

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI**

ANDERSON GODOY DOS SANTOS  
BRUNO DA SILVA SOUZA  
EDUARDO BISORDI ANTELO  
JOSIANE GIBRAM SOARES  
LEONARDO AMYUNI DOS SANTOS  
LEONARDO CASONATTO  
WILLIAM CESAR MORAES MARIN

**BANCADA UNIVERSAL DE TESTES CALORÍFICOS PARA UNIDADES  
CONDENSADORAS**

São Bernardo do Campo

2022

ANDERSON GODOY DOS SANTOS  
BRUNO DA SILVA SOUZA  
EDUARDO BISORDI ANTELO  
JOSIANE GIBRAM SOARES  
LEONARDO AMYUNI DOS SANTOS  
LEONARDO CASONATTO  
WILLIAM CESAR MORAES MARIN

**BANCADA UNIVERSAL DE TESTES CALORÍFICOS PARA UNIDADES  
CONDENSADORAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Universitário FEI, como  
parte dos requisitos necessários para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.  
Orientado pelo Prof. Me. Francisco Lameiras  
Júnior.

São Bernardo do Campo

2022

Bancada Universal de Testes Caloríficos para Unidades Condensadoras /  
Anderson Godoy dos Santos...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2022.  
87 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.  
Orientador: Prof. Me. Francisco Lameiras Júnior.

1. Bancada. 2. Testes. 3. Unidades condensadoras. I. Santos, Anderson  
Godoy dos. II. Souza, Bruno da Silva. III. Antelo, Eduardo Bisordi. IV.  
Soares, Josiane Gibram. V. Santos, Leonardo Amyuni dos. VI. Casonatto,  
Leonardo. VII. Marin, William Cesar Moraes. VIII. Júnior, Francisco  
Lameiras, orient. IX. Título.

ANDERSON GODOY DOS SANTOS  
BRUNO DA SILVA SOUZA  
EDUARDO BISORDI ANTELO  
JOSIANE GIBRAM SOARES  
LEONARDO AMYUNI DOS SANTOS  
LEONARDO CASONATTO  
WILLIAM CESAR MORAES MARIN

**BANCADA UNIVERSAL DE TESTES CALORÍFICOS PARA UNIDADES  
CONDENSADORAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Centro Universitário FEI, como parte dos  
requisitos necessários para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Comissão julgadora

Prof. Me. Francisco Lameiras Júnior

Orientador e presidente

Prof. Dr. Carlos Eduardo Keutenedjian Mady

Examinador (1)

Prof. Dr. Cyro Albuquerque Neto

Examinador (2)

São Bernardo do Campo

28/11/2022

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, que nos capacitou para chegarmos até aqui, que foi nossa força e consolo nessa jornada; sem Ele nada disso seria possível.

Também agradecemos às nossas famílias que foram nossa base e nos apoiaram durante todo curso e sofreram nossas dores conosco.

Gostaríamos de agradecer ao professor e orientador Francisco Lameiras Junior, por aceitar esse desafio conosco, nos direcionar e nos instruir durante o projeto e pelo conhecimento que nos passou durante o curso.

Ao professor Arnaldo Forgas Junior, por nos propor o desafio de projetar algo que ainda não temos no Brasil e por todo suporte que nos tem dado.

Agradecer a empresa Danfoss, por ter aberto as portas para nós, para conhecermos mais do business, pela oportunidade de aprendizado e criação de um projeto tão importante para o mercado e inovador como esse.

A palavra que nos define nesse momento é gratidão.

*“As invenções são, sobretudo, o  
resultado de um trabalho teimoso”*

(Santos Dumont)

## RESUMO

Um dos principais desafios do setor de refrigeração no Brasil é o desenvolvimento de bancadas de testes para unidades condensadoras. Fabricantes que são referência em produtos voltados a esse setor utilizam um capital considerável de seu orçamento para realizar esses testes, sendo a grande maioria enviada para fora do país. Além do desafio logístico, as bancadas caloríficas devem ser flexíveis a ponto de serem testadas unidades condensadoras submetidas a diferentes cargas térmicas sem a ocorrência de danos e com uma boa qualidade de aferição dos dados. A *Thermal Engineering Solutions T.E.S.* propõe o desenvolvimento de uma bancada universal para testes de unidades condensadoras, visando a flexibilidade em trabalhar com diferentes cargas térmicas utilizando soluções de fácil implementação e operação. Serão avaliadas diferentes arquiteturas para o projeto, a fim de se chegar na solução que atenda à maior diversidade de unidades condensadoras. Por fim, realizaremos um ensaio junto à empresa Danfoss para validar as premissas de projeto. Dessa forma, o foco do projeto está nas empresas fornecedoras desses equipamentos, e que necessitam de bancadas que atendam à maior gama possível de seus produtos a fim de garantir a qualidade e satisfação de seus clientes.

**Palavras-chave:** Bancada. Testes. Unidades condensadoras.

## ABSTRACT

One of the main challenges of the refrigeration sector in Brazil is the development of test benches for condensing units. Manufacturers that are reference in products aimed at this sector use considerable capital from their budget to perform these tests, with the vast majority sent abroad. In addition to the logistical challenge, the heating benches must be flexible to be able to satisfactorily test condensing units subjected to different thermal loads without the occurrence of damage and with a good quality of data measurement. Thermal Engineering Solutions T.E.S. proposes the development of a universal test bench for condensing units, aiming at flexibility in working with different thermal loads with solutions that are easy to implement and operate. Different architectures will be evaluated for the project, aiming to reach a solution that meets the widest variety of condensing units. At the end, an on-site test will be performed along with Danfoss to validate the statements of this project. Therefore, the project focuses on the manufