disponível em: <https://gallant.vc/produto/camara-fria-gallant-4c-ecp-3x3-paineis-congelado-standard-com-piso-pain-com-cond-elgin-220v-trifa/> Acesso em: 01 nov. 2023.

CÂMARAS Frigoríficas — o que são, para que servem e como escolher? **Dufrio**, 2017. Disponível em: <https://www.dufrio.com.br/blog/refrigeracao/camaras-frigorificas-o-que-sao-para-queservem-e-como-escolher/>. Acesso em: 1 set. 2023.

CAMPOS, Carolina de. **Módulo prático para estudos de sistemas de refrigeração mecânica por compressão**. 2015. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

CASTRO José de. **Refrigeração comercial, climatização industrial**. São Paulo: Leopardo Editora, 2010.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. São Paulo: Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788580552010. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552010/>. Acesso em: 30 out. 2023.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2006. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 10 out. 2023.

COOLSELECTOR®2. **Danfoss**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.danfoss.com/pt-br/service-and-support/downloads/dcs/coolselector-2/#tab-ove>. Acesso em: 1 set. 2023.

CORDEIRO FILHO, Milton F.; FARIAS FILHO, Emílio J. **Planejamento da Pesquisa Científica**. 2. ed. São Paulo: Grupo GEN, 2015. E-book. ISBN 9788522495351. Disponível

em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522495351/>. Acesso em: 13 out. 2023.

CRESWELL, John W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa**. São Paulo: Grupo A, 2014. E-book. ISBN 9788565848893. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565848893/>. Acesso em: 06 out. 2023.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L P. **Pesquisa de métodos mistos**. (Métodos de pesquisa). São Paulo: Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788565848411. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565848411/>. Acesso em: 06 out. 2023.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J D. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativos, quantitativos e mistos**. São Paulo: Grupo A, 2021. E-book. ISBN 9786581334192. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786581334192/>. Acesso em: 06 out. 2023.

DOSSAT, Roy J. **Princípios de refrigeração: teoria, prática, exemplos, problemas, soluções**. São Paulo: Hemus, 2004.

EVAPORADOR de Baixo Perfil Elgin c/ Resistência 220V Mono FXBE 039-3. **Gallant**, [s.d.]. Disponível em: <https://gallant.vc/produto/evaporador-de-baixo-perfil-elgin-c-resistencia-220v-mono-fxbe-039-3/>. Acesso em: 21 nov. 2023.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de metodologia**. São Paulo: Editora Saraiva, 2017. E-book. ISBN 9788502636552. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502636552/>. Acesso em: 05 out. 2023.

GIL, Antonio C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Grupo GEN, 2022. E-book. ISBN 9786559771653. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559771653/>. Acesso em: 11 out. 2023.

GIL, Antonio C. **Como Fazer Pesquisa Qualitativa**. São Paulo: Grupo GEN, 2021. E-book. ISBN 9786559770496. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559770496/>. Acesso em: 12 out. 2023.

LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Grupo GEN, 2021. E-book. ISBN 9788597026580. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597026580/>. Acesso em: 13 out. 2023.

- LOZADA, Gisele; NUNES, Karina S. **Metodologia científica**. São Paulo: Grupo A, 2019. E-book. ISBN 9788595029576. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595029576/>. Acesso em: 05 out. 2023.
- MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva M. **Metodologia Científica**. São Paulo: Grupo GEN, 2022. E-book. ISBN 9786559770670. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559770670/>. Acesso em: 05 out. 2023.
- MATIAS-PEREIRA, José. **Manual de Metodologia da Pesquisa Científica**. São Paulo: Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788597008821. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597008821/>. Acesso em: 05 out. 2023.
- MATTAR, João; RAMOS, Daniela K. **Metodologia da pesquisa em educação: Abordagens Qualitativas, Quantitativas e Mistas**. São Paulo: Grupo Almedina, 2021. E-book. ISBN 9786586618518. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786586618518/>. Acesso em: 12 out. 2023.
- MILLER, Rex; MILLER, Marcos. **Ar-Condicionado e Refrigeração**. 2. ed. São Paulo: Grupo GEN, 2014. E-book. ISBN 978-85-216-2612-1. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2612-1/>. Acesso em: 27 out. 2023.
- MIRANDA, Silas Ferreira Tavares Martins. **Análise termodinâmica de um refrigerador funcionando com diferentes fluidos refrigerantes sintéticos**. 2017. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal, RN, 2017.
- MORAIS, Izabelly S.; ZANIN, Aline. **Engenharia de software**. São Paulo: Grupo A, 2020. E-book. ISBN 9788595022539. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595022539/>. Acesso em: 27 out. 2023.
- NASCIMENTO, Luiz Paulo do. **Elaboração de projetos de pesquisa: Monografia, dissertação, tese e estudo de caso, com base em metodologia científica**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2016. E-book. ISBN 9788522126293. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522126293/>. Acesso em: 10 out. 2023.

PRESSMAN, Roger S.; MAXIM, Bruce R. **Engenharia de software**. São Paulo: Grupo A, 2021. E-book. ISBN 9786558040118. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786558040118/>. Acesso em: 16 out. 2023.

REFRIGERAÇÃO Comercial. **Elgin**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.elgin.com.br/Refrigeracao/Segmento/RefrigeracaoComercial>. Acesso em: 1 set. 2023.

SAMPIERI, Roberto H.; COLLADO, Carlos F.; LUCIO, María D. P B. **Metodologia de pesquisa**. São Paulo: Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788565848367. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565848367/>. Acesso em: 06 out. 2023.

SBROCCO, José Henrique Teixeira de C.; MACEDO, Paulo Cesar de. **Metodologias Ágeis - Engenharia de Software sob Medida**. São Paulo: Editora Saraiva, 2012. E-book. ISBN 9788536519418. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519418/>. Acesso em: 16 out. 2023.

SORDI, José Osvaldo de. **Desenvolvimento de Projeto de Pesquisa**. São Paulo: Editora Saraiva, 2017. E-book. ISBN 9788547214975. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788547214975/>. Acesso em: 07 out. 2023.

STOECKER, Wilbert F.; JABARDO, José M S. **Refrigeração industrial**. São Paulo: Editora Blucher, 2018. E-book. ISBN 9788521212652. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521212652/>. Acesso em: 16 out. 2023.

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](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99296/tassini_jo_me_guara.pdf?sequence). Acesso em: 21 set. 2023.

TAZZETTI.R448A.Disponível em: <https://www.tazzetti.com/pt-pt/products-and-services/fluidos-refrigerantes/R448A>. Acesso em: 12 out. 2023.

TAZZETTI.R452A.Disponível em:<https://www.tazzetti.com/pt-pt/products-and-services/fluidos-refrigerantes/R452A>. Acesso em: 12 out. 2023.

UNIDADE Condensadora Elgin Ucb 4400 (4 Hp) C/ R-404A 220V Trifásico. **Gallant**, [s.d.]. Disponível em: <https://gallant.vc/produto/unidade-condensadora-elgin-ucb-4400-4-hp-c-r-404a-220v-trifasico/>. Acesso em: 21 nov. 2023.

VENTURINI, Osvaldo José; PIRANI, Marcelo José. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

VILAIN, Rogério (org.). **Projeto de Câmaras frias de pequeno porte**. São José: IF-SC, 2018

WALLIMAN, Nicholas. **Métodos de Pesquisa**. São Paulo: Editora Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788502629857. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502629857/>. Acesso em: 12 out. 2023.

WIRZ, Dick. **Refrigeração Comercial Para técnicos em ar-condicionado - Tradução da 2ª edição norte-americana**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2012. E-book. ISBN 9788522113316. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522113316/>. Acesso em: 07 out. 2023.

## APÊNDICE A-REVISÃO DOS DADOS DA SIMULAÇÃO

**Câmara Frigorífica - Passo 2 para 5: Revise a carga da câmara fria**

As entradas abaixo são necessárias para calcular a capacidade de refrigeração requerida da Câmara Fria:

Comprimento: 3,42 m	Condições da câmara: Temperatura: -18,0 °C	Produtos: Carne, congelada
Largura: 3,66 m	Umidade relativa: 85 %	Quantidade por dia: 800 kg
Altura: 2,40 m	Horas de funcionamento: 18 h	Temperatura de entrada: -13,0 °C
<input type="radio"/> Dimensões internas		Carga de calor de respiração:
<input checked="" type="radio"/> Dimensões externas		Massa total na câmara: 5814 kg

Troca de ar (infiltração):

Temperatura: 32,0 °C

Umidade relativa: 52 %

Abertura das portas:  
Regular

Taxa de troca do ar: 10,66  
(vezes o volume da câmara por 24 horas)

Transferência de calor:

Painéis padrão  Painéis personalizados

Tipo: Poliestireno

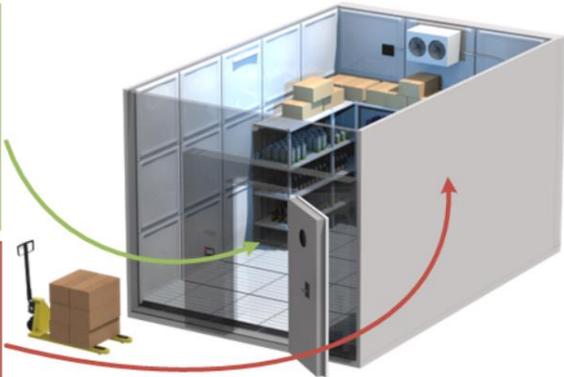
Espessura: 150,0 mm

Temperatura do ambiente: 32,0 °C

Temperatura abaixo do piso: 10,0 °C

O piso é isolado





Cargas adicionais		<input checked="" type="checkbox"/> Degelo	<input checked="" type="radio"/> Elétrico <input type="radio"/> Natural
Luzes:	83,87 W	Potência:	1068 W
Ventiladores:	91,11 W	Degelos por dia:	3
Pessoas:	2 horas/dia	Tempo de degelo:	30 mínimo
Outros:	0 W		

## APÊNDICE B-CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA

Câmara Frigorífica - Passo 5 para 5: Condições de operação

**Revise cuidadosamente a capacidade de resfriamento calculada e todas as condições de operação antes de pressionar "Selecionar":**

**Condições de operação**

Capacidade requerida:

<b>Evaporação:</b>	<b>Condensação:</b>	
Temperatura do ponto de orvalho: <input type="text" value="-28,0 °C"/>	Temperatura ambiente: <input type="text" value="33,0 °C"/>	
Superaquecimento útil: <input type="text" value="6,5 K"/>	Sub-resfriamento: <input type="text" value="3,0 K"/>	
Superaquecimento adicional: <input type="text" value="0 K"/>	Sub-resfriamento adicional: <input type="text" value="0 K"/>	
<input type="checkbox"/> Temperatura do gás de retorno: <input type="text" value="-21,5 °C"/>	Altitude: <input type="text" value="0 m"/>	

**Câmara fria:**

Temperatura:

Umidade relativa:

Horas de funcionamento:

**Carregar detalhes:**

Transmissão:	0,696 kW
Infiltração:	0,361 kW
Gelo no evaporador:	0,024 kW
Total de produtos:	0,147 kW
Produtos, refrigeração:	0,147 kW
Produtos, respiração:	0 kW
Luz:	0,009 kW
Pessoas:	0,042 kW
Ventiladores:	0,091 kW
Outros:	0 kW
Degelo:	0,065 kW
<b>Total:</b>	<b>1,435 kW</b>

**Comprimento da tubulação da unidade condensadora ao evaporador:**

**Optyma™ cooler selection:**

Dimensioning conditions:

Number of evaporators:



Constraints:

<b>Maximum evaporator dimensions:</b>		<b>Fins per inch:</b> <input type="text" value="Any"/>
Length:	<input type="text" value="3,00 m"/>	<b>Minimum number of fans:</b> <input type="text" value="3"/>
Width:	<input type="text" value="2,00 m"/>	
Height:	<input type="text" value="1,00 m"/>	

Método de degelo (seleccionado no passo 2): Degelo eléctrico

? Ajuda

< Anterior

Selezione

## APÊNDICE C-UNIDADE CONDENSADORA (FLUIDO R-404A)

### Câmara frigorífica 1 - Unidade condensadora

#### Condições de funcionamento (sincronizadas em toda a aplicação)

Refrigerante:	R404A		
Temperatura de evaporação (ponto de	-28,0 °C	Temperatura ambiente:	33,0 °C
Pressão de evaporação:	2,219 bar	Sub-resfriamento:	3,0 K
Ponto médio de temperatura de evaporação	-28,2 °C	Sub-resfriamento adicional:	0 K
Superaquecimento útil:	6,5 K	Altitude:	0 m
Superaquecimento adicional:	0 K		
Temperatura do gás de retorno:	-21,5 °C		
<b>Condições de classificação:</b>	<i>Padrão</i>		
<b>Capacidade de refrigeração requerida:</b>	1,435 kW		

#### Seleção: OP-LJZM0150UWH000N, R404A

A porcentagem de correspondência (128,6%) é maior que a máxima (110%).

