

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ – FAG**  
**JAISON MAIOLLI KOSTUCHENKO**

**SELEÇÃO DE COMPONENTES E PROJETO DE CÂMARA FRIA PARA FINS**  
**ACADÊMICOS**

**CASCADEL**

**2019**

**CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ**  
**JAISON MAIOLLI KOSTUCHENKO**

**SELEÇÃO DE COMPONENTES E PROJETO DE CÂMARA FRIA PARA FINS**  
**ACADÊMICOS**

Trabalho apresentado à disciplina TCC  
– Projeto como requisito parcial para  
obtenção da aprovação semestral no  
Curso de engenharia Mecânica pelo  
Centro Universitário Assis Gurgacz.

**Professor Orientador:** Eng. Mecânico  
Rogerio Luiz Ludegero

**CASCADEL**

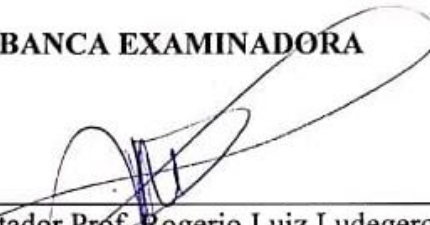
**2019**

**CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ  
JAISON MAIOLLI KOSTUCHENKO**

**SELEÇÃO DE COMPONENTES E PROJETO DE CÂMARA FRIA PARA FINS  
ACADÊMICOS**

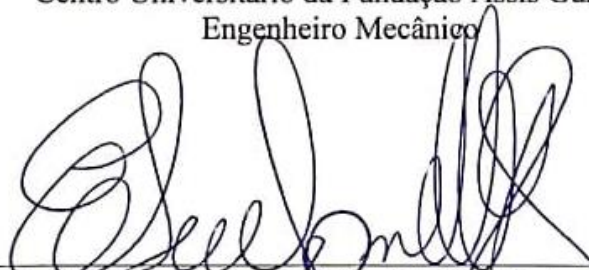
Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Rogerio Luiz Ludegero

**BANCA EXAMINADORA**




---

Orientador Prof. Rogerio Luiz Ludegero  
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz  
Engenheiro Mecânico



---

Professor. Me Eliseu Avelino Zanella Junior  
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz  
Engenheiro Mecânico



---

Professor. MSc. MBA. Sergio Henrique Rodrigues Mota  
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz  
Engenheiro Mecânico

**Cascavel, 26 de junho de 2019**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Daniele C. Ficanha e Lorenzo F. Kostuchenko, minha noiva e meu filho, que sempre estiveram comigo nesta caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, pela força divina em minha vida, por me proporcionar a oportunidade de realizar este trabalho e me orientar neste caminho.

A minha noiva Daniele Cristina Ficanha e meu filho Lorenzo Ficanha Kostuchenko por acreditarem em mim e me apoiarem em todos os momentos desta caminhada.

A todos os professores pela determinação e competência durante toda esta jornada em minha vida, em especial o professor e orientador Rogério Ludegero por se dedicar e auxiliar na elaboração deste estudo.

Agradeço também a todos os familiares e amigos, que embora não tenham sido citados, colaboraram de alguma maneira para que eu pudesse alcançar esta conquista.

## RESUMO

Tem-se notado a complicação de lecionar disciplinas técnicas em cursos de graduação. Isto está vinculado as dificuldades estruturais de conceder equipamentos capazes de auxiliar a teoria e a prática. Construir ferramentas que auxiliem no aprendizado e tornem o ensino mais dinâmico e prático é certamente uma forma de cativar os alunos e tornar mais proveitoso seu percurso acadêmico. As novas tecnologias de processos industriais e serviços, tem surgido a cada momento e a universidade carece de atualizar-se e capacitar seus laboratórios constantemente, principalmente no contexto da refrigeração. O presente trabalho caracteriza-se pela seleção dos componentes e o projeto de uma câmara fria para dar suporte a estudantes do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz com a finalidade de aperfeiçoamento na formação acadêmica atendendo as especificações e normas (órgãos responsáveis), para análises práticas de transferência de calor, máquinas térmicas e ar condicionado. A utilização desta câmara fria visa possibilitar o aprendizado pleno do conteúdo auxiliando nas etapas de dimensionamento, projeto, instalação, operação e manutenção. O protótipo será implantando no laboratório de refrigeração do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, com largura efetiva de 2,30 m, comprimento 2,30 m e altura 2,50 m. Após a implantação do protótipo será possível avaliar os resultados e rendimentos acadêmicos dos estudantes após a sua utilização, verificando sua eficácia para o auxílio ao aprendizado e o potencial para melhoria e aperfeiçoamento do acadêmico.

Palavras-chave: Resfriamento, didático, carga térmica, fluido refrigerante, aperfeiçoamento.

## **ABSTRACT**

It has been noticed the complication of teaching technical subjects in undergraduate courses. This is linked to the structural difficulties of providing equipment capable of aiding theory and practice. Building tools that help in learning and make teaching more dynamic and practical is certainly a way of captivating students and making their academic course more profitable. The new technologies of industrial processes and services, has arisen every moment and the university needs to constantly update and train their laboratories, especially in the context of refrigeration. The present work is characterized by the selection of components and the design of a cold room to support students of the Mechanical Engineering course of the University Center Assis Gurgacz Foundation for the purpose of improving academic training in compliance with specifications and standards), for practical analyzes of heat transfer, thermal machines and air conditioning. The use of this cold room aims to enable the full learning of the content assisting in the steps of design, design, installation, operation and maintenance. The prototype will be implanted in the refrigeration laboratory of the Assis Gurgacz Foundation University Center, with an effective width of 2.30 m, length 2.30 m and height 2.50 m. After the implementation of the prototype, it will be possible to evaluate the results and academic performance of the students after their use, verifying their effectiveness for the learning aid and the potential for improvement and improvement of the academic.

Keywords: Cooling, didactic, thermal load, refrigerant fluid, improvement.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Evaporador baixo perfil .....	36
<b>Figura 2:</b> Unidade condensadora .....	39
<b>Figura 3:</b> Válvula expansão termostática .....	41
<b>Figura 4:</b> Modelo de válvula de alívio de PVC .....	46
<b>Figura 5:</b> Controlador de temperatura eletrônico .....	47
<b>Figura 6:</b> Isolantes térmicos elastomérico.....	48
<b>Figura 7:</b> Local e dimensões onde será instalada a câmara fria. a) Laboratório de Refrigeração. b) Local exato onde será instalada a câmara fria. ....	51
<b>Figura 8:</b> Desenho da câmara fria (dimensões em mm) .....	56
<b>Figura 9:</b> Desenho da câmara fria com posicionamento da porta .....	61
<b>Figura 10:</b> Câmara fria e seus componentes .....	61
<b>Figura 11:</b> Vistas da câmara fria e seus componentes .....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Fluxo de calor (kcal/h.m <sup>2</sup> ) x $\Delta T$ (°C) – EPS .....	26
<b>Tabela 2:</b> Classificação do Isolamento x Fluxo de Calor.....	26
<b>Tabela 3:</b> Peso por produtos (carnes).....	27
<b>Tabela 4:</b> Entalpia dos produtos .....	28
<b>Tabela 5:</b> Troca de ar para carga de infiltração – Fator F.....	30
<b>Tabela 6:</b> Relação $\Delta T$ e umidade relativa para câmaras frigoríficas .....	31
<b>Tabela 7:</b> Entalpia e volume específico (Carta Psicrométrica) .....	31
<b>Tabela 8:</b> Fator equivalente de calor por pessoa - g .....	32
<b>Tabela 9:</b> Calor específico das embalagens.....	33
<b>Tabela 10:</b> Espessura do isolamento e condutividade térmica .....	34
<b>Tabela 11:</b> Trocas de ar recomendadas - Tar.....	38
<b>Tabela 12:</b> Quantidade de Óleo a Acrescentar na Tubulação (ml/m).....	43
<b>Tabela 13:</b> Cálculo de infiltração de ar .....	55
<b>Tabela 14:</b> Cálculo da penetração.....	56
<b>Tabela 15:</b> Dimensionamento do evaporador.....	57
<b>Tabela 16:</b> Modelo do evaporador.....	58
<b>Tabela 17:</b> Dimensionamento da unidade condensadora.....	59
<b>Tabela 18:</b> Modelo da unidade condensadora .....	59
<b>Tabela 19:</b> Dimensionamento da linha e fluido refrigerante.....	59

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1:</b> Carga térmica do produto .....	27
<b>Equação 2:</b> Entalpia média do produto .....	27
<b>Equação 3:</b> Massa do produto .....	27
<b>Equação 4:</b> Carga de infiltração .....	28
<b>Equação 5:</b> Volume da câmara .....	30
<b>Equação 6:</b> Carga térmica de pessoas .....	32
<b>Equação 7:</b> Carga térmica de iluminação.....	33
<b>Equação 8:</b> Carga térmica embalagem.....	33
<b>Equação 9:</b> Carga térmica de penetração .....	34
<b>Equação 10:</b> Carga térmica total .....	35
<b>Equação 11:</b> Carga térmica com reajuste para evaporador .....	37
<b>Equação 12:</b> Número de trocas de ar por hora .....	37
<b>Equação 13:</b> Carga térmica dos ventiladores .....	38
<b>Equação 14:</b> Carga térmica corrigida .....	39
<b>Equação 15:</b> Quantidade de fluido total.....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**a:** Altura da Câmara Fria

**A:** Área

**ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas

**AFDO:** Association of Food and Drug Officials

**ANSI:** American National Standards Institute

**ASHRAE:** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

**b:** Base da Câmara Fria

**CFC:** Clorofluorcarbono

**CLP:** Controlador Logico Programável

**cp:** Calor Específico

**e:** Espessura do Isolamento

**EPS:** Poliestireno Expandido

**F:** Fator

**FAG:** Faculdade Assis Gurgacz

**g:** Fator Equivalente de Calor por Pessoa

**h:** Horas

**har ext:** Entalpia do Ar Externo

**har int:** Entalpia do Ar Interno

**hf:** Entalpia Final do Produto

**hi:** Entalpia Inicial do Produto

**hm:** Entalpia Média do Produto

**HCFC:** Hidroclorofluorcarbono

**HFC:** Hidrofluorcarbono

**kcal/h:** Quilo Calorias por Hora

**kcal/h m<sup>2</sup>:** Quilo Caloria por Hora vezes Metro Quadrado

**kcal/kg:** Quilo Caloria por Quilo Grama

**kcal/kg °C:** Quilo Caloria por Quilo Grama vezes Graus Celsius

**kcal/h m<sup>2</sup> °C:** Quilo Caloria por Hora vezes Metros Quadrado vezes Graus Celsius

**kg:** Quilo Grama

**kW:** Quilo Watts

**l:** Comprimento da Câmara Fria

**Ltda:** Limitada

**m:** Metro

**ml / m:** Mililitro por Metro

**mm:** Milímetro

**m<sup>2</sup>:** Metro Quadrado

**m<sup>3</sup>:** Metro Cúbico

**m<sup>3</sup>/h:** Metro cúbico por hora

**Me:** Número de Trocas de Ar

**MMA:** Ministério do Meio Ambiente

**ne:** Número de Evaporadores

**np:** Número de Pessoas

**nl:** Número de Lâmpadas

**NBR:** Norma Brasileira

**P:** Potência

**PVC:** Policloreto de Vinila

**pol:** Polegada

**q:** Vazão

**Q:** Carga Térmica

**Q<sub>T</sub> :** Carga Térmica Total

**Qu:** Quantidade de Ventiladores

**Qv:** Carga Térmica dos Ventiladores

**Q1:** Carga Térmica do Produto

**Q2:** Carga de Infiltração

**Q3:** Carga Térmica de Pessoas

**Q4:** Carga Térmica de Iluminação

**Q5:** Carga Térmica Embalagem

**Q6:** Carga Térmica de Penetração

**quant:** Quantidade

**Se:** Quantidade de Fluido no Evaporador;

**Sl:** Quantidade de Fluido na Linha

**ST:** Quantidade de Fluido Total;

**Su:** Quantidade de Fluido na Unidade Condensadora

**t:** Tempo

**T:** Temperatura

**T ext:** Temperatura Externa

**T int:** Temperatura Interna

**T1:** Temperatura de Entrada

**T2:** Temperatura de Saída

**U:** Condutividade Térmica

**UR:** Umidade Relativa

**V:** Volts

**Ve:** Volume Específico

**$\Delta t$ :** Diferencial de Temperatura

**V:** volume da câmara

**°C:** Graus Celsius

**m:** Massa

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 OBJETIVOS .....	18
1.1.1 Objetivo geral.....	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	19
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1 PRODUTOS A SEREM ARMAZENADOS .....	21
2.2 ETAPAS DO PROJETO.....	21
2.3 PROJETO DA CÂMARA FRIA.....	22
2.4 CONSTRUÇÃO DA CÂMARA FRIA .....	23
2.5 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO .....	25
2.5.1 Carga Térmica.....	25
2.5.1.1 Carga Térmica Devido aos Produtos .....	26
2.5.1.2 Carga de Penetração e Infiltração de ar .....	28
2.5.1.3 Carga Térmica de Pessoas.....	32
2.5.1.4 Carga Térmica de Iluminação .....	32
2.5.1.5 Carga Térmica Embalagem.....	33
2.5.1.6 Carga Térmica de Penetração.....	34
2.5.2 Infiltração de ar .....	35
2.5.4 Cargas Diversas.....	35
2.6 COMPONENTES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	36
2.6.1 Evaporador.....	36
2.6.1.1 Cálculo do Número de Trocas de Ar por Hora .....	37
2.6.1.2 Carga Térmica dos Ventiladores .....	38
2.6.1.3 Carga Térmica com Ventiladores.....	38
2.6.2 Unidade Condensadora.....	39
2.6.2.1 Dimensionamento da Linha de Fluido Refrigerante .....	40
2.6.3 Válvula de Expansão Termostática .....	40
2.6.4 Fluido Refrigerante.....	41

2.6.5 Óleo Mineral .....	42
2.6.6 Óleo Polioléster .....	43
2.7 SELEÇÃO DO SISTEMA DA CÂMARA FRIA .....	44
2.7.1 Isolamento Térmico.....	44
2.7.2 Métodos de Isolamento Térmico.....	44
2.7.3 Escolha do Isolamento Térmico.....	45
2.7.4 Válvula de Alívio de Pressão de PVC .....	46
2.7.5 Controlador Eletrônico de Temperatura .....	46
2.7.6 Portas de Câmaras Fria .....	47
2.7.7 Isolante Térmico para Tubos de Cobre.....	48
2.8 NORMAS VIGENTES NACIONAIS E INTERNACIONAIS .....	48
2.8.1 NBR 16401 - 1:2008: Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários Parte 1: Projeto das Instalações .....	49
2.8.2 NBR 5410:2005: Instalações Elétricas de Baixa Tensão .....	49
2.8.3 ANSI/ASHRAE Standard 55-2017.....	49
2.8.4 NBR 10151:2000: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.....	50
2.9 LABORATÓRIOS TÉCNICOS .....	50
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>51</b>
3.1 TIPO DE ISOLAMENTO.....	52
3.2 SELEÇÃO DOS COMPONENTES DA CÂMARA FRIA .....	52
3.2.1 Dados da Câmara Fria .....	53
3.2.2 Volume da Câmara Fria e Condições do Ar no Ambiente Externo .....	53
3.2.3 Dados do Produto .....	53
3.3 CARGA TÉRMICA .....	54
3.3.1 Carga Térmica Devido aos Produtos.....	54
3.3.2 Carga de Penetração e Infiltração de Ar .....	54
3.3.3 Carga Térmica de Pessoas .....	55
3.3.4 Carga Térmica de Iluminação .....	55
3.3.5 Carga Térmica de Embalagem .....	55
3.3.6 Carga Térmica de Penetração .....	56
3.3.7 Carga Térmica Total.....	57
3.4 DIMENSIONAMENTO DE EVAPORADOR.....	57
3.4.1 Cálculo do Número de Trocas de Ar por Hora .....	58

3.4.2 Carga Térmica dos Ventiladores e com Ventiladores .....	58
3.5 DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE CONDENSADORA.....	58
3.6 DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE FLUIDO REFRIGERANTE .....	59
3.6.1 Quantidade de Fluido Refrigerante .....	60
3.6.2 Quantidade de Óleo Lubrificante do Sistema .....	60
3.7 PORTA.....	60
3.8 DESENHO DA CÂMARA FRIA .....	61
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>63</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>65</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	65
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
ANEXO 1: Carga de Refrigerante em Tubulações por 10 m de Comprimento Linear ..	70
ANEXO 2: Linha de Líquido e Sucção para R-404A – Parte 1 .....	71
ANEXO 3: Linha de Líquido e Sucção para R-404A – Parte 2.....	72
ANEXO 4: Unidades Condensadoras .....	73
ANEXO 5: Dados Físicos dos Evaporadores .....	74
ANEXO 6: Desenho da Câmara Fria e Seus Componentes (dimensões em mm) .....	75
ANEXO 7: Tabela NBR 16401 – 1 : 2008.....	756
ANEXO 8: Seleção do Evaporador .....	757
ANEXO 9: Seleção da Unidade Condensadora .....	758

## 1. INTRODUÇÃO

As câmaras frias têm como finalidade principal, a conservação de alimentos. Uma câmara fria pode ser qualquer espaço de armazenagem, que possua as suas condições internas controladas através de um sistema de refrigeração. Define-se por refrigeração a remoção de calor, onde o processo de redução de temperatura e conservação de um material, ocorra abaixo da temperatura presente no ambiente (SOARES, 2010).

A refrigeração é a forma mais comum para a conservação de alimentos perecíveis, com a vantagem de ser a única maneira onde o alimento é armazenado em seu estado natural. O armazenamento em câmaras frias conserva os alimentos frescos em temperaturas baixas e essa alocação retarda o desenvolvimento de microrganismos e a ação das enzimas, possibilitando estocar o alimento para o uso posterior sem que ele inicie seu processo de degradação precoce (OLIVEIRA e PAIVA, 2016).

Uma câmara fria tem por objetivo garantir a armazenagem de produtos alimentícios de maneira refrigerada ou congelada. O seu dimensionamento está conexo a fatores como o tipo e características térmicas do produto, as dimensões das câmaras, temperatura de operação, características climáticas do local de instalação da câmara fria, finalidade de uso (resfriamento, congelamento, estocagem), capacidade total e de movimentação de produtos (DRUZIAN et al, 2014). O sucesso na instalação e a eficiência de uma câmara fria estão contíguos à qualidade do projeto (dimensionamento, montagem, operação e manutenção), profissionais qualificados e segurança dos operadores (OLIVEIRA e PAIVA, 2011).

Na educação da engenharia, a integração entre a parte prática e teórica é de suma estima, uma vez que, os engenheiros deverão atuar como agentes da transformação social e responsáveis pela resolução de problemas no dia a dia. Assim, o incentivo e a execução de métodos de ensino inovadores assumem relevante papel para as universidades (BATISTA, 2017).

A metodologia prática auxilia no desenvolvimento de conceitos científicos, permitindo que os estudantes aprendam a abordar objetivamente o seu mundo e como desenvolver soluções para problemas complexos (LUNETTA, 1991). Além disso, as aulas práticas servem de estratégia e auxiliando o professor. Quando se compreende um conteúdo trabalhado em sala de aula, o aluno amplia sua reflexão sobre os fenômenos que acontecem à sua volta quando colocado em prática (LEITE et al., 2005).

Por meio de aulas práticas o aluno aprende a interagir com as suas próprias dúvidas, chegando a conclusões, e aplicando os conhecimentos por ele obtidos, tornando-se dirigente do seu aprendizado.

O presente trabalho tem por objetivo, auxiliar nas aulas práticas do curso de Engenharia Mecânica, através da seleção e viabilidade de um sistema de refrigeração aplicados ao resfriamento de carcaças suínas para as futuras instalações da câmara fria no Laboratório de Refrigeração

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Selecionar os componentes de uma câmara fria, com a finalidade de estudos na formação acadêmica que atenda todas as especificações e normas (órgãos responsáveis), para análises práticas na área transferência de calor, máquinas térmicas e ar condicionado.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- Analisar as normas vigentes para construção da câmara;
- Calcular a carga térmica;
- Seleção dos componentes do sistema da câmara fria.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Tem-se notado a dificuldade de ensinar disciplinas técnicas em cursos de graduação. Isto está relacionado as dificuldades estruturais de conceder equipamentos capazes de auxiliar a teoria e a prática. Criar ferramentas que ajudem no aprendizado e volvam o ensino mais dinâmico e prático é com certeza uma forma de encantar os alunos e tornar mais atrativa a sua jornada acadêmica.

A cada momento tem surgido novas tecnologias de processos industriais e serviços, e a universidade necessita atualizar-se e capacitar seus laboratórios constantemente. Na maioria das vezes este processo é complexo pela falta de recurso financeiro.

Buscando alternativas e baseado nestes fatos, a criação de protótipos que simulem ambientes reais são as alternativas extraordinárias para serem inseridas nos currículos das disciplinas das Universidades. Elas nos permitem diversas vantagens uma vez que englobam múltiplos assuntos, tornando o aprendizado mais dinâmico e fácil, pois o estudante possui mais soluções a sua disposição em espaços mais contemporâneos e com um formato mais condizente com a realidade (ROSA, 2000).

Diversos assuntos elencados na sala de aula podem ser repassados aos alunos de forma mais direta e ilustrativa. Com recursos que até algum tempo atrás não eram facilmente disponíveis. Assim, tem-se percebido a necessidade de criar protótipos que auxiliem o aluno em conteúdos específicos. Rosa (2000) ressalta que uma das áreas técnicas que mais tem necessidade de assistência é a Refrigeração e Ar Condicionado. Onde verifica-se a importância de um protótipo para dar aos alunos informações conjuntas sobre dimensionamento de Câmaras Fria, e que possibilite que seja feita análise do projeto, a instalação e a operação em um só processo. E ainda que possa incorporar os cálculos matemática do dimensionamento, as explicações relacionadas as variáveis envolvidas no conteúdo, os componentes a serem considerados e suas funções, o fluxograma do funcionamento de todo o sistema, e os diagnósticos apresentados em função dos defeitos advindos dos componentes durante o seu funcionamento normal.

De tal modo, este trabalho possui fundamental importância didática e prática, visto a possibilidade de permitir que o aluno aprenda na prática o efeito do dimensionamento através da execução de uma Câmara Fria conhecendo todo seu processo, com subsídios diretos item a item ao alcance no qual vai avançando na disciplina.

### 1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como construir uma câmara fria que consinta todas as especificações e normas (órgãos responsáveis), com a finalidade de estudos na formação acadêmica, para análises práticas na área de refrigeração?

### 1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada ao dimensionamento de uma câmara fria utilizada para fins acadêmicos no laboratório de refrigeração do curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário – FAG, localizada na cidade de Cascavel, na região oeste do Paraná.

O ambiente externo da câmara fria, segundo a NBR 16401 – 1: 2008 e de acordo com a região, o verão possui temperatura média de 35,1 °C e umidade relativa do ar de 50% a 65%.

A câmara fria utilizada para a realização deste estudo vai ser possível programar em várias faixas de temperatura, podendo o aluno selecionar a temperatura desejada para estudo, o ambiente é resfriado pelo ar por meio de um evaporador.

Os componentes serão selecionados de acordo com a norma, a instalação busca facilitar o acesso do aluno para melhor entendimento do sistema podendo assim comparar teorias ditas em sala de aula. O aluno poderá verificar as diversas temperaturas, pressões e umidades acompanhando em tempo real o funcionamento do sistema de refrigeração, as dúvidas geradas em sala de aula poderão ser esclarecidas com ajuda do equipamento

A câmara fria utilizada para este estudo terá um volume total de 13,25 m<sup>3</sup>, sendo as dimensões da base iguais a 2,30 m e 2,30 m, e altura igual a 2,50 m. A temperatura mínima de operação para manter produtos resfriados é de 1 °C no interior do estabelecimento, e umidade relativa do ar igual a 90%.

Para realizar o dimensionamento da câmara, utilizaram-se os parâmetros descritos pelas normativas pertinentes a este trabalho: NBR 16401 – 1:2008 Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários Parte 1: Projeto das Instalações; NBR 10151:2000: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento; NBR 5410:2005: Instalações Elétricas de Baixa Tensão e; ANSI/ASHRAE Standard 55-2017.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PRODUTOS A SEREM ARMAZENADOS

Produto pode ser definido, segundo Chagas (2012), como a parcela correspondente ao calor devido ao produto que entra na câmara, incluso dos seguintes itens:

- Calor sensível antes do congelamento, ou seja, etapa de resfriamento;
- Calor latente durante congelamento;
- Calor sensível depois do congelamento;
- Calor de respiração, aplicado somente para frutas.

Nos locais onde a movimentação dos produtos é intensa, a resolução exata desta parcela de carga térmica é imprescindível para o funcionamento acertado ou não da câmara. Quando comparado com outras câmaras, as câmaras utilizadas para o resfriamento ou congelamento dos produtos, acabam tendo um aumento significativo da carga térmica (CHAGAS, 2012).

Quando o plano operacional não prevê o recebimento de produtos com temperaturas inadequadas, acima das especificadas, poderão ocasionar uma carga térmica adicional ao sistema que poderá comprometer a operação, aumentando o consumo de energia. Deve-se sempre prever, a necessidade de utilização das câmaras de acordo com os parâmetros considerados no projeto.

### 2.2 ETAPAS DO PROJETO

Segundo Rosa (2000) a construção de câmaras frigoríficas requer projetos sofisticados, materiais de apropriada qualidade e mão de obra qualificada. Os projetos devem prever que a construção possa ser realizada prevendo alguma diversidade na instalação, sempre preconizando a compatibilidade dos materiais entre si. As instalações necessitam ser realizadas por profissionais cautelosos e experientes.

Para construção da estrutura do teto, do isolamento e do tipo de sistema de refrigeração as etapas empregadas na instalação estão ligadas diretamente ao sucesso do projeto da câmara frigorífica. Os procedimentos utilizados para construção do isolamento podem ser específicos para cada caso, como por exemplo:

- Isolamento empregando painéis;
- Isolamento justaposto mecanicamente;
- Isolamento aplicado com spray de espuma (ROSA, 2000).

Para Rosa (2000), estes métodos de construção enclausuram o ar e a umidade dentro da câmara, criando um ambiente adequado para armazenagem de produtos refrigerados.

### 2.3 PROJETO DA CÂMARA FRIA

De acordo com Druzian *et al.*, (2014) para um projeto eficiente deve-se levar em consideração os seguintes requisitos:

- Temperatura externa: deverá ser determinada conforme a região. Exemplo, região nordeste – semiárido (média);
- Temperatura interna: a definir conforme produto a ser utilizado;
- Umidade relativa: a definir conforme o produto ou modo de operação a ser utilizados;
- Dimensões internas da câmara frigorífica: deve-se atribuir levando em consideração o produto, movimentação e a ocupação;
- Câmara frigorífica: considerar em ambiente protegido de intempéries;
- Tensão disponível: definir e considerar conforme o local a ser instalada;
- Material da câmara: de acordo com a definição do tipo de isolamento definidos no dimensionamento;
- Tipo de isolamento: livre definição que dependem de questões econômicas e de dimensionamento;
- Produto: definir qual produto que será utilizado. Por exemplo, hortifrutigranjeiros - resfriar (frutas de livre definição deve-se considerar no mínimo 04 variedades);
- Embalagem: definida conforme o produto que será resfriado;
- Movimentação diária: percentual definido na etapa do dimensionamento;
- Ocupação total: atribuir na etapa de dimensionamento considerando as dimensões da câmara e peso;

- Presença de motor ou fonte de calor: a definir na etapa de dimensionamento. Por exemplo, iluminação, ventiladores, palheteiras, etc.;
- Temperatura de entrada do produto: vai ser de acordo com o horário e estado a ser definida;
- Número de pessoas: de acordo com a circulação interna, serviço, necessidades e tempo disponível;
- Tempo de trabalho efetivo: a ser definido conforme demanda, quanto menor, melhor;
- Considerar o tempo real para o bom funcionamento do equipamento de refrigeração e também o coeficiente de segurança;
- Projetar a câmara fria atendendo os dados e definições iniciais;
- Expor os diversos tipos de isolantes térmicos apontados, espessuras indicadas e comparativas entre os mesmos;
- Tipos de portas que atenderão o projeto;
- Tipos de iluminamento recomendados e comparativos;
- Componentes de controle e automatização;
- Componentes de segurança indispensáveis;
- Sugestões para o emprego apropriada de câmaras fria;
- Levantamento dos custos por área utilizada de isolante térmico (comparativos);
- Tempo estimado para a execução da câmara fria.

## 2.4 CONSTRUÇÃO DA CÂMARA FRIA

A execução de câmaras frigoríficas requer uma série de fatores, desde projetos sofisticados, materiais com qualidade e procedência, mão de obra qualificada e supervisionada. Os projetos necessitam avaliar que a construção seja realizada prevendo adversidades no andamento da instalação. Os materiais necessitam ser compatíveis entre si. As instalações devem ser feitas por profissionais qualificados, que possuam experiência e para um bom controle de qualidade a supervisão final dos trabalhos deve ser rigorosa.

O sucesso de um projeto de uma câmara fria está vinculado diretamente as etapas de construção da estrutura, do teto, do isolamento e do tipo de sistema de refrigeração empregado na instalação.

Para construção do isolamento alguns métodos podem ser específicos para cada caso, como por exemplo:

- Isolamento empregando painéis;
- Isolamento que pode ser aplicado mecanicamente;
- Isolamento que pode ser aplicado com spray de espuma.

A câmara consiste em edificações ou partes de edificações isoladas termicamente que oferece condição de estocagem controlada utilizando equipamento próprio para produção de frio. Os tipos mais comuns de câmaras frigoríficas são:

- Câmaras de congelamento;
- Câmaras de resfriamento;
- Câmara de estocagem para produtos definidos;
- Câmara de estocagem polivalente, etc.

A Association of Food and Drug Officials (AFDO) apud Rosa (2000), elaborou um guia que constitui os padrões para as fases de manipulação dos alimentos nos processos de refrigerados ou congelados. O guia aborda desde a recepção, manejo, congelamento, armazenagem, e transporte de alimentos refrigerados ou congelados, até as medidas sanitárias e as temperaturas solicitadas que carecem de ser seguidas pelos donos de produtos congelados ou refrigerados.

Para esta etapa, analisaram-se as cinco categorias que classificam os produtos refrigerados armazenados apontando a preservação da sua apropriada condição. Foram eles:

- Para longo período de armazenagem o uso do controle atmosférico, para produtos como frutas e verduras;
- Refrigeração em temperaturas de 0 °C e acima;
- Congelamentos em altas temperaturas que variam entre -2 °C e -3 °C;
- Câmaras de congelamento para armazenagens de produtos em geral, frequentemente mantidas entre -23 a -29 °C;

- Temperatura baixa de armazenagem entre -23 a -29 °C, que apresentam exagero de refrigeração para congelamento de produtos recebidos acima de -18 °C.

Para este trabalho, construir-se-á uma câmara de resfriamento atingindo temperaturas positivas e negativas, podendo assim comparar as umidades.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

A primeira análise a ser realizada para a definição das características do sistema de refrigeração, segundo Chagas (2012) é o cálculo de carga térmica, o mesmo deve ser calculado com a maior precisão possível, levando em consideração todas as particularidades dadas na especificação técnica.

### 2.5.1 Carga Térmica

Para manter as condições de umidade e temperatura dentro de um ambiente de câmara fria, a carga térmica de refrigeração é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada do ambiente. Geralmente, esta carga térmica está expressa em kcal/h (CHAGAS, 2012).

De acordo com Chagas (2012), esta carga térmica pode ser introduzida no ambiente das seguintes formas:

- Transmissão de calor pelo piso, parede e teto;
- Equivale a parcela de calor transmitida por condução através de paredes, tetos e pisos. Esta carga está sujeita a área de troca, ou seja, a superfície total submetida à troca de calor.

Necessita-se de atenção especial na escolha da espessura do isolamento térmico, de maneira que a superfície do lado quente, não alcance um valor baixo, aonde poderá acontecer uma condensação de vapor de água. Deste modo, sugere-se a adoção de uma espessura de isolamento para um fluxo de calor conforme mostra a Tabela 1 (CHAGAS, 2012).

**Tabela 1:** Fluxo de calor (kcal/h.m<sup>2</sup>) x  $\Delta T$  (°C) – EPS

$\Delta t$ (°C) mm	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
50	8	11	14	17	20	22	25	18	31	34	36	39	42	45	48
80	5	8	9	11	12	14	16	18	19	21	23	25	26	28	30
100	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24
125	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19
165	3	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	13	14	14
200	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	10	11	11	12
250	2	2	3	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8	9	10

(Fonte: Chagas, 2012).

Para Chagas (2012), ao aumentarmos a espessura do isolamento, diminuimos as perdas térmicas, porém, aumenta-se o custo do isolamento. Para estabelecer um balanço satisfatório entre o custo operacional da instalação e o custo do isolamento, o Fator de fluxo de calor deve ser igual a 8 kcal/h.m<sup>2</sup> (Tabela 2).

**Tabela 2:** Classificação do Isolamento x Fluxo de Calor

Classificação do Isolamento	Fluxo de Calor (kcal/h.m <sup>2</sup> )
Excelente	8
Bom	10
Aceitável	12
Regular	15
Ruim	>15

(Fonte: Chagas, 2012).

### 2.5.1.1 Carga Térmica Devido aos Produtos

Refere-se a carga térmica necessária para resfriar os produtos armazenados na câmara. Para carne suína utiliza-se a carga térmica do produto em processo de semi resfriamento, regido pela norma ASHRAE, através da Equação 1 e da Equação 2 abaixo:

$$Q1 = \frac{\dot{m} (hm - hf)}{t} \quad (1)$$

$$hm = \frac{hi + hf}{2} \quad (2)$$

Onde:

Q1: Carga térmica do produto (kcal/h)

$\dot{m}$ : Massa do produto Equação 4 (kg)

hm: Entalpia média do produto Equação 2 (kcal/kg)

hf: Entalpia final do produto (Tabela 4), (kcal/kg)

hi: Entalpia inicial do produto (Tabela 4), (kcal/kg)

t: Tempo de processo de semi-resfriamento 4,50 a 5 horas (h)

O tempo de semi-resfriamento para a câmara de resfriamento varia de 4,5 a 5 horas. Este tempo nada mais é que uma grande retirada de calor em um curto intervalo.

Para sabermos a quantidade de produto a ser estocado, no nosso caso produtos de origem animal, pode-se utilizar a Tabela 3 para a extração dos dados para executar Equação 3:

**Tabela 3:** Peso por produtos (carnes)

<b>Produto</b>	<b>1 carcaça</b>	<b>1/2 carcaça</b>	<b>1/4 carcaça</b>
<b>BOVINOS</b>			
Vaca	150	75	38
Boi (Centro/Zebu)	220	110	55
Boi (Sul)	200	100	50
Búfalo	240	120	60
<b>SUÍNOS</b>	60	30	
<b>CAPRINOS</b>	30	15	
<b>OVINOS</b>	30	15	
<b>EQUINOS</b>	180	90	45

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

$$\dot{m} = \text{quant} * \text{peso} \quad (3)$$

Onde:

$\dot{m}$ : Massa do produto (kg)

quant: quantidade de peças

peso: peso por peça (kg)

**Tabela 4:** Entalpia dos produtos

Alimento/ Temperatura (°C)	1	3	5	7	10	12	15	17	20	25	30
Carne Bovina, Gord. Média,e Aves	56,3	57,8	59,3	60,9	63,2	64,7	67	68,6	70,9	74,7	78,6
Carne Desossada	58,8	60,4	62	63,6	65,9	67,5	69,9	71,5	73,9	77,8	81,8
Carne Ovina, Gordura Média	54,3	55,8	57,3	58,8	61	62,5	64,8	66,3	68,5	72,3	76,1
Carne Suína	<b>51,3</b>	<b>52,8</b>	<b>54,2</b>	<b>55,7</b>	<b>57,8</b>	<b>59,3</b>	<b>61,4</b>	<b>62,9</b>	<b>65,1</b>	<b>68,8</b>	<b>75</b>
Filé De Peixe	68,2	69,6	71,7	73,4	76	77,8	80,4	82,1	84,8	89,1	-
Leite Condensado	5,7	6,8	7,8	8,8	10,4	11,4	13	14,1	15,6	18,2	20,8
Leite Desnatado	70,3	72,3	74,1	76	78,9	80,8	83,6	85,5	88,4	93,1	97,9
Maçãs e Outras Fruta	65,8	67,6	69,4	71,2	73,9	75,7	78,4	80,2	82,9	87,4	-
Manteiga	22,8	24,4	25,9	27,5	30,2	32	35,1	37,2	41	-	-
Miúdos	63,2	64,9	66,6	68,2	70,7	72,4	74,9	76,6	79,9	83,3	87,4
Ovos Batidos	63,9	65,5	67,2	68,8	71,3	72,9	75,4	77	79,5	83,6	-
Ovos em Casca	57,4	58,9	60,4	61,9	64,2	65,7	68	69,5	71,7	75,5	-
Peixe. Baixo Teor de Gordura	64,4	66,1	67,7	69,4	71,9	73,6	76,1	77,8	80,3	84,5	-
Peixe. Alto Teor de Gordura	60,4	62	63,6	65,2	67,7	69,3	71,8	73,4	75,8	79,9	-
Queijo	5,3	6,7	8	9,4	11,4	12,7	14,7	16	18,1	21,4	24,8
Requeijão	59,5	61,2	62,9	64,6	67,1	68,8	71,3	73	75,5	79,8	84
Sorvete	57,3	58,9	60,6	62,2	64,7	65,8	69	70,5	72,9	-	-
Uvas, Damascos e Cerejas	57,3	59	60,7	62,4	64,9	66,6	69,2	70,9	73,4	77,7	-

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

### 2.5.1.2 Carga de Penetração e Infiltração de ar

Constitui no calor que invade a câmara através de um fluxo de ar externo. Normalmente acontece quando a porta da câmara é aberta. A carga de infiltração na câmara é descrita na Equação 4:

$$Q2 = \frac{V * F * (har_{ext} - har_{int})}{\frac{Ve}{24}} \quad (4)$$

Onde:

Q2: Carga de infiltração – kcal/h

V: volume da câmara (m<sup>3</sup>)

F: fator da Tabela 5, que depende do volume da câmara fria

har ext: entalpia do ar externo, obtido na Tabela 7 (kcal/kg)

har int: entalpia do ar interno, obtido na Tabela 7 (kcal/kg)

Ve: volume específico do ar de entrada, obtido na Tabela 7 (m<sup>3</sup>/kg)

**Tabela 5:** Troca de ar para carga de infiltração – Fator F

Volume da Câmara (m <sup>3</sup> )	Trocas de Ar em 24 Horas	
	T ≥ 0 °C	T < 0 °C
5,6	44	22
8,5	34,5	22
11,3	29,5	21
<b>14</b>	<b>26</b>	<b>20</b>
17	23	20
22,5	20	20
28,5	17,5	13,5
42,4	14	13,5
56,4	12	9,3
84,5	9,5	9,3
113	8,2	9,3
114	7,2	5,6
169	6,5	5,6
225	5,5	5,6
281	4,9	3,8
422	3,9	3,8
563	3,5	2,6
704	3	2,6
845	2,7	2,1
1127	2,3	1,8
1408	2	1,6

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

Para o cálculo do volume da câmara fria utiliza-se a Equação 5:

$$V = b * a * l \quad (5)$$

Onde:

V: volume da câmara (m<sup>3</sup>)

b: base da câmara (m)

a: altura da câmara (m)

l: comprimento da câmara (m)

**Tabela 6:** Troca de ar para carga de infiltração – Fator F

Volume da Câmara (m <sup>3</sup> )	Trocias de Ar em 24 Horas	
	T >= 0 °C	T < 0 °C
5,6	44	22
8,5	34,5	22
11,3	29,5	21
<b>14</b>	<b>26</b>	<b>20</b>
17	23	20
22,5	20	20
28,5	17,5	13,5
42,4	14	13,5
56,4	12	9,3
84,5	9,5	9,3
113	8,2	9,3
114	7,2	5,6
169	6,5	5,6
225	5,5	5,6
281	4,9	3,8
422	3,9	3,8
563	3,5	2,6
704	3	2,6
845	2,7	2,1
1127	2,3	1,8
1408	2	1,6

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

A diferença entre a temperatura interna da câmara e a temperatura de evaporação do fluido refrigerante possui uma influência direta na umidade relativa do ambiente refrigerado. A umidade relativa no interior da câmara deve ser correspondente de acordo com o tipo de produto armazenado (HEATCRAFT, 2014). A Tabela 6, classifica a

variação da temperatura e umidade em função do produto e do local que serão armazenados.

**Tabela 7:** Relação  $\Delta T$  e umidade relativa para câmaras frigoríficas

Classe	DT	Umidade Relativa	Produtos
1	4°C a 5°C	90%	Armazenamento de vegetais, produtos agrícolas, flores, gelo sem embalagem e câmaras para resfriamento.
2	6°C a 7°C	85% a 80%	Armazenamento de frigorificados em geral e refrigeração, alimentos e vegetais embalados, frutas e produtos similares e produtos que requerem menores níveis de umidade relativa que os produtos da classe 1.
3	7°C a 9°C	80% a 65%	Cereja, vinho, produtos farmacêuticos, batatas, cebolas, frutas de casca dura, como melão, e produtos embalados. Estes produtos requerem U.R. moderada
4	9°C a 12°C	65% a 50%	Sala de preparo e processo, corte, armazém de cerveja, doces e armazenagem de filmes. Estas aplicações necessitam de baixa umidade relativa e não são afetadas pela umidade

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

**Tabela 8:** Entalpia e volume específico (Carta Psicrométrica)

Temperatura (°C)	Umidade relativa (UR)									
	50%		60%		70%		80%		90%	
	h	v	h	v	h	v	h	v	h	v
35	<b>19,49</b>	<b>0,8978</b>	21,54	0,9030	23,82	0,9082	26,12	0,9135	28,46	0,9188
32	16,83	0,8862	18,71	0,8895	20,61	0,8938	22,53	0,8981	24,47	0,9025
30	15,37	0,8771	17,00	0,8809	18,68	0,8847	20,37	0,8885	22,09	0,8924
20	9,20	0,8401	10,00	0,8421	10,99	0,8441	11,89	0,8460	12,80	0,8480
10	4,68	0,8070	5,14	0,8080	5,60	0,8090	6,06	0,8000	6,52	0,8109
5	2,81	0,7914	3,13	0,7920	3,46	0,7927	3,78	0,7934	4,11	0,7941
1	1,45	0,7791	1,69	0,7796	1,93	0,7802	2,17	0,7807	<b>2,42</b>	0,7812
-5	-0,46	0,7611	-0,32	0,7614	-0,16	0,7617	-0,02	0,7620	0,12	0,7623
-10	-1,92	0,7464	-1,83	0,7466	-1,73	0,7468	-1,64	0,7470	-1,54	0,7472
-20	-4,61	0,7175	-4,57	0,7176	-4,54	0,7176	-4,50	0,7177	-4,46	0,7178
-30	-7,13	0,6889	-7,12	0,6890	-7,10	0,6890	-7,09	0,6890	-7,08	0,6890

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

### 2.5.1.3 Carga Térmica de Pessoas

Refere-se ao calor provocado por pessoas que ingressam ou trabalham no interior da câmara e pode ser calculada pela Equação 6:

$$Q3 = \frac{np * t * g}{24} \quad (6)$$

Onde:

Q3: Carga térmica de pessoas (kcal/h);

np: número de pessoas;

t: tempo de permanência no interior da câmara (h);

g: fator equivalente de calor por pessoa, Tabela 8.

**Tabela 9:** Fator equivalente de calor por pessoa - g

Temperatura (°C)	Equivalente de Calor/Pessoa (kcal/h)
10	181
5	209
0	234
-5	257
-10	287
-15	315
-20	338
-25	360

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

### 2.5.1.4 Carga Térmica de Iluminação

Pode ser descrito pelo calor gerado das lâmpadas abrigadas no interior da câmara e consideram o tempo em que as lâmpadas permanecem ligadas. Esta carga térmica de iluminação é definida pela Equação 7:

$$Q_4 = \frac{P * nl * 0,86 * t}{24} \quad (7)$$

Onde:

Q4: Carga térmica de iluminação (kcal/h);

P: potência das lâmpadas (W);

nl: número de lâmpadas;

t: tempo de permanência ligadas (h);

0,86: constante de conversão.

#### 2.5.1.5 Carga Térmica Embalagem

Para efetuar o cálculo da carga térmica pela embalagem (Equação 8), se faz necessário o conhecimento do material a ser usado, para assim, conforme a Tabela 9, identificar o calor específico.

$$Q_5 = \frac{\dot{m} * cp * (T_1 - T_2)}{24} = \quad (8)$$

Onde:

Q5: Carga térmica embalagem (kg)

$\dot{m}$ : massa da embalagem (kg)

cp: calor específico da embalagem, Tabela 9 (kcal/h/kg.°C)

T1: temperatura de entrada (°C)

T2: temperatura de saída (°C)

**Tabela 10:** Calor específico das embalagens

<b>Tipo de Embalagem</b>	<b>Calor Específico (kcal/h/kg.°C)</b>
Alumínio	0,2
Vidro	0,2
Aço	0,1
Madeira	0,6
Papelão/Cartão	0,35
Caixas Plásticas	0,4

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

### 2.5.1.6 Carga Térmica de Penetração

Pode ser definida como o calor que entra na câmara através do piso, teto e parede. Seu valor é influenciado diretamente pelas dimensões da câmara e através da diferença de temperatura existente entre o meio externo e o seu interior (HEATCRAFT, 2014). É calculada através da Equação 9:

$$Q_6 = \frac{A * U * (T_{ext} - T_{int})}{e} \quad (9)$$

Onde:

Q6: Carga térmica de penetração (kcal/h)

A: área da parede, teto ou piso (m<sup>2</sup>)

U: condutividade térmica (Tabela 10) (kcal/h. m<sup>2</sup>.°C)

T ext: temperatura externa da câmara (NBR 16401-1:2008) (°C)

T int: temperatura interna da câmara (°C)

e: espessura do isolamento da parede da câmara (Tabela 1) (mm)

**Tabela 11:** Espessura do isolamento e condutividade térmica

Espessura (mm)	U (kcal/h. m <sup>2</sup> .°C)
50	0,055
80	0,035
100	0,028
125	0,022
165	0,017
200	0,014
250	0,011

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

A carga térmica total, refere-se, portanto, à somatória de todas as cargas térmicas calculadas de Q1 à Q6 e o calor causado pelos motores que serão instalados dentro da câmara. De acordo com a norma ASHRAE a carga térmica dos motores pode ser definida por dois métodos: através da equação dada pela norma ou adicionando se 10% à carga térmica total, conforme demonstra a Equação 10:

$$Q_{total} = (Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6) * 1,10 \quad (10)$$

Onde:

Q total: Carga térmica total (kcal/h)

Q1: Carga térmica do produto (kcal/h)

Q2: Carga de infiltração (kcal/h)

Q3: Carga térmica de pessoas (kcal/h)

Q4: Carga térmica de iluminação (kcal/h)

Q5: Carga térmica embalagem (kcal/h)

Q6: Carga térmica de penetração (kcal/h)

### 2.5.2 Infiltração de Ar

É a parcela correspondente ao calor do ar que chega a câmara pelo meio de suas aberturas. O ar externo adentra no interior da câmara cada vez que a porta é aberta, simulando uma carga térmica adicional. Assim, a determinação exata deste volume acaba se tornando muito difícil de determinar (CHAGA, 2012).

Em câmaras frias com circulação intensa e com baixa temperatura, este valor pode aumentar consideravelmente. Neste caso é fundamental o emprego de um meio redutor desta infiltração, tais como uma cortina de ar ou de PVC, ou até mesmo os dois atuando em conjunto simultaneamente (CHAGAS, 2012).

Segundo Chagas (2012), o aumento do consumo de energia elétrica pode ser em consequência da infiltração de ar demasiada que acarreta um bloqueio dos evaporadores, devido a formação de gelo em seu redor, reduzindo a capacidade do sistema de refrigeração.

### 2.5.4 Cargas Diversas

É a quantia de carga térmica advindo do calor gerado por lâmpadas, pessoas, motores e outros demais equipamentos. Os ventiladores que forçam a passagem de ar possuem motores que por sua vez são uma fonte de calor e, de consumo de energia elétrica. Dentro do imaginável, precisarão ser previstos meios de alterar a vazão de ar em

função da necessidade de carga térmica do sistema. Isto pode ser realizado com o emprego de variadores de frequência ou de motores de dupla velocidade (CHAGAS, 2012).

## 2.6 COMPONENTES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Segundo Chagas (2012), o que influencia absolutamente na capacidade de refrigeração são as características construtivas das câmaras frias, ou seja, possuem responsabilidade direta no aumento ou abaixamento do consumo de energia elétrica da instalação. Os principais fatores que podem ser considerados são:

- No âmbito das paredes e tetos a sua eficiência do isolamento térmico;
- Quando houver piso a eficiência do isolamento térmico;
- Se houver a existência de barreira de vapor adequada;
- Penetração de ar em níveis mínimos.

### 2.6.1 Evaporador

A primeira sequência para selecionar o evaporador é definir a classe e umidade relativa interna da câmara, a mesma dentro da câmara será responsável pela função da diferença de temperatura entre o ar da câmara e a temperatura da saída do evaporador (VILAIN e LOPES, 20??).

O evaporador de baixo perfil, são evaporadores de baixas vazões de ar na saída, composto por ventiladores e tubos de cobre aletados (serpentina). A Figura 1 demonstra ilustrativamente o evaporador de baixo perfil.



**Figura 1:** Evaporador baixo perfil

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

Após determinar a carga térmica, deve-se realizar a seleção dos equipamentos apropriados para o conjunto, aproximando como menção o tipo de trabalho e intervenção da câmara (HEATCRAFT, 2014).

Para a seleção dos equipamentos que serão utilizados, é de suma importância ter conhecimento referente ao número de trocas de ar (Tabela 11), a definição da carga térmica total (Equação 10), da classe do produto (Tabela 6), o diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ).

Para assegurar a evaporação completa do fluido refrigerante na saída do evaporador e evitar a propagação do líquido no interior da linha de sucção para o compressor é permitido ao refrigerante tornar-se aquecido no final do evaporador. Esta prática requer aproximadamente o aumento de 10 a 20% da capacidade total do evaporador evitando assim a quebra do compressor, definido pela Equação 11.

$$Q = Q_{TOTAL} * 1,20 \quad (11)$$

#### 2.6.1.1 Cálculo do Número de Trocas de Ar por Hora

Para evaporadores de câmaras de resfriamento e conservação de produtos em geral, não há um critério para a velocidade do ar e a quantidade perfeita de trocas de ar dentro da câmara (HEATCRAFT, 2014). O total de trocas de ar recomendável varia entre 80 a 120 trocas/h conforme as recomendações dadas na Tabela 11. A partir de então, é possível definir o número de trocas de ar por hora (Equação 12):

$$Me = \frac{q * ne}{V} \quad (12)$$

Onde:

Me: número de trocas de ar por hora

q: vazão de todos os evaporadores na câmara (m<sup>3</sup>/h)

V: volume interno da câmara (m<sup>3</sup>)

ne: número de evaporadores.

**Tabela 12:** Trocas de ar recomendadas - Tar

Tipo de aplicação	Número de trocas de ar recomendadas	
	Mínimo	Máximo
Conservação de congelados	40	80
Conservação de Resfriados	40	80
Câmaras de corte	20	30
<b>Câmaras de resfriamento de carne</b>	<b>80</b>	<b>120</b>
Maturação de banana	120	200
Armazenagem de frutas e vegetais	30	60
Túneis de congelamento rápido	150	300
Salas de processo	20	30
Armazenagem de carne sem empacotar	30	60

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

### 2.6.1.2 Carga Térmica dos Ventiladores

A carga térmica dos ventiladores é dada pela potência (P) dos ventiladores, multiplicado pela quantidade de ventilador (Qu) instalado no evaporador e pelo fator de conversão quilo Watts para quilo calorias por hora (860), de acordo com a Equação 13.

$$Qv = P * Qu * 860 \quad (13)$$

Onde:

Qv: Carga térmica dos ventiladores (kcal/h)

P: Potência dos ventiladores (kW)

Qu: Quantidade de ventiladores

860: Fator de conversão de kW/h para kcal/h

### 2.6.1.3 Carga Térmica com Ventiladores

A carga térmica com os ventiladores é a carga térmica real do sistema interno da câmara fria, onde pegamos a somatória das cargas de Q1 a Q6 e adicionamos com a carga dos ventiladores, que na Equação 9 era dada segundo norma ASHRAE pelos 10%.

$$Q = Q_T + Q_v \quad (14)$$

Onde:

Q: Carga térmica corrigida;

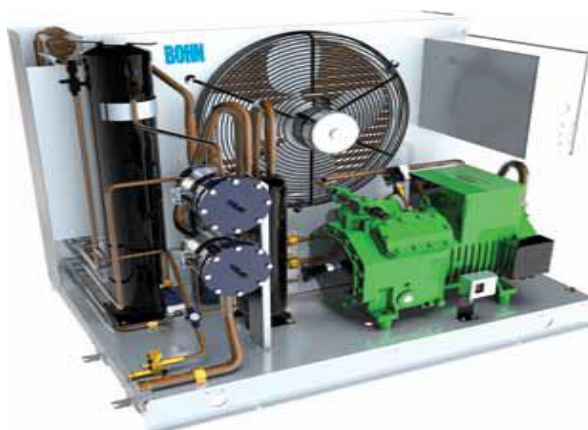
$Q_T$  : Carga térmica total;

$Q_v$ : Carga térmica dos ventiladores.

### 2.6.2 Unidade Condensadora

Para Rosa (2000) a função da unidade condensadora no sistema de refrigeração é recuperar o vapor e condensá-lo de volta ao estado líquido. Montada no lado de alta pressão do sistema de refrigeração a unidade condensadora é um conjunto de componentes que inclui um compressor, um condensador, um motor de ventilação, controles e uma base de montagem.

As unidades condensadoras são classificadas de acordo o agente de condensação utilizado para condensar o fluido refrigerante. A condensadora que utiliza ar como atuante de condensação é notada como unidade de condensação refrigerada por ar, enquanto uma que emprega a água como agente de condensação, é uma unidade de condensação refrigerada a água. A Figura 2 demonstra uma unidade condensadora.



**Figura 2:** Unidade condensadora

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

As unidades condensadoras são trocadores de calor, utilizados nos sistemas de refrigeração para realizar a condensação do fluido refrigerante derivado do compressor. Elas podem estar arrançadas na forma de condensadores remotos ou coligados em uma única estrutura em conjunto com um compressor, caracterizando uma unidade condensadora.

A seleção do tipo de condensador está unida a vários fatores, como o tipo de fluido refrigerante, a potência fria proposta, o consumo energético, as condições ambientais, o espaço físico disponível e o custo (HEATCRAFT, 2014).

#### 2.6.2.1 Dimensionamento da Linha de Fluido Refrigerante

As linhas de sucção e de líquido devem ser dimensionadas de modo a apresentar menor resistência ao fluxo do fluido refrigerante e perda de carga possível, sendo que a tubulação de sucção é a que mais exige atenção. Na linha de sucção, o vapor refrigerante e o óleo lubrificante estão praticamente separados. Portanto, o arraste de óleo de volta ao compressor é em função da velocidade e da densidade do vapor refrigerante na linha de sucção. A menos crítica é a linha de líquido, porque o fluido refrigerante líquido e o óleo são totalmente miscíveis nesta condição.

#### 2.6.3 Válvula de Expansão Termostática

A válvula de expansão termostática (Figura 3) Segundo Vilain e Lopes (2018), é a válvula de expansão mais utilizada em câmaras frigoríficas. O tipo de equalização que pode ser interna ou externa, será definido em função do evaporador escolhido. A escolha da válvula se dá em função da carga térmica calculada e da temperatura de evaporação e de condensação em que necessitará operar, inclusive do tipo de refrigerante empregado no sistema. A capacidade nominal aparece indicada na válvula, e define a capacidade real da válvula, para isso é preciso definir a pressão de evaporação e de condensação em que a válvula opera.

Quando houver perda de carga significativa no evaporador a válvula de expansão com equalização externa deverá ser empregada. Neste momento a temperatura na saída do evaporador por conta da queda de pressão é inferior do que a temperatura de evaporação após a saída, orifício da válvula. Caso se utilize equalização interna a válvula só vai abrir com um superaquecimento maior para compensar a perda de carga no

evaporador, devido ao bulbo do sensor estar medindo a temperatura na saída do evaporador que está mais baixa (VILAIN e LOPES, 2018).

De acordo com Vilain e Lopes (2018), a resultante deste processo é um superaquecimento excessivo obtido com o evaporador operando mais a seco do que o habitual. Este efeito acarreta a redução da capacidade do evaporador e por consequência da eficiência da máquina. Assim recomenda-se utilizar a válvula adequada.

Nos equipamentos de refrigeração e ar condicionado há uma constante busca pela eficiência. Uma resposta a esta tendência são as unidades plug-in que já congregam um controlador programável - CLP. Existe a possibilidade de se utilizar válvulas eletrônicas ao invés de válvulas de expansão termostáticas (VILAIN e LOPES, 2018).



**Figura 3:** Válvula expansão termostática

(Fonte: Catálogo DANFOSS, 2018).

#### 2.6.4 Fluido Refrigerante

Para o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2011), os princípios do Protocolo de Montreal sobre as Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio levaram a abolição do consumo de clorofluorcarbonos (CFCs) como refrigerantes nos países industrializados. Além disso, os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) preveem apenas uma solução interina, com eliminação total antevista para 2040.

Para as indústrias químicas que fabricam os fluidos refrigerantes, isso representa uma grande oportunidade para introduzir os hidrofluorcarbonos (HFCs), possuindo potencial zero de destruição da camada de ozônio. Porém, é necessário salientar que a maioria dos HFCs possuem alto potencial de aquecimento global, também conhecido como efeito estufa, inclusive superiores ao próprio R-22. No entanto, são mais onerosos e possuem temperatura “Glide” (em caso de vazamento parcial, a recomposição final da

carga não ficará com as mesmas características originais e, conseqüentemente, haverá perda de rendimento do equipamento frigorífico) (MMA, 2011).

Para Almeida *et al.* (2009), o fluido R-404A torna-se uma alternativa para a substituição do R-22. Caracterizado por ser uma mistura de gases refrigerantes HFCs, sendo eles o R-125, R-143A e R-134A. Conta ainda com grau zero de destruição da camada de ozônio, quando empregados em equipamentos novos de refrigeração a médias e baixas temperaturas.

O óleo lubrificante, é outra diferença do fluido R-404A para o R-22. Onde, o R-22 utiliza óleo mineral, e no sistema R-404A encontramos o óleo polioléster para lubrificação do compressor. De um modo geral, todos os agentes refrigerantes alternativos ao R22, sejam eles sintéticos ou naturais, possuem vantagens e desvantagem (ALMEIDA *et al.*, 2009).

Para saber a quantidade de fluido necessário para o sistema utilizaremos a Equação 15.

$$ST = Se + Su + Sl \quad (15)$$

Onde:

ST: Quantidade de fluido total (kg)

Se: quantidade de fluido no evaporador (kg)

Su: quantidade de fluido na unidade condensadora (kg)

Sl: quantidade de fluido na linha (kg)

### 2.6.5 Óleo Mineral

Para Biolub Química Ltda. (2018), o óleo mineral é proveniente do petróleo cru, e seu nível de qualidade está vinculado ao tipo de refino a que é submetido. De maneira geral, quanto mais refinado, melhores a suas propriedades físico-químicas, inclusive resistência à degradação, estabilidade térmica, índice de viscosidade, ponto de orvalho e temperaturas de operação mais elevadas.

Podem ser usados em sistemas submetidos a altas temperaturas. Por essa razão, são mais empregados em compressores alternativos, por exemplo, o pistão. Neste caso, a compressão é feita por meio de um êmbolo que se move para frente e para trás em um cilindro por meio de uma biela e uma cambota, que gera bastante calor devido ao atrito (BIOLUB, 2018).

Para aperfeiçoar as características dos óleos minerais, alguns aditivos químicos são misturados a ele, este processo tem por finalidade aumentar a vida útil do óleo para compressor, oferecendo maior resistência ao desgaste tanto do óleo quanto das partes móveis do equipamento (BIOLUB, 2018).

### 2.6.6 Óleo Polioléster

O óleo polioléster é totalmente sintético à base de éster (têm boas propriedades sob temperaturas extremas altas ou baixas), possuem em sua formulação aditivos, anticorrosivo e antiespumante. Este produto é compatível com gases refrigerantes halogenados, lubrificando e selando sem perda da viscosidade. Possui baixo ponto de fluidez, por ser totalmente sintético não carboniza, não forma borra, e não altera a viscosidade após longo período. Porém, este óleo é altamente higroscópico e quando exposto com ar, absorve rapidamente a umidade do mesmo (EVERCOLD, 2019).

A Tabela 12 mostra o acréscimo de óleo necessário para sistema de refrigeração, conforme o comprimento e o diâmetro da tubulação. Porém, até 5 m de tubulação, não é necessário adicionar óleo (HEATCRAFT, 2014).

**Tabela 13:** Quantidade de Óleo a Acrescentar na Tubulação (ml/m)

Diâmetro da tubulação	Temperatura de evaporação				
	0°C	-10°C	-20°C	-30°C	-40°C
3/8	5	5	6	6	6
1/2	9	9	10	10	11
5/8	14	15	15	16	16
3/4	20	21	22	23	24
7/8	27	29	30	32	33
1	35	37	39	41	43
1 1/8	45	47	50	52	55
1 1/4	55	58	61	64	67
1 1/2	79	84	88	93	97
1 5/8	93	98	103	109	114
2	141	149	157	165	172
2 3/8	199	210	221	232	243
2 1/2	220	233	245	257	269
3	317	335	353	370	388

(Fonte: HEATCRAFT, 2014).

## 2.7 SELEÇÃO DO SISTEMA DA CÂMARA FRIA

Para Rosa (2000), a seleção do sistema de refrigeração pode ser instituída de maneira simples nas etapas de projeto. Se a intenção é a construção de armazenagem para baixa temperatura, praticamente todos os tipos de refrigeração podem ser utilizados.

De outra maneira, se o tipo de armazenagem solicita desiguais tipos de temperaturas e umidades, um sistema para ser escolhido demanda o uso de várias salas isoladas e com condições dessemelhantes.

O compressor central deverá ser disposto em uma sala de máquinas, construída de forma simples em ambientes grandes, tomando cautela quanto a conservação de energia.

Ressalta-se que muitos fatores determinam a carga térmica projetada, neles estão o projeto de construção, as temperaturas internas e externas, e o principal, o fluxo de produtos aguardado (ROSA, 2000).

### 2.7.1 Isolamento Térmico

Segundo Chagas (2012), para evitar os problemas de condensação o isolamento térmico aparece com a intenção de minimizar as trocas térmicas indesejáveis, mantém a temperatura da parede externa do ambiente isolado, próximo à do ambiente externo.

O isolamento térmico é constituído por materiais de baixo coeficiente de condutividade térmica (U). Os materiais isolantes são porosos, onde a elevada resistência térmica é dada à baixa condutividade térmica do ar presente nos seus vazios. A transferência de calor acontece, maiormente, por condução. Nos espaços vazios acontece a convecção e irradiação, contudo com valores desprezíveis (CHAGAS, 2012).

### 2.7.2 Métodos de Isolamento Térmico

Para Chagas (2012), os métodos de isolamento são determinados em razão do processo de construção. Há basicamente dois métodos de isolamento, que se diferenciam no tipo e na maneira que são instalados:

- Isolamento posto no local da instalação;
- Isolamento pré-fabricado e conectado.

Ainda sobre o que se deseja do isolamento, pode ser examinado sobre outros pontos de vista:

- Como o isolamento é apostado;
- Funcionamento da barreira de vapor;
- A função básica do isolamento;
- Para o isolamento colocado no local qual o papel das camadas protetoras;
- Pode ser colocado dentro da estrutura principal, antes do levantamento da mesma.

### 2.7.3 Escolha do Isolamento Térmico

Para Chagas (2012), diversos materiais têm sido empregados para o isolamento de câmaras. Conforme já descrito, entende-se que quanto menor a densidade e maior o número de poros, maior o poder do isolamento. Assim sendo, um bom isolante térmico deve apresentar as seguintes qualidades:

- O custo do isolamento com um bom coeficiente de transferência de calor;
- Adequada impermeabilidade à água e umidade;
- Um reduzido coeficiente de expansão térmica;
- Baixa mudança da condutividade térmica relacionada à utilização;
- Absoluta ausência de cheiros;
- Resistência a decomposição;
- Resistência a roedores e distintos animais;
- Material à prova de fogo;
- Baixa densidade;
- O gás a ser utilizado no isolamento não pode contribuir negativamente com a camada de ozônio.

De acordo com MECALUX (2017), para câmaras frias os fabricantes costumam produzir painéis que medem entre 1,10 e 1,20 m de largura, geralmente 1,15 m, permitindo assim padronizar seu transporte e facilitar sua montagem. São cortados na medida apropriada na própria linha de produção de forma a evitar fazê-lo na obra

As espessuras dos painéis instalados nas câmaras de refrigeração industriais variam de 100 e 125 mm (em temperaturas positivas) e de 175 e 200 mm (em temperaturas negativas).

#### 2.7.4 Válvula de Alívio de Pressão de PVC

Para Fonseca (2017) as válvulas de alívio de pressão (Figura 4), também conhecidas como válvulas equalizadoras de pressão, ou válvulas de segurança, conforme Figura 4, são equipamentos instalados em câmaras de refrigeração possuindo funcionamento automático. Este aparelho tem como objetivo principal equalizar a pressão interna do local refrigerado onde são armazenados produtos com a pressão atmosférica do ambiente externo, considerando que sempre que houver a entrada de ar quente no interior da câmara, abertura de porta, sua pressão irá diminuir, já que o volume específico desta massa de ar será reduzido à medida que sua temperatura for rebaixada.

As válvulas de alívio de pressão normalmente são instaladas na parede da câmara, na parte superior da porta de entrada.



**Figura 4:** Modelo de válvula de alívio de PVC

(Fonte: ATR Sistemas de Refrigeração, 2015).

#### 2.7.5 Controlador Eletrônico de Temperatura

O controle de temperatura (Figura 5) deve ser moderno e instalado no exterior da câmara fria, fazendo com a operação sege mais rápida e segura, afim de evitar que

operadores tenham que entrar nas câmaras frias para verificar a temperatura, o que ocasionaria uma maior carga térmica, conseqüentemente, um maior gasto (DANFOSS, 2018).



**Figura 5:** Controlador de temperatura eletrônico

(Fonte: Catálogo DANFOSS, 2018).

#### 2.7.6 Portas de Câmaras Fria

Existem vários tipos de portas para câmaras frias, cada uma possui características próprias. Elas podem ter várias dimensões, com diferentes sentidos de abertura. A fechadura é externa, tendo um dispositivo de segurança interno de emergência (caso alguém fique preso no interior da câmara). Para evitar carga de infiltração, elas podem ter dobradiças de autofechamento. Abaixo alguns modelos de portas para câmara fria.

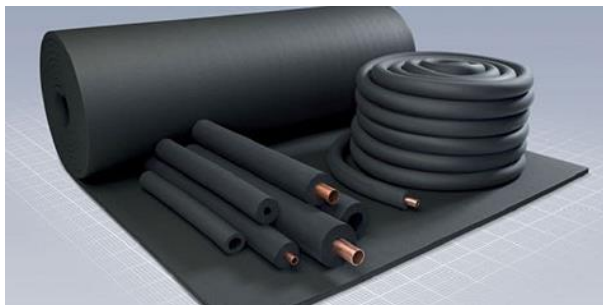
- Porta frigorífica giratória, semelhante as portas residenciais, ela é pivotante a partir de um eixo fixo (dobradiça);
- Porta frigorífica de correr ou corrediça, este tipo de porta desliza paralelamente em relação a parede onde ela será fixada;
- Porta frigorífica guilhotina, tal qual uma lâmina que sobe ou desce encaixada em seus trilhos laterais, requer pé-direito alto no local de instalação;
- Porta frigorífica seccionada, similar a porta do tipo guilhotina, porem a sua folha é dividida em secções que se recolhem paralelas em relação ao teto do local onde ela será fixada;
- Porta frigorífica rápida, normalmente construída em tecido com propriedades isotérmicas, além de ser automatizada, abre e fecha com extrema rapidez.

De acordo com GFRIO (2019), existem alguns padrões de dimensão de vão de luz de porta frigorífica do tipo giratória, são eles:

- 1,80 x 0,80 m;
- 2,00 x 1,00 m;
- 2,00 x 1,20 m;
- 2,20 x 1,20 m.

### 2.7.7 Isolante Térmico para Tubos de Cobre

Para VA Isolamentos Térmicos (2018), os isolantes térmicos para tubos de cobre são extrema importância para o bom funcionamento das tubulações. Por exemplo, em algumas instalações, o isolante térmico para cano de cobre é essencial, visto que promove o controle da condensação ocorrida e a conservação de energia. Um dos materiais utilizados como isolante térmico para cano de cobre é a espuma elastomérica, este material é capaz de resistir a temperaturas muito baixas, chegando até  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e a temperaturas muito altas, acima de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sendo extremamente versátil. A espuma elastomérica (Figura 6) é facilmente aplicada, prevenindo os dutos de corrosão e diminuindo perdas energéticas, sendo um ótimo isolante térmico para canos de cobre.



**Figura 6:** Isolantes térmicos elastomérico

(Fonte: VA Isolamentos Térmicos, 2018).

## 2.8 NORMAS VIGENTES NACIONAIS E INTERNACIONAIS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é o órgão brasileiro que rege as recomendações necessárias para a elaboração de projetos de diversas áreas. Possui

como preceitos, além de manter o respeito e preservação ambiental, garantir que características almejavéis como qualidade, segurança, confiabilidade, eficiência e intercambialidade sejam apostas em serviços e produtos. Seguem, para este trabalho específico as principais normas vigentes utilizadas para dimensionamento da câmara fria:

#### 2.8.1 NBR 16401 - 1:2008: Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários Parte 1: Projeto das Instalações

Segundo a ABNT (2008) esta norma estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar-condicionado centrais e unitários. Se aplica a instalações de ar-condicionado especiais que são regidas por normas específicas (salas limpas, laboratórios, centros cirúrgicos, processos industriais e outras) apenas nos dispositivos que não conflitem com a norma específica.

Não se aplica a pequenos sistemas unitários isolados, para conforto, em que a soma das capacidades nominais das unidades que compõe o sistema é inferior a 10 kW. Não tem efeito retroativo. Aplica-se a sistemas novos e a instalações ou parte de instalações existentes objetos de reformas (ABNT, 2008).

#### 2.8.2 NBR 5410:2005: Instalações Elétricas de Baixa Tensão

A NBR 5410 (ABNT, 2005) é a norma que recomenda as condições apropriadas para o funcionamento frequente e seguro das instalações elétricas de baixa tensão, sendo até 1000 V em tensão alternada e 1500 V em tensão contínua. A norma é principalmente aplicada em instalações prediais, comerciais, públicas, etc. A mesma funciona como um guia para os profissionais da área, mostrando o que se deve ou não fazer, as regras em instalações de baixa tensão são descritas em um texto diferenciado explicando como fazê-las, todo profissional que a conhece e aplica, possui um imenso diferencial técnico.

#### 2.8.3 ANSI/ASHRAE Standard 55-2017

Originada nos Estados Unidos, a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE, designa uma organização de profissionais da área de aquecimento, refrigeração e ar-condicionado. Esta organização tem por finalidade investigar, publicar, e estabelecer normas referentes à indústria de aquecimento,

refrigeração e ar-condicionado. Além disso, a ASHRAE é credenciada pela American National Standards Institute – ANSI, responsável por validar sistemas de normas e reforçar a economia e sustentabilidade nos Estados Unidos.

#### 2.8.4 NBR 10151:2000: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento

De acordo com a ABNT (2000) esta norma recomenda as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independentemente da existência de reclamações. A mesma estabelece um método para a medição de ruídos, a aplicação de correções se o ruído apresentar características especiais e, uma comparação dos níveis corrigidos com critérios estabelecidos nesta normativa, levando em consideração vários fatores (ABNT, 2000).

### 2.9 LABORATÓRIOS TÉCNICOS

Para Uniso (2018), as aulas em laboratórios dentro das universidades, em especial para o curso de Engenharia Mecânica, possuem um papel essencial na formação do aluno. Uma vez que permite, possibilita e aprimora a capacidade de volver realidade a teoria, de tornar viável o problema e de se adaptar às mais diversas condições que se apresentarão quando do exercício da profissão. Possibilita inclusive, a inserção no mercado de trabalho.

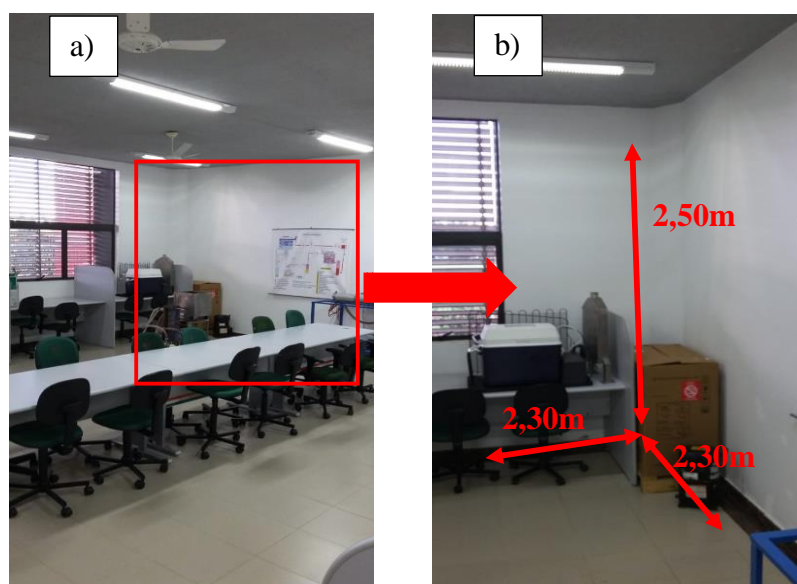
Além das aulas laboratoriais facilitarem o relacionamento entre os colegas de classe, os alunos adquirem familiaridade com equipamentos que poderão se deparar na vida profissional. Quanto maior o conhecimento nos equipamentos, mais preparado o aluno se torna para usufruir profissionalmente (UNISO, 2018).

### 3 METODOLOGIA

Com a finalidade de estudos acadêmicos, para executar a seleção dos componentes da câmara fria que será instalada no Laboratório de Refrigeração do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário – FAG, conforme Figura 7.

Primeiramente, determinou-se de acordo com a norma ASHRAE, a temperatura sob a qual a câmara deverá resfriar os produtos nela estocados. Segunda esta norma, as câmaras de resfriamento de carne possuem a temperatura interna de 1°C.

Definiu-se a condição mais crítica no verão sob a qual o ar no ambiente externo se encontra segundo NBR 16401 – 1: 2008, como não possui elencada a cidade de Cascavel, usamos os dados da cidade mais próxima Foz do Iguaçu, com temperatura do ar externo de 35,10 °C (ANEXO 7).



**Figura 7:** Local e dimensões onde será instalada a câmara fria. a) Laboratório de Refrigeração. b) Local exato onde será instalada a câmara fria.

(Fonte: O autor).

Tendo o conhecimento dos valores das temperaturas, determinou-se de acordo com orientador para qual produto e embalagem a mesma seria dimensionada, para facilidade de cálculos foi escolhido carne suína e caixa de papelão. Uma vez definidos estes dados necessários, foi possível encontrar a carga térmica da câmara fria. Para o dimensionamento e definição dos componentes do sistema, utilizaram-se fatores de segurança para garantir a qualidade e uso do equipamento.

A fase de planejamento também pode ser definida como anteprojeto. Essa fase é importante para a resolução do objetivo do projeto, de forma que ao término do desenvolvimento do trabalho, as solicitações e restrições deparadas fiquem atendidas.

### 3.1 TIPO DE ISOLAMENTO

Para esse trabalho foi escolhido o isolamento de poliestireno expandido, também conhecido como isopor, pois o mesmo possui menor valor e uma ótima eficiência. O EPS é composto por chapas de aço e isopor, possui um custo mais baixo em relação a outros isolamentos, mantendo uma ótima eficiência. Para escolher a espessura do isolamento, devido a câmara fria ser para fins acadêmicos e estar em local protegido, foi escolhido fluxo de calor igual a 10 (Tabela 2) com a temperatura do ambiente externo e o fluxo de calor (Tabela 1) foi definido a espessura do isolamento como 100 mm ou 0,10 m.

### 3.2 SELEÇÃO DOS COMPONENTES DA CÂMARA FRIA

A carga térmica de uma câmara frigorífica altera devido as variações que podem ocorrer, pois muitos são os fatores que contribuem para a determinação da carga térmica.

Incluem-se desde o projeto de construção, as temperaturas internas e externas do ambiente no qual a câmara será instalada. Um dos aspectos mais relevantes no dimensionamento deste projeto, é que não haverá fluxo de produtos, isto se deve ao fato do uso se destinar apenas para fins acadêmicos. Assim, é de grande importância ponderar e confrontar os tipos de construção e operação da câmara que se pretende executar.

Os fatores que serão considerados para determinação da carga térmica de uma câmara fria são:

- Calor determinado através dos ventiladores dentro da câmara;
- Calor determinado através das pessoas que circularão dentro da câmara;
- Calor determinado através das luzes dentro da câmara;
- Calor liberado pelas empilhadeiras: não se aplica neste estudo;
- Calor latente dos produtos armazenados: não se aplica;
- Calor sensível dos produtos armazenados: sendo o produto utilizado carne suína resfriada a 1°C;
- Calor determinado através da infiltração quando as portas são abertas.

### 3.2.1 Dados da Câmara Fria

A câmara de fria a ser dimensionada será instalada cidade de Cascavel – PR no Centro Universitário FAG, no Laboratório de Refrigeração. Tem como objetivo o resfriamento de carne suína. Para realizar o dimensionamento da câmara, levantaram-se os seguintes dados necessários:

- Área do piso: (2,30 x 2,30) m<sup>2</sup>;
- Altura das paredes: 2,50 m;
- Material de revestimento: poliestireno expandido 0,10 m de espessura;
- Capacidade máxima de resfriamento: 0,30 ton;
- Temperatura interna: 1°C;
- Entalpia interna: 51,30 kcal/kg (Tabela 4).

### 3.2.2 Massa do Produto e Volume da Câmara Fria

Através das Equações 3 e 5 e os dados presentes nos itens 3.2.1 e 3.2.2, determinaram-se a massa de produto e o volume da câmara fria.

Definiu-se a massa do produto pela Equação 3:

$$\dot{m} = 5 * 60 = 300 \text{ Kg}$$

Volume da câmara fria pela Equação 5:

$$V = 2,30 * 2,50 * 2,30 = 13,22 \text{ m}^3$$

### 3.2.3 Dados do Produto

Utilizou-se a carne suína para o dimensionamento desta câmara fria. Através dos dados definidos a partir das Tabelas 3 e 4:

- Quantidade de produto: 5 carcaças/dia;

- Peso por carcaça: 60 Kg (Tabela 3);
- Massa total por dia -  $\dot{m} = 300$  Kg (Equação 3);
- Entalpia do produto: 75 Kcal/Kg (Tabela 4);
- Tempo de semi-resfriamento: 5 horas.

### 3.3 CARGA TÉRMICA

A carga térmica pode ser deliberada como o total de calor a ser removido do ambiente a ser refrigerado dentro do espaço da câmara fria, propriamente destinada a refrigerar ou congelar. O valor da carga térmica de uma câmara depende de diferentes fatores, sendo as dimensões da câmara, os produtos armazenados, a diferença de temperatura com o meio externo, o isolamento das paredes, entre outros (HEATCRAFT, 2014).

#### 3.3.1 Carga Térmica Devido aos Produtos

$$hm = \frac{hi + hf}{2} = \frac{75 - 51,30}{2} = 63,15 \text{ kcal/Kg}$$

Pela Equação 2, a entalpia média (hm) notou-se que em 5 horas de resfriamento a temperatura do produto baixou de 30 °C para 17,34 °C (Tabela 4). E através da Equação 1, determinou-se a carga térmica do produto:

$$Q1 = \frac{\dot{m} * (hm - hf)}{t} = \frac{300 * (63,15 - 51,30)}{5} = 711 \text{ kcal/h}$$

#### 3.3.2 Carga de Penetração e Infiltração de Ar

Para efetuar Equação 4, referente a infiltração de ar, extraíram-se os dados da norma ASHRAE, demonstrados nas Tabelas 5, 6 e 7, reescrevendo-os para a Tabela 13:

$$Q2 = \frac{V * F * (har_{ext} - har_{int})}{24} = \frac{13,22 * 26 * (19,49 - 2,42)}{0,8978 * 24} = 271,40 \text{ kcal/h}$$

**Tabela 14:** Cálculo de infiltração de ar

<b>Dados para o cálculo (Q2)</b>	
Fator (F)	26
UR - interna	90 %
$\Delta t$ - interna	4 a 5 °C
Entalpia 1°C, UR 90%	2,42 kcal/kg
UR - externa	50 a 65 %
$\Delta t$ - externa	9 a 12 °C
Entalpia 35°C, UR 50%	19,49 kcal/kg
Volume específico 35°C, UR 50%	0,8978 m <sup>3</sup> /kg°C

(Fonte: O autor).