Modelo	OP-LJZM0150UWH000N
Código	114N3477
Modelo do compressor	NTZ048-1
Linha de produtos	Optyma™ Slim
Versão do produto	WH
Refrigerante	R404A
Resfriamento [kW]	1,846
COP resfriamento reduzido [W/W]	1,16
Potência total [kW]	1,598
Corrente total [A]	8,080
Frequência [Hz]	60
Fonte de alimentação	208 - 220 V 1 ph
Tc [°C]	39,3

## APÊNDICE D- DADOS REFERENTES AO EVAPORADOR R-404A

### Resfriador Optyma™ Optyma™ DACC RX L127.1A4/E1

Código	114U0014
Resfriador Optyma™	Optyma™ DACC RX L127.1A4/E1
Capacidade [kW]	4,645
FPI	6
AWEF	4,22
Correspondência	251,66
Tipo de degelo	Elétrico
Perda de carga [bar]	0,195
Perda de carga do distribuidor [bar]	2,500
PS/MWP [bar]	24,00
Fluxo de ar [m³/h]	3675
Flecha do ar [m]	7,10
Numero de ventiladores	3
Potência por ventilador [W]	123
Tensão do ventilador [V]	230V/1Ph/50-60Hz
Carga total em amps [A]	1,350
Nível de pressão do ruído [dBA]	49
Potência de ruído do ventilador [dBA]	61
Potência da resistência [kW]	3,150
Corrente da resistência [A]	13,70
Área de superfície [m²]	21,72
Volume da Bobina [L]	2,661
Conexão de entrada [in]	1/2
Conexão de saída [in]	7/8
Espaçamento entre aletas [mm]	4,00
Comprimento [m]	1,86
Largura [m]	0,44
Altura [m]	0,46
Peso [kg]	52

## APÊNDICE E-DADOS DO SISTEMA R-404A

Sistema:	
Capacidade	
Carga térmica [kW] .....	= 1,846
Capacidade de refrigeração específica [kJ/kg] .....	= 102,3
Capacidade de aquecimento [kW] .....	= 2,934
Capacidade de aquecimento específico [kJ/kg] .....	= 162,7
Fluxo de massa do compressor [kg/h] .....	= 64,94
Fluxo de massa do evaporador [kg/h] .....	= 64,94
Evaporação	
Temperatura de evaporação [°C] .....	= -28,0
Temperatura de evaporação ponto de orvalho [°C] .....	= -28,0
Temperatura de evaporação ponto de ebulição [°C] .....	= -28,7
Pressão de evaporação [bar] .....	= 2,219
Superaquecimento útil [K] .....	= 6,5
Superaquecimento adicional [K] .....	= 0
Descarga do compressor	
Temperatura de descarga [°C] .....	= 67,3
Condensação	
Temperatura de condensação [°C] .....	= 39,3
Temperatura de condensação (ponto de orvalho) [°C] .....	= 39,3
Temperatura de condensação (ponto de ebulição) [°C] .....	= 38,9
Pressão de condensação [bar] .....	= 17,85
Sub-resfriamento [K] .....	= 3,0
Sub-resfriamento adicional [K] .....	= 0
Adicional	
Maxima perda de carga da linha de liquido (antes do flash gas) [bar] =	1,255

## APÊNDICE F-DADOS DO SISTEMA R-448A

Sistema:	
<b>Capacidade</b>	
Carga térmica [kW] .....	= 3,652
Capacidade de refrigeração específica [kJ/kg] .....	= 139,3
Capacidade de aquecimento [kW] .....	= 5,778
Capacidade de aquecimento específico [kJ/kg] .....	= 220,4
Fluxo de massa do compressor [kg/h] .....	= 94,35
Fluxo de massa do evaporador [kg/h] .....	= 94,35
<b>Evaporação</b>	
Temperatura de evaporação [°C] .....	= -28,0
Temperatura de evaporação ponto de orvalho [°C] .....	= -28,0
Temperatura de evaporação ponto de ebulição [°C] .....	= -34,0
Pressão de evaporação [bar] .....	= 1,759
Superaquecimento útil [K] .....	= 6,5
Superaquecimento adicional [K] .....	= 0
<b>Descarga do compressor</b>	
Temperatura de descarga [°C] .....	= 90,3
<b>Condensação</b>	
Temperatura de condensação [°C] .....	= 42,3
Temperatura de condensação (ponto de orvalho) [°C] .....	= 42,3
Temperatura de condensação (ponto de ebulição) [°C] .....	= 37,6
Pressão de condensação [bar] .....	= 17,72
Sub-resfriamento [K] .....	= 3,0
Sub-resfriamento adicional [K] .....	= 0
<b>Adicional</b>	
Maxima perda de carga da linha de líquido (antes do flash gas) [bar] =	1,262

## APÊNDICE G-DADOS DO SISTEMA R-452A

Sistema:	
Capacidade	
Carga térmica [kW] .....	= 1,740
Capacidade de refrigeração específica [kJ/kg] .....	= 101,6
Capacidade de aquecimento [kW] .....	= 2,790
Capacidade de aquecimento específico [kJ/kg] .....	= 162,8
Fluxo de massa do compressor [kg/h] .....	= 61,67
Fluxo de massa do evaporador [kg/h] .....	= 61,67
Evaporação	
Temperatura de evaporação [°C] .....	= -28,0
Temperatura de evaporação ponto de orvalho [°C] .....	= -28,0
Temperatura de evaporação ponto de ebulição [°C] .....	= -31,9
Pressão de evaporação [bar] .....	= 1,999
Superaquecimento útil [K] .....	= 6,5
Superaquecimento adicional [K] .....	= 0
Descarga do compressor	
Temperatura de descarga [°C] .....	= 71,4
Condensação	
Temperatura de condensação [°C] .....	= 41,2
Temperatura de condensação (ponto de orvalho) [°C] .....	= 41,2
Temperatura de condensação (ponto de ebulição) [°C] .....	= 37,9
Pressão de condensação [bar] .....	= 18,11
Sub-resfriamento [K] .....	= 3,0
Sub-resfriamento adicional [K] .....	= 0
Adicional	
Maxima perda de carga da linha de liquido (antes do flash gas) [bar] =	1,276

## APÊNDICE H-UNIDADE CONDENSADORA (FLUIDO R-448 A)

### Câmara frigorífica 1

### Câmara frigorífica 1 - Unidade condensadora

#### Condições de funcionamento (sincronizadas em toda a aplicação)

Refrigerante:	R448A		
Temperatura de evaporação (ponto de	-28,0 °C	Temperatura ambiente:	33,0 °C
Pressão de evaporação:	1,759 bar	Sub-resfriamento:	3,0 K
Ponto médio de temperatura de evapor	-30,1 °C	Sub-resfriamento adicional:	0 K
Superaquecimento útil:	6,5 K	Altitude:	0 m
Superaquecimento adicional:	0 K		
Temperatura do gás de retorno:	-21,5 °C		
<b>Condições de classificação:</b>	<i>Padrão</i>		
<b>Capacidade de refrigeração requerida:</b>	1,435 kW		

#### Seleção: OP-LNYM0400UWH000Q, R448A

A porcentagem de correspondência (254,4%) é maior que a máxima (110%).

Modelo	OP-LNYM0400UWH000Q
Código	114N3652
Modelo do compressor	LLZ013T2
Linha de produtos	Optyma™ Slim
Versão do produto	WH
Refrigerante	R448A
Resfriamento [kW]	3,652
COP resfriamento reduzido [W/W]	1,08
Potência total [kW]	3,371
Corrente total [A]	11,52
Frequência [Hz]	60
Fonte de alimentação	200 - 230 V 3 ph
Tc [°C]	42,3

## APÊNDICE I-UNIDADE CONDENSADORA (FLUIDO R-452 A)

### Câmara frigorífica 1

### Câmara frigorífica 1 - Unidade condensadora

#### Condições de funcionamento (sincronizadas em toda a aplicação)

Refrigerante:	R452A		
Temperatura de evaporação (ponto de	-28,0 °C	Temperatura ambiente:	33,0 °C
Pressão de evaporação:	1,999 bar	Sub-resfriamento:	3,0 K
Ponto médio de temperatura de evapora	-29,2 °C	Sub-resfriamento adicional:	0 K
Superaquecimento útil:	6,5 K	Altitude:	0 m
Superaquecimento adicional:	0 K		
Temperatura do gás de retorno:	-21,5 °C		
<b>Condições de classificação:</b>	<i>Padrão</i>		
<b>Capacidade de refrigeração requerida:</b>	1,435 kW		

#### Seleção: OP-LJHM0150UWH000Q, R452A

A porcentagem de correspondência (121,3%) é maior que a máxima (110%).