### 3.3.3 Carga Térmica de Pessoas

Para resolver a Equação 6 foi necessário interpolar o valor do “g” na Tabela 8.

$$Q3 = \frac{np * t * g}{24} = \frac{2 * 1 * 227,3}{24} = \mathbf{18,94 \text{ kcal/h}}$$

### 3.3.4 Carga Térmica de Iluminação

Utilizou-se a Equação 7, referente a carga térmica de iluminação.

$$Q4 = \frac{P * nl * 0,86 * t}{24} = \frac{100 * 1 * 0,86 * 1}{24} = \mathbf{3,58 \text{ kcal/h}}$$

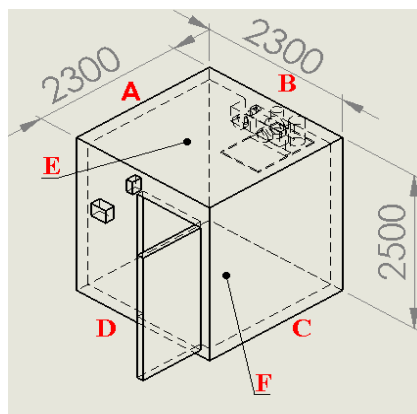
### 3.3.5 Carga Térmica de Embalagem:

Para efetuar a Equação 8, o valor da massa da embalagem (m) consultou-se o fornecedor de embalagens para frigoríficos, sendo embalagens para transportar 25 kg de carne pesam em torno de 1,20 kg, já o valor do calor específico (cp) extraiu-se da Tabela 9.

$$Q5 = \frac{\dot{m} * cp * (t1 - t2)}{24} = \frac{1,2 * 0,35 * (35,10 - 1)}{24} = \mathbf{0,597 \text{ Kcal/Kg}}$$

#### 4.3.6 Carga Térmica de Penetração

Para o cálculo da penetração – Q6 (Equação 9), utilizou-se os dados da Tabela 14, sendo que para calcular a área da câmara os dados foram extraídos da Figura 8.



**Figura 8:** Desenho da câmara fria (dimensões em mm)

(Fonte: Autor).

**Tabela 15:** Cálculo da penetração

<b>Dados para cálculo (Q6)</b>
Área A = B = C = D = 2,5 * 2,3 = 5,75 m <sup>2</sup>
Área E = F = 2,3 * 2,3 = 5,29 m <sup>2</sup>
Espessura do isolamento (e) = 0,1 m (Tabela 1)
Condutividade térmica (U) = 0,028 kcal/h. m <sup>2</sup> . °C (Tabela 10)
Temperatura externa (T ext) = 35,1 °C
Temperatura interna (T int) = 1 °C

(Fonte: O autor).

$$Q6 = \frac{A * U * (T_{ext} - T_{int})}{e}$$

Q6 A =	54,90	kcal/h
Q6 B =	54,90	kcal/h
Q6 C =	54,90	kcal/h
Q6 D =	54,90	kcal/h
Q6 E (teto) =	50,51	kcal/h
Q6 F (piso) =	50,51	kcal/h
<b>Q6 TOTAL =</b>	<b>320,62</b>	<b>kcal/h</b>

### 3.3.7 Carga Térmica Total

Como nesta etapa do trabalho ainda não se definiram os motores, utilizaram-se os 10% para majoração da carga referente aos mesmos (Equação 10).

$$Q_{total} = (711 + 272,4028 + 18,9416 + 3,5833 + 0,5967 + 320,6218)$$

$$Q_{total} = (1327,14) * 1,10$$

$$Q_{total} = \mathbf{1459,86 \text{ kcal/h}}$$

### 3.4 DIMENSIONAMENTO DE EVAPORADOR

Para dimensionar o evaporador se fazem necessários os dados apresentados na Tabela 15.

**Tabela 16:** Dimensionamento do evaporador

<b>Classe do produto</b>	<b>1</b>
$\Delta t$ classe	5 °C
Fluido refrigerante	R-404A
Tensão	220 V
Temperatura evaporação	-4 °C
Aletas	6 por pol
Número trocas	80 a 120
Carga térmica câmara	1459,86 kcal/h
Volume da câmara	13,22 m <sup>3</sup>
$\Delta t$ Tabela	6 °C

(Fonte: O autor).

Devido a hipótese de aquecimento do fluido refrigerante, para a carga térmica total, adicionou-se 20%, conforme descrito abaixo na Equação 11:

$$Q = 1459,86 * 1,20 = 1751,83 \text{ Kcal/h}$$

A partir da aferição da carga térmica total corrigida, torna-se possível a determinação do modelo do evaporador, conforme Tabela 16 (ANEXO 8):

**Tabela 17:** Modelo do evaporador

Modelo	Unidades	Temperatura Evaporação (°C)	Carga térmica (Kcal/h)	Vazão (m³)	Quant. de ventilador	Potência dos ventiladores (kW)
FBA6090E	1	-4	2158	1800	2	0,13

(Fonte: O autor).

### 3.4.1 Cálculo do Número de Trocas de Ar por Hora

A partir das recomendações da Tabela 11, é possível definir o número de trocas de ar por hora (Equação 12):

$$Me = \frac{1800 * 1}{13,22} = 136,11 \text{ trocas}$$

### 3.4.2 Carga Térmica dos Ventiladores e com Ventiladores

A carga térmica dos ventiladores é dada de acordo com a Equação 13.

$$Qv = 0,13 * 2 * 860 = 223 \text{ kcal/h}$$

A carga térmica com os ventiladores é o somatório da carga térmica real (somatório de Q1 a Q6) com a carga térmica dos ventiladores (Equação 14), onde antes foi adicionado os 10% referente a carga Qv.

$$Q = 1327,14 + 223,6 = \mathbf{1550,75 \text{ kcal/h}}$$

## 3.5 DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE CONDENSADORA

Para o dimensionamento da unidade condensadora, definiram-se os parâmetros demonstrados na Tabela 17.

**Tabela 18:** Dimensionamento da unidade condensadora

Classe	1
$\Delta t$ classe	5 °C
fluido refrigerante	R 404A
Tensão	220 V
T evaporação	- 4 °C
$\Delta t$ condensação	10 °C
T ar externo	35,1 °C
número circuito	1
carga térmica câmara	1550,7465 kcal / h

(Fonte: O autor).

A partir dos dados obtidos tornou-se possível a determinação do modelo da unidade condensadora, conforme a Tabela 18, (ANEXO 9).

**Tabela 19:** Modelo da unidade condensadora

Modelo	T externa (°C)	Temp de evaporação (kcal / h)		
		-1 °C	-4 °C	-5 °C
FLEX125X6*	35	2120	1985	1940

(Fonte: O autor).

### 3.6 DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE FLUIDO REFRIGERANTE

O dimensionamento e a instalação correta das tubulações de fluido refrigerante são condições básicas para garantir a vida do compressor e a eficiência do sistema frigorífico. Sendo o comprimento de 2,50 m. Foram utilizados os ANEXOS 1, 2 e 3 para dimensionar a tubulação.

**Tabela 20:** Dimensionamento da linha e fluido refrigerante

Capacidade do sistema (kcal/h)	Linha de Líquido	Linha de sucção	Isolante Térmico	
	-7 °C		Linha de Líquido	Linha de sucção
	até 7,50 m comprimento			
2250	3/8	5/8	3/8	5/8

(Fonte: O autor).

#### 4.6.1 Quantidade de Fluido Refrigerante

Para um bom funcionamento do sistema de refrigeração devemos nos atentar a questão da quantidade correta de fluido refrigerante. Para isso utilizaremos a Equação 15, a fim de, calcular o quanto do fluido R-404A utilizará no sistema:

- Evaporador: 1,30 kg (ANEXO 5);
- Unidade condensadora: 3,50 kg (ANEXO 4);
- Linha de líquido: 0,36 kg para cada 10 m linear (ANEXO 1);
- Linha de sucção: 0,0414 kg para cada 10 m linear (interpolado ANEXO 1).

$$ST = 1,30 + 3,50 + 0,09 + 0,01035 = 4,90 \text{ kg}$$

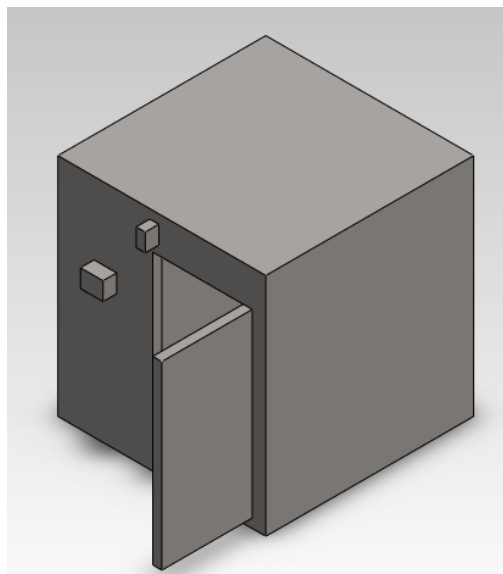
#### 3.6.2 Quantidade de Óleo Lubrificante do Sistema

O compressor instalado na unidade condensadora hermética já vem com uma certa quantidade de óleo para lubrificação do mesmo, porém, como é preciso interligar o evaporador com unidade condensadora precisamos acrescentar óleo, essa quantidade faz se necessária para tubulações acima de 5 m lineares e de acordo com diâmetro e comprimento da tubulação.

Na Tabela 12 para cada um metro de tubo 3/8 acrescentará 5 ml e para cada um metro de tubo 5/8 acrescentará 14 ml de óleo compatível para o fluido refrigerante R-404A no sistema.

#### 3.7 PORTA

A porta escolhida para câmara fria é de sistema giratório com abertura para direita, possuindo dimensões de 2,00 x 1,20 m, com isolamento poliestireno expandido (EPS), posicionada conforme a Figura 9.

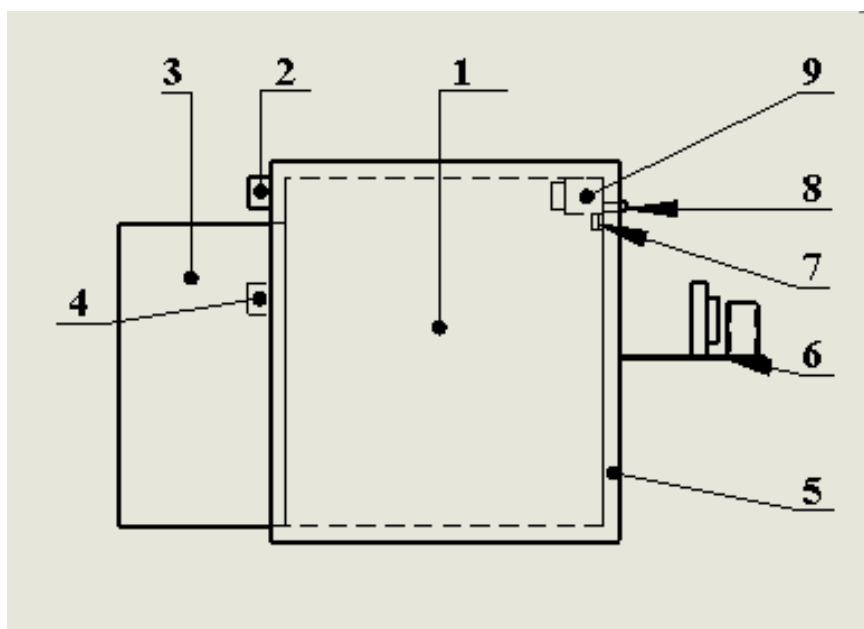


**Figura 9:** Desenho da câmara fria com posicionamento da porta

(Fonte: Autor).

### 3.8 DESENHO DA CÂMARA FRIA

A disposição dos componentes da câmara fria podem ser visualizados nas Figuras 10 e 11. Suas dimensões podem ser visualizadas no ANEXO 6.

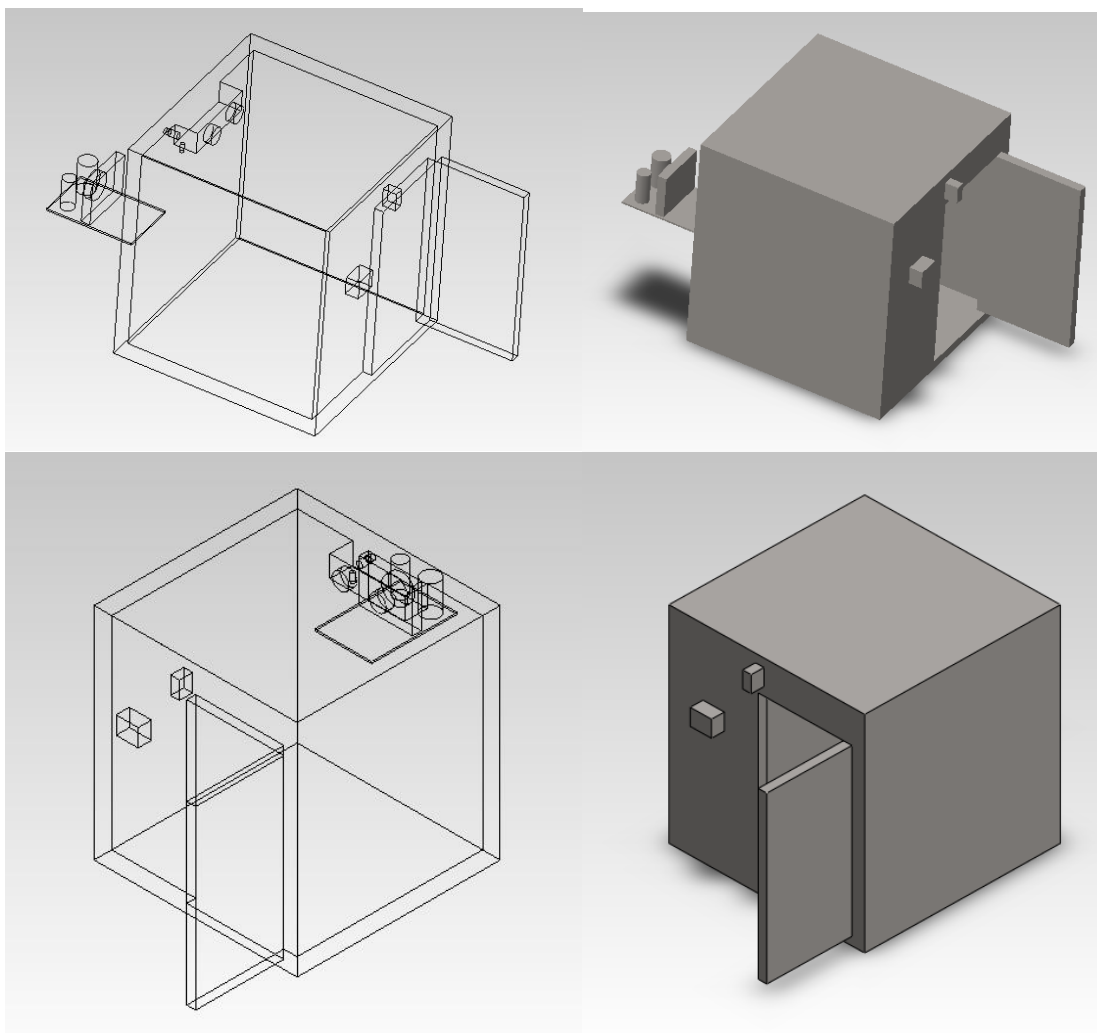


**Figura 10:** Câmara fria e seus componentes

(Fonte: Autor).

Onde:

- 1 - Câmara Fria;
- 2 - Válvula de Alívio;
- 3 - Porta;
- 4 - Controlador de Temperatura;
- 5 - Isolamento EPS;
- 6 - Unidade Condensadora;
- 7 - Dreno de Condensado;
- 8 - Linha do Fluido Refrigerante;
- 9 - Evaporador.



**Figura 11:** Vistas da câmara fria e seus componentes

(Fonte: Autor).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A busca por novas alternativas tecnológicas para os sistemas de engenharia, confrontam a necessidade atual da sociedade, pautando assim, diversas maneiras de se criar e definir sistemas com processos de qualidade. Sendo satisfatórios e atendendo às necessidades da indústria, fazendo com que, os profissionais formados saibam adequar, planejar e executar sistemas de refrigeração, preservando alimentos, contribuindo para a preservação destes alimentos e a saúde dos consumidores.

No processo de construção do conhecimento, existem barreiras de assimilação cognitivas que devem ser minimizadas ao longo do período acadêmico, através do aprendizado de uma série de conhecimentos que o capacitará ao pleno exercício de sua futura profissão.

A partir deste trabalho de conclusão de curso, notou-se a importância e influência que as metodologias de ensino adotadas pela universidade exercem sobre o processo de construção do conhecimento, pois elas atuam como uma ponte permitindo que o conhecimento, o qual o professor detém, alcance e se concretize no aluno através das aulas práticas. A utilização de metodologias que aderem aulas práticas aliadas às tradicionais metodologias teóricas, se configuram como dispositivos potencialmente eficazes nessa transmissão de conhecimentos.