Modelo	OP-LJHM0150UWH000Q
Código	114N3509
Modelo do compressor	NTZ048-3
Linha de produtos	Optyma™ Slim
Versão do produto	WH
Refrigerante	R452A
Resfriamento [kW]	1,740
COP resfriamento reduzido [W/W]	1,10
Potência total [kW]	1,582
Corrente total [A]	5,467
Frequência [Hz]	60
Fonte de alimentação	200 - 230 V 3 ph
Tc [°C]	41,2

## APÊNDICE J-DADOS REFERENTES AO EVAPORADOR R-448A

### Câmara frigorífica 1 - Evaporador da câmara fria

### Resfriador Optyma™ Optyma™ DACC RX L127.1A4/E1

Código	114U0014
Resfriador Optyma™	Optyma™ DACC RX L127.1A4/E1
Capacidade [kW]	5,503
FPI	6
AWEF	4,22
Correspondência	150,70
Tipo de degelo	Elétrico
Perda de carga [bar]	0,220
Perda de carga do distribuidor [bar]	1,900
PS/MWP [bar]	24,00
Fluxo de ar [m <sup>3</sup> /h]	3675
Flecha do ar [m]	7,10
Numero de ventiladores	3
Potência por ventilador [W]	123
Tensão do ventilador [V]	230V/1Ph/50-60Hz
Carga total em amps [A]	1,350
Nível de pressão do ruído [dBA]	49
Potência de ruído do ventilador [dBA]	61
Potência da resistência [kW]	3,150
Corrente da resistência [A]	13,70
Área de superfície [m <sup>2</sup> ]	21,72
Volume da Bobina [L]	2,661
Conexão de entrada [in]	1/2
Conexão de saída [in]	7/8
Espaçamento entre aletas [mm]	4,00
Comprimento [m]	1,86
Largura [m]	0,44
Altura [m]	0,46
Peso [kg]	52

## APÊNDICE K- DADOS REFERENTES AO EVAPORADOR R-452A

### Câmara frigorífica 1 - Evaporador da câmara fria

#### Resfriador Optyma™ Optyma™ DACC RX L127.1A4/E1

Código	114U0014
Resfriador Optyma™	Optyma™ DACC RX L127.1A4/E1
Capacidade [kW]	4,994
FPI	6
AWEF	4,22
Correspondência	286,99
Tipo de degelo	Elétrico
Perda de carga [bar]	0,242
Perda de carga do distribuidor [bar]	2,500
PS/MWP [bar]	24,00
Fluxo de ar [m <sup>3</sup> /h]	3675
Flecha do ar [m]	7,10
Numero de ventiladores	3
Potência por ventilador [W]	123
Tensão do ventilador [V]	230V/1Ph/50-60Hz
Carga total em amps [A]	1,350
Nível de pressão do ruído [dBA]	49
Potência de ruído do ventilador [dBA]	61
Potência da resistência [kW]	3,150
Corrente da resistência [A]	13,70
Área de superfície [m <sup>2</sup> ]	21,72
Volume da Bobina [L]	2,661
Conexão de entrada [in]	1/2
Conexão de saída [in]	7/8
Espaçamento entre aletas [mm]	4,00
Comprimento [m]	1,86
Largura [m]	0,44
Altura [m]	0,46
Peso [kg]	52

## ANEXO 1 - TABELA DA QUANTIDADE MÉDIA DE PRODUTO

<b>TABELA 7 - QUANTIDADE MÉDIA DIÁRIA DE PRODUTO</b>		
<b>Volume câmara (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Quant. (em kg) p/ Resfr.</b>	<b>Quant. (em kg) p/ Congel.</b>
15...75	700...3200	250...800
75...150	3200...5750	800...1300
150...250	5750...8400	1300...2000
250...350	8400...11400	2000...2700
350...450	11400...15000	2700...3400
450...550	15000...17500	3400...4200
550...750	17500...24000	4200...5600
750...1000	24000...26500	5600...6800
1500...2000	44000...60000	10000...13500
2000...2500	60000...75000	13500...17000

## ANEXO 2 - LAYOUT INICIAL DO SOFTWARE

Coolselector2 - Untitled.cspj

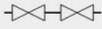
Arquivo Opções Ferramentas Ajuda Sobre Seleções Relatório Lista de Materiais Procure por produto, número de código..