O resultado da configuração do dimensionamento do sistema de refrigeração da câmara fria para o Laboratório de Refrigeração do curso de Engenharia Mecânica, foi obtido devido o cruzamento das informações e conteúdos aprendidos e discutidos na formação acadêmica durante o período letivo. No decorrer do desenvolvimento racional de cálculo deste sistema, evidenciou-se a importância do trabalho prático na formação acadêmica, como meio necessário para uma formação objetiva, prática e de excelência, que sirvam de embasamento para a vida profissional de cada formado.

A partir da definição do local de instalação e do produto a ser refrigerado, foi possível definir as dimensões mais adequadas para a câmara fria. Então, calculou-se a carga térmica requerida, e por meio desta, foi possível realizar as especificações e definições dos componentes mais adequados para o projeto.

Estabeleceu-se as alternativas para uso de refrigerantes, através do conceito de eficiência, sendo este um dos principais motivadores para inovações em equipamentos de refrigeração. Existem diversas opções técnicas desenvolvidas para reduzir a carga de

refrigerante nos equipamentos, diminuindo as emissões de refrigerantes na atmosfera e cooperando para o uso responsável.

A execução da câmara fria para fins acadêmicos, a partir do dimensionamento deste trabalho de conclusão de curso, apresenta-se ainda como um protótipo, mas demonstra o potencial que dispõe para atender estudantes de Refrigeração e Ar Condicionado. Como existem no mercado nacional muitos fornecedores de equipamentos de refrigeração e de máquinas elétricas, o protótipo pode ser ampliado para que o usuário selecione o tipo de fornecedor que lhe pareça mais atraente e que apresente vantagens em aspectos construtivos ou de manutenção.

## 5 CONCLUSÃO

Para este trabalho de conclusão de curso, buscou-se equipamentos com menor custo. Porém, como há diversos componentes para a execução da câmara fria no mercado deve-se prestar atenção na concepção do projeto. Se o foco será econômico, garantia superior, marcas de referência, fácil acesso a manutenção futura, entre outros.

A determinação da carga térmica, por ser para fins acadêmicos, deu início a partir de alguns pontos pré-determinados, como por exemplo, tamanho e quantidade das placas de isolamento, dimensões e local de instalação da mesma. Tendo em vista que as câmaras frias dimensionadas para o mercado tem suas dimensões definidas a partir da demanda do produto a ser resfriado ou congelado.

Para a seleção dos componentes, no que condiz com toda a concepção da câmara fria, há muitas dificuldades de seguir a Norma ASHRAE/ANSI, tendo em vista a diversidade e amplitudes de soluções e projetos que podem ser elaborados com a mesma. Para a maioria dos elementos que compõe a câmara se faz necessário a utilização de diferentes referências. Dessa forma, é de suma importância ter conhecimento das normativas.

Em todo o processo de elaboração deste trabalho, ocorreram dificuldades no âmbito de relacionar a teoria e a prática. Principalmente na seleção dos componentes devido à grande variedade disponível no mercado.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para futuros trabalhos, indica-se um estudo aprofundado do desempenho após as instalações e ajustes da câmara, para que de fato o dimensionamento teórico em sala de aula possa ser mensurado de forma real na prática.

A execução da câmara fria para fins acadêmicos, a partir seleção dos componentes deste trabalho de conclusão de curso, apresenta-se ainda como um protótipo, mas demonstra o potencial que dispõe para atender estudantes de Refrigeração e Ar Condicionado, Transferência de Calor e Máquinas Térmicas. Como existem no mercado nacional muitos fornecedores de equipamentos de refrigeração e de máquinas elétricas, o protótipo pode ser ampliado para que o usuário selecione o tipo de fornecedor que lhe pareça mais atraente e que apresente vantagens em aspectos construtivos ou de manutenção.

Outro item que poderá ser implementado é a seleção pelo usuário do tipo de fluido refrigerante, selecionando aquele que mais se adapte ao seu sistema ou que apresente maiores benefícios quanto as questões técnicas ou ambientais.

E por fim, a possibilidade de implementação de dispositivos remotos para fazer acompanhamento a distância (sala de aula).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I.M.G; BARBOSA, C.R.F; FONTES; **Simulação Energética de um Sistema de Refrigeração Operando com Misturas Zeotrópicas Ternárias**. Anais do IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, Belém-PA, 2009.

ASHRAE/ANSI, American National Standards Institute. Standard 55-2017. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy - ISSN 1041-2336**. Tullie Circle NE, Atlanta, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 16401**: Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários Parte 1: Projeto das Instalações. Rio de Janeiro, 2008.

ATR - Sistemas de Refrigeração. Disponível em <<http://atrcamaras.com.br/2015/camara-para-congelados/>>. Acesso em 08 jul. 2017.

BATISTA, Willian Gomes; SANTOS, Caio Lucas dos; NASCIMENTO, Raidson Macêdo; CRUZ, Nanderson Ribeiro da; BATISTA, Paulo dos Santos. **A importância da Metodologia Prática aplicada à Engenharia como fator inerente à aquisição do conhecimento profissional: o caso da disciplina de Ciência dos Materiais**. 8º Jornada de Iniciação Científica e Extensão – JICE. Universidade Federal do Tocantis, ISSN2179-5649, 2017, 9 p.

BIOLUB; Química Ltda. **Óleo para compressor: Conheça as diferenças (2018)**. Disponível em: <<https://biolub.com.br/blog/oleo-para-compressor/>>. Acesso em 05 mai 2019.

CHAGAS, José Augusto Castro. **Projeto e Construção de Câmaras Frigoríficas**. YORK Refrigeration Contracting Division, Joinville SC, 2012, 14 p.

DANFOSS; Catálogo. **Válvulas de expansão termostática tipos TRE10, TRE20, TRE40 e TRE80**. 2019, 23 p.

DRUZIAN, Cristiano. VIAL, Leandro Paulo. DAGHETTI, Derblai Junior. GANDINI, Douglas. **Câmara Frigorífica Em Funcionamento Sob Um Contêiner**. Trabalho Acadêmico de Engenharia Mecânica - Área das Ciências Exatas e Ambientais - Universidade Comunitária da Região de Chapecó - UNOCHAPECÓ, 2014, 44 p.

EVERCOLD. **Óleos especiais para refrigeração (201?)**. Disponível em: <<http://www.evercold.com.br/departamentos/refrigera%C7%C3o/%D3leo-para-refrigera%E7%E3o/>>. Acesso em: 22 abr 2019.

FONSECA, Yuri Isaias Buco. **Dimensionamento da válvula de alívio de pressão em uma câmara de refrigeração**. Centro Universitário Da Fundação Assis Gurgacz – FAG, 2017, 73 p.

GFRIO. **Porta para câmara frigorífica**. Disponível em: <<https://www.gfrio.com.br/porta-frigorifica.html>>. Acesso em 06 jun 2019.

HEATCRAFT. **Treinamento Técnico Avançado**. Edição Outubro, 2014, 114 p.

LEITE, A. C. S.; SILVA, P. A. B.; VAZ, A. C. R. **A importância das aulas práticas para alunos jovens e adultos: uma abordagem investigativa sobre a percepção dos alunos do PROEF II**. Rev. Ensaio, v.7, n. 3, 2005. p.166-181.

LUNETTA, V. N. **Atividades práticas no ensino da Ciência**. Revista Portuguesa de Educação, v.2, n. 1, 1991, p. 81-90

MECALUX. **O isolamento térmico nas câmaras frigoríficas**. Disponível em: <<https://www.mecalux.com.br/artigos-logistica/isolamento-termico-nas-camaras-frigorificas>>. Acesso em 29 mai 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Uso de fluidos naturais em sistemas de refrigeração e ar condicionado: artigos técnicos**. Brasília: MMA, 2011. 170 p.

OLIVEIRA, Estevã Martins de. **Dimensionamento do Sistema Frigorífico de Câmaras-Frias para Congelamento e Resfriamento de Carnes**. Anais do VII Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão – Universidade Federal do Pampa, 201?, 02 p.

OLIVEIRA Marcio de; PAIVA, Vinicius Tineli. **Análise De Desempenho Das Câmaras Frigoríficas Do Ru-Ufes**. Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, 2016, 103 p.

ROSA, Ademar Evandro. **Frigofácil: Sistema de Dimensionamento de Câmaras Frigoríficas**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Mestre Em Engenharia, 2000, 113 p.

SOARES, Rogério. **As Diversas Formas de Conservação de Alimentos**. Hôteliier News, São Paulo, p.1-5, 2010.

VA. **Isolamento Térmico Para Tubulação de Cobre**. Disponível em: <<http://www.vaisolamentotermico.com.br/isolamento-termico-tubulacao-cobre>>. Acesso em 6 jun 2019.

VILAIN, Rogério. LOPES, Maurício Nath. **Seleção De Componentes De Câmaras Frias De Pequeno Porte**. Instituto Federal Catarinense SC, 2018, 98 p.

UNISO, **A importância de aulas em laboratório na faculdade**. Disponível em: <<http://blog.uniso.br/a-importancia-de-aulas-em-laboratorio-na-faculdade/>>. Acesso em: 29 abr 2019.

## ANEXO 1: Carga de Refrigerante em Tubulações por 10 m de Comprimento

### Linear

Diâmetro da tubulação	Refrigerante	Linha de líquido	Linha de descarga	Linha de sucção (temperatura de evaporação)				
				-40°C	-30°C	-20°C	-10°C	0°C
3/8	R-134a	0,590	0,025	0,001	0,002	0,003	0,005	0,007
	R-22	0,580	0,033	0,002	0,004	0,005	0,008	0,011
	R-404A / R-507	0,360	0,036	0,002	0,004	0,005	0,008	0,011
1/2	R-134a	1,120	0,047	0,002	0,004	0,006	0,009	0,014
	R-22	1,100	0,063	0,005	0,007	0,010	0,015	0,020
	R-404A / R-507	0,960	0,095	0,006	0,009	0,015	0,020	0,029
5/8	R-134a	1,810	0,078	0,004	0,007	0,010	0,015	0,022
	R-22	1,800	0,102	0,008	0,011	0,017	0,024	0,032
	R-404A / R-507	1,560	0,154	0,010	0,016	0,024	0,033	0,047
7/8	R-134a	3,700	0,157	0,009	0,014	0,021	0,031	0,045
	R-22	3,650	0,210	0,015	0,023	0,034	0,048	0,067
	R-404A / R-507	3,170	0,314	0,020	0,033	0,048	0,068	0,095
1 1/8	R-134a	6,260	0,265	0,014	0,024	0,036	0,053	0,077
	R-22	6,170	0,352	0,026	0,040	0,057	0,081	0,113
	R-404A / R-507	5,370	0,531	0,034	0,055	0,081	0,113	0,161
1 3/8	R-134a	9,480	0,402	0,022	0,036	0,054	0,081	0,115
	R-22	9,350	0,534	0,040	0,059	0,087	0,123	0,171
	R-404A / R-507	8,130	0,804	0,051	0,084	0,124	0,172	0,244
1 5/8	R-134a	13,370	0,567	0,031	0,050	0,077	0,114	0,163
	R-22	13,180	0,752	0,055	0,084	0,122	0,174	0,241
	R-404A / R-507	11,470	1,134	0,073	0,118	0,174	0,242	0,345
2 1/8	R-134a	23,320	0,989	0,055	0,088	0,134	0,199	0,285
	R-22	23,000	1,312	0,096	0,150	0,214	0,303	0,420
	R-404A / R-507	20,000	1,978	0,127	0,206	0,304	0,422	0,601
2 5/8	R-134a	36,750	1,559	0,086	0,138	0,211	0,312	0,449
	R-22	36,240	2,068	0,151	0,230	0,336	0,479	0,663
	R-404A / R-507	31,520	3,117	0,200	0,325	0,480	0,665	0,948
3 1/8	R-134a	52,100	2,210	0,122	0,195	0,299	0,443	0,637
	R-22	51,360	2,931	0,215	0,326	0,478	0,678	0,940
	R-404A / R-507	44,680	4,418	0,284	0,461	0,680	0,943	1,344
3 5/8	R-134a	70,100	2,974	0,165	0,263	0,403	0,597	0,857
	R-22	69,110	3,944	0,290	0,439	0,642	0,911	1,264
	R-404A / R-507	60,120	5,945	0,382	0,620	0,915	1,270	1,808
4 1/8	R-134a	90,780	3,850	0,213	0,341	0,522	0,773	1,110
	R-22	89,490	5,108	0,375	0,570	0,831	1,180	1,637
	R-404A / R-507	77,850	7,698	0,495	0,803	1,185	1,643	2,341

## ANEXO 2: Linha de Líquido e Sucção para R-404A – Parte 1

Diâmetro da linha de sucção																					
Temperatura de evaporação																					
Capacidade do sistema (Kcal/h)	-7°C						-12°C						-23°C						-29°C		
	Comprimento equivalente (m)						Comprimento equivalente (m)						Comprimento equivalente (m)						Comprimento equivalente (m)		
	7,5	15	22,5	30	45	60	7,5	15	22,5	30	45	60	7,5	15	22,5	30	45	60	7,5	15	22,5
250	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	3/8	3/8	1/2
750	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	1/2	1/2	5/8
1.000	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8
1.500	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8
2.250	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8
3.000	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8
3.750	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8
4.500	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8
6.000	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
7.500	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
9.000	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8
10.500	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
12.000	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
13.500	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8
15.000	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8
16.500	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
18.000	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
19.500	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8
21.000	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8
22.500	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8
30.000	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8
37.500	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
45.000	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8
52.500	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8
60.000	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8
75.000	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8
90.000	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8
120.000	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8
150.000	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8
150.000	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8

### ANEXO 3: Linha de Líquido e Sucção para R-404A – Parte 2

Diâmetro da linha de sucção															Diâmetro da linha de líquido						Capacidade do sistema (Kcal/h)
Temperatura de evaporação															Do tanque de líquido à válvula de expansão						
-29°C			-35°C						-40°C												
Comprimento equivalente (m)			Comprimento equivalente (m)						Comprimento equivalente (m)												
30	45	60	7,5	15	22,5	30	45	60	7,5	15	22,5	30	45	60	7,5	15	22,5	30	45	60	
1/2	1/2	1/2	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	250	
5/8	7/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	750	
7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1.000	
7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1.500	
7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	2.250	
1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3.000	
1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	3.750	
1 1/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	4.500	
1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	6.000	
1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	7.500	
1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	9.000	
1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	10.500	
1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	12.000	
1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	13.500	
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	15.000	
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	16.500	
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	18.000	
1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	19.500	
2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	5/8	5/8	5/8	5/8	7/8	21.000	
2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	22.500	
2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	30.000	
2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	37.500	
2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	45.000	
2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	52.500	
2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	60.000	
3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	75.000	
3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	90.000	
3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	120.000	
3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	150.000	