Condições de Oper

VÁLVULAS E COMPONENTES EM LINHA



COMPONENTES EM SÉRIE



APLICAÇÕES COMERCIAIS



APLICAÇÕES INDUSTRIAIS



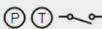
COMPRESSORES E UNIDADES CONDENSADORAS



CONTROLES ELETRÔNICOS



SENSORES E ATUADORES

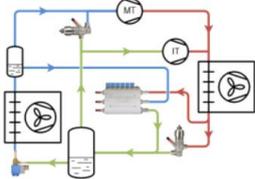


APLICAÇÕES PERSONALIZADAS





Câmara frigorífica



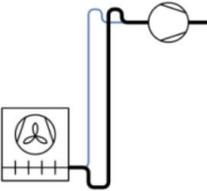
Lado de alta pressão transcrito



Ferramenta de retrofit



Unidade de recuperação de calor



Prumada

## ANEXO 3-CARACTERÍSTICAS DA VÁLVULA SOLENOIDE (FLUIDO R-404 A)

Ficha técnica

Válvula solenoide

**Tipos EVR 2 - EVR 40 Versão 2**

ENGINEERING  
TOMORROW





EVR é uma válvula solenoide de operação direta ou por servo, adequada para tubulações de líquido, de sucção e de gases quentes com a maioria dos refrigerantes, incluindo refrigerantes inflamáveis. Válvulas e bobinas EVR são vendidas separadamente.

### Características

- Linha completa de válvulas solenoides para refrigeração, congelamento e instalação de ar condicionado
- Fornecidas nas versões normalmente fechado (NF) e normalmente aberto (NA) com bobina desenergizada
- Ampla variedade de bobinas possíveis para CA e CC.
- Adequado para maioria dos refrigerantes, incluindo refrigerantes inflamáveis
- Projetado para meios com temperaturas até 105 °C
- Conexões roscadas de até 3/8 pol.
- Conexões de solda de até 2 1/2 pol.
- Versões de soldas com extremidades estendidas tornam a instalação mais fácil, eliminando a necessidade de desmontar a válvula ao realizar a soldagem
- Disponível em versões de conexão com rosca, solda e flange

## ANEXO 4-DADOS TÉCNICOS DA VÁLVULA SOLENOIDE (FLUIDO R-404 A)

### Dados técnicos

#### Refrigerantes

R22/R407C, R134a, R404A/R507, R410A, R407A, R32, R290, R600, R600a, R1234yf, R1234ze, R404A, R407F, R407H, R125, R152A, R448A, R449A, R452A, e R450A.

Para ver a lista completa de refrigerantes aprovados, visite [www.products.danfoss.com](http://www.products.danfoss.com) e procure por códigos individuais, onde os refrigerantes são listados como parte dos dados técnicos.



#### Nota especial para R32, R152A, R290, R600, R600a, R1234yf e R1234ze:

Este produto foi validado em conformidade com as normas ATEX, ISO 5149, IEC 60335, e UL. Risco de ignição é avaliado em conformidade com a ISO 5149 e IEC 60335.

Veja a nota de segurança no final desta página.

#### Temperatura do meio

-40 a +105°C

Máx. 130°C durante o degelo.

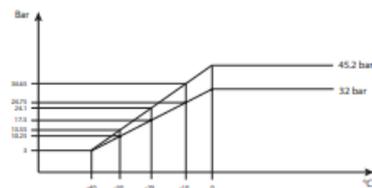
#### Temperatura ambiente e invólucro para bobina

Consulte a ficha técnica separada para obter informações sobre solenoide e bobinas ATEX.

#### Pressão de trabalho máx.

Conexões de rosca e solda EVR: 45,2 bar.

Conexões de flange EVR: 32 bar.



Pressão de trabalho máx. em bar em relação à temperatura do meio em °C.

#### Capacidade

Consulte os valores de  $K_v$  da tabela.

O valor  $K_v$  é o fluxo de água em [m<sup>3</sup>/h] a uma queda de pressão na válvula de 1 bar,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

Consulte as tabelas de capacidade ampliada mais adiante nesta ficha técnica.