## ANEXO 4: Unidades Condensadoras

### Unidades Condensadoras Modelos R404A / R134A

#### Unidades Condensadoras Modelos R404 A / R134A

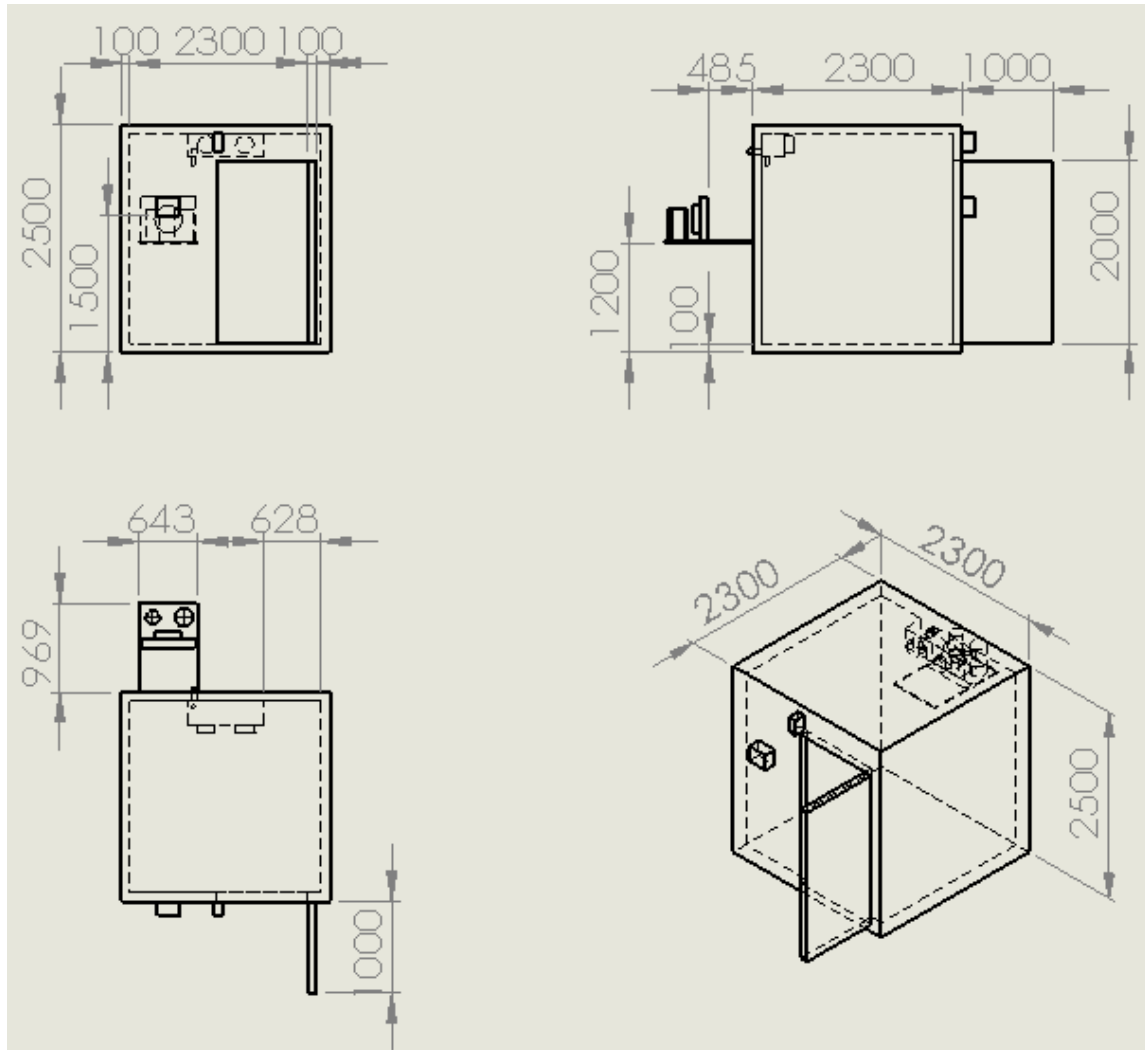
Modelo	Dimensões Externas sem Embalagem <i>Dimensiones Externas sin Embalaje</i>			Dimensões Externas com Embalagem <i>Dimensiones Externas con Embalaje</i>			Dados Mecânicos <i>Datos Mecánicos</i>			Peso Líquido  Peso Neto (kg)	Peso Bruto	Ventiladores			Nível de Ruído a 5m **  Nivel De ruido A 5 m **
	Comp. Largo	Profund. Ancho	Altura	Comp. Largo	Profund. Ancho	Altura	Conexões / Conexiones		Tanque de Líquido Recibidor de Líquido 90% Cheio / Lleno (kg)						
							líquido Flare Pol.	Sucção Succión Pol.				Diâm. Diám.	Quant. Cant.	Vazão de ar Caudal de aire	
(A) (mm)	(B) (mm)	(C) (mm)	(A) (mm)	(B) (mm)	(C) (mm)										
FLEX125X6	643	484	485	770	670	600	3/8	3/8	3,5	44	55	300	1	1555	64
FLEX150X6	643	484	485	770	670	600	3/8	3/8	3,5	45	56	300	1	1555	64
FLEX200X6	760	505	536	840	650	680	3/8	3/4	3,5	54	68	450	1	4251	67
FLEX250X6	760	505	536	840	650	680	3/8	3/4	3,5	54	68	450	1	4251	70
FLEX300X6	760	505	536	840	650	680	3/8	3/4	3,5	55	69	450	1	4251	70
FLEX305X6	851	520	538	920	680	680	1/2	3/4	5,8	70	87	450	1	4995	69
FLEX350X6	851	520	538	920	680	680	1/2	3/4	5,8	70	87	450	1	4995	69
FLEX400X6	851	520	538	920	680	680	1/2	3/4	5,8	70	87	450	1	4995	72
FLEX405X6	931	559	616	1050	680	980	1/2	3/4	5,8	77	96	500	1	5090	69
FLEX500X6	931	559	616	1050	680	980	1/2	3/4	5,8	77	96	500	1	5090	69
FLEX600X6	931	559	616	1050	680	980	1/2	3/4	5,8	78	97	500	1	5090	69
FLEX605X6	931	559	616	1050	680	980	1/2	3/4	5,8	80	99	500	1	5090	69

## ANEXO 5: Dados Físicos dos Evaporadores

### Dados Físicos - 4 e 6 aletas por polegada

### Datos Físicos - 4 y 6 aletas por pulgada

Modelo		Conexões (polegada)/Conexiones (pulgada)				Peso Líquido (Kg) Peso Neto (Kg)	Peso Bruto (Kg)	Carga de Refrigerante (Kg)
		Linha/Línea		Equalizador Externo Ecualizador Externo	Dreno Desagüe			
4 aletas pol./ pul.	6 aletas pol./ pul.	Líquido	Sucção/ Succión					
FBA4050E	FBA6060E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	12	15	0,9
FBA4080E	FBA6090E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	20	23	1,3
FBA4090E	FBA6100E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	21	24	1,8
FBA4110E	FBA6130E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	25	28	2,0
FBA4140E	FBA6170E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	26	29	2,7
FBA4160E	FBA6190E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	39	42	2,7
FBA4180E	FBA6220E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	40	43	3,6
FBA4210E	FBA6250E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	48	51	3,4
FBA4240E	FBA6280E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	50	53	4,5
FBA4320E	FBA6370E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	57	60	4,1
FBA4370E	FBA6430E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	59	62	5,5
FBA4450E	FBA6530E	5/8	1 1/8	1/4	1" BSP	78	100	7,2
FBA4540E	FBA6630E	5/8	1 1/8	1/4	1" BSP	91	113	8,4

**ANEXO 6: Desenho da Câmara Fria e Seus Componentes (dimensões em mm)**

**ANEXO 7: Tabela da Norma NBR 16401 – 1 : 2008 (Temperatura do Ambiente****Externo)**

PR	Curitiba		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
			25,52S	49,17W	908m	90,88	82/01		27,4	32,9	1,0	-1,4	2,0	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Jan	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
		30,9	20,2	23,2	26,8	22,2	18,9	24,3		99,6%	2,4	-1,2	3,8	6,7
ΔTmd	1%	29,8	20,2	22,6	26,2	21,7	18,3	23,9		99%	4,8	1,7	4,8	9,3
	2%	28,7	20,2	22,0	25,6	21,1	17,6	23,2						
PR	Foz de Iguaçu		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
			25,33S	54,58W	243m	98,44	85/01		29,4	37,2	0,9	0,1	1,9	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Jan	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
		35,1	23,6	26,1	31,6	24,6	20,1	28,7		99,6%	3,4	1,1	4,2	6,3
ΔTmd	1%	34,1	23,7	25,6	31,1	24,0	19,5	28,2		99%	5,8	3,1	4,9	8,0
	2%	33,1	23,5	25,1	30,6	23,5	18,9	27,7						
PR	Londrina		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
			23,33S	51,13W	570m	94,66	84/01		30,2	35,7	1,5	3,9	2,0	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Dez	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
		33,9	21,7	25,3	28,9	24,4	20,7	26,6		99,6%	7,2	1,2	4,4	13,4
ΔTmd	1%	32,8	21,8	24,7	28,5	23,9	20,2	26,2		99%	9,3	3,8	5,3	15,2
	2%	31,9	21,9	24,2	28,0	23,2	19,3	25,6						
RS	Porto Alegre		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
			30,00S	51,18W	3m	101,29	82/01		N/D	37,9	1,4	1,6	2,4	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Jan	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
		34,8	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D		99,6%	4,0	N/D	N/D	N/D
ΔTmd	1%	33,2	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D		99%	5,8	N/D	N/D	N/D
	2%	31,8	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D						
SC	Florianópolis		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
			27,67	48,55	5m	101,26	82/01		30,1	35,2	1,7	3,4	1,9	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Fev	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
		32,2	25,5	26,6	30,1	25,8	21,1	28,5		99,6%	7,5	3,0	4,7	11,3
ΔTmd	1%	31,0	25,2	26,0	29,3	25,0	20,2	27,7		99%	9,2	5,1	5,4	11,8
	2%	29,9	24,6	25,5	28,5	24,5	19,5	27,1						

**ANEXO 8: Seleção do Evaporador (HEATCRAFT, 2014)**

Capacidade - Modelos FBA's - 60Hz (para 50Hz, multiplicar por 0,87)

Capacidade - Modelos FBA's - 60Hz (para 50Hz, multiplicar por 0,87)

**DT**

Modelo	Capacidade em kcal/h - Dt = 6°C/Capacidad en kcal/h - Dt = 6°C											Dados dos Ventiladores Datos de los Ventiladores			
	Temperatura de Evaporação/Temperatura de Evaporación											Vazão de ar Caudal de Aire (m³/h)	Qt. Cant.	Diâm. Diám. (mm)	Flecha de ar Fujo de Aire (m)
	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C				
<b>Modelos FBA's - 4 aletas por polegada / 4 aletas por pulgada</b>															
FBA4050E	1360	1300	1240	1160	1110	1090	1060	1020	990	960	920	835	1	254	13
FBA4080E	2110	2020	1920	1800	1720	1690	1640	1590	1540	1470	1410	1.800	2	254	13
FBA4090E	2400	2280	2170	2040	1940	1900	1860	1790	1730	1660	1600	1.654	2	254	13
FBA4110E	3000	2850	2700	2540	2420	2380	2290	2230	2160	2080	2010	2.591	3	254	13
FBA4140E	3960	3760	3550	3340	3180	3110	3030	2930	2840	2740	2650	2.489	3	254	13
FBA4160E	4550	4320	4100	3850	3680	3590	3490	3380	3270	3160	3030	3.460	4	254	13
FBA4180E	5140	4890	4640	4350	4150	4060	3950	3830	3710	3570	3430	3.324	4	254	13
FBA4210E	5880	5580	5280	4970	4740	4630	4510	4370	4230	4080	3920	4.328	5	254	13
FBA4240E	6650	6320	5990	5560	5180	5060	4930	4780	4620	4460	4290	4.159	5	254	13
FBA4320E	9060	8610	8160	7400	6540	6390	6230	6040	5840	5630	5410	5.194	6	254	13
FBA4370E	10460	9940	9410	8550	7550	7370	7190	6960	6740	6500	6250	4.994	6	254	13
FBA4450E	12550	11930	11300	10270	9070	8850	8630	8370	8090	7800	7500	6.630	8	254	13
FBA4540E	14980	14230	13490	12250	10830	10570	10310	9990	9660	9300	8950	7.550	9	254	13
<b>Modelos FBA's - 6 aletas por polegada / 6 aletas por pulgada</b>															
FBA6060E	1610	1530	1460	1380	1310	1280	1250	1210	1180	-----	-----	835	1	254	13
FBA6090E	2500	2390	2270	2130	2040	1990	1940	1880	1810	-----	-----	1.800	2	254	13
FBA6100E	2810	2680	2540	2380	2280	2230	2170	2100	2030	-----	-----	1.654	2	254	13
FBA6130E	3520	3340	3160	2970	2840	2770	2700	2610	2520	-----	-----	2.591	3	254	13
FBA6170E	4640	4400	4160	3910	3730	3640	3550	3440	3330	-----	-----	2.489	3	254	13
FBA6190E	5220	4960	4700	4420	4220	4120	4010	3890	3760	-----	-----	3.460	4	254	13
FBA6220E	6150	5840	5530	5190	4960	4840	4720	4570	4430	-----	-----	3.324	4	254	13
FBA6250E	6880	6530	6180	5830	5540	5410	5280	5110	4950	-----	-----	4.328	5	254	13
FBA6280E	7770	7390	7010	6510	6060	5920	5780	5590	5410	-----	-----	4.159	5	254	13
FBA6370E	10410	9890	9370	8510	7510	7330	7160	6930	6710	-----	-----	5.194	6	254	13
FBA6430E	12130	11520	10910	9910	8760	8550	8340	8070	7810	-----	-----	4.994	6	254	13
FBA6530E	14720	13980	13240	12030	10630	10370	10110	9800	9480	-----	-----	6.630	8	254	13
FBA6630E	17700	16820	15940	14480	12800	12500	12190	11800	11420	-----	-----	7.550	9	254	13

## ANEXO 9: Seleção da Unidade Condensadora (HEATCRAFT, 2014)


### Dados de Capacidade - R404A

#### Datos de Capacidad - R404A

Modelo	Temp. Externa		Temp. de Evaporação / Temp de Evaporación							
			+5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C
FLEX125X6	32°C	Q	2.678	2.377	2.060	1.750	1.370	930	570	400
		P	1,18	1,09	0,99	0,91	0,78	0,60	0,43	0,38
	35°C	Q	2.523	2.239	1.940	1.650	1.290	870	540	380
		P	1,19	1,10	1,00	0,91	0,78	0,60	0,43	0,37
	38°C	Q	2.380	2.113	1.830	1.550	1.220	820	510	350
		P	1,21	1,11	1,01	0,91	0,79	0,60	0,42	0,36
43°C	Q	1.949	1.737	1.510	1.260	940	650	510	320	
	P	1,21	1,11	1,01	0,89	0,73	0,59	0,45	0,37	
FLEX150X6	32°C	Q	3.101	2.739	2.360	2.000	1.630	1.270	960	640
		P	1,27	1,20	1,14	1,04	0,93	0,82	0,72	0,60
	35°C	Q	2.921	2.579	2.220	1.890	1.540	1.200	900	600
		P	1,29	1,22	1,15	1,04	0,94	0,82	0,71	0,58
	38°C	Q	2.753	2.430	2.090	1.780	1.450	1.130	850	560
		P	1,31	1,23	1,16	1,05	0,94	0,83	0,70	0,58
43°C	Q	2.280	2.018	1.740	1.480	1.200	890	640	480	
	P	1,34	1,25	1,16	1,05	0,93	0,81	0,68	0,56	
FLEX200X6	32°C	Q	5.083	4.282	3.590	2.970	2.330	1.670	1.150	790
		P	1,72	1,58	1,45	1,33	1,19	1,04	0,88	0,72
	35°C	Q	4.814	4.049	3.390	2.800	2.200	1.580	1.080	740
		P	1,76	1,61	1,47	1,35	1,19	1,03	0,87	0,71
	38°C	Q	4.544	3.815	3.190	2.630	2.060	1.480	1.020	700
		P	1,81	1,64	1,49	1,35	1,19	1,02	0,85	0,70
43°C	Q	4.048	3.409	2.860	2.320	1.760	1.200	770	580	
	P	1,87	1,69	1,51	1,36	1,19	0,98	0,82	0,67	
FLEX250X6	32°C	Q	5.638	4.793	4.090	3.370	2.660	1.990	1.440	940
		P	1,99	1,84	1,69	1,51	1,35	1,17	1,00	0,80
	35°C	Q	5.324	4.524	3.860	3.180	2.510	1.880	1.350	890
		P	2,04	1,87	1,71	1,53	1,36	1,17	0,99	0,79
	38°C	Q	5.008	4.253	3.630	2.990	2.360	1.770	1.270	840
		P	2,10	1,91	1,72	1,54	1,36	1,16	0,97	0,78
43°C	Q	4.513	3.855	3.310	2.680	2.070	1.490	1.050	790	
	P	2,19	1,97	1,75	1,55	1,35	1,15	0,94	0,75	
FLEX300X6	32°C	Q	-	5.289	4.490	3.830	3.150	2.450	1.880	1.430
		P	-	2,23	2,00	1,82	1,61	1,41	1,22	1,02
	35°C	Q	-	5.002	4.240	3.620	2.970	2.310	1.780	1.350
		P	-	2,30	2,05	1,83	1,62	1,42	1,21	1,02
	38°C	Q	-	4.702	3.980	3.400	2.790	2.170	1.670	1.270
		P	-	2,33	2,06	1,85	1,63	1,41	1,21	1,02
43°C	Q	-	4.353	3.700	3.110	2.520	1.940	1.470	1.110	
	P	-	2,38	2,07	1,86	1,64	1,41	1,19	1,01	

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Eu, Rogerio Luiz Ludegero professor do Centro Universitário Assis Gurgacz e orientador do acadêmico Jaison Maiolli Kostuchenko no Trabalho de Conclusão de Curso, declaro que as correções solicitadas pela banca foram efetuadas corretamente.



---

Eng. Mecânico Rogerio Luiz Ludegero

Cascavel, 01 de julho de 2019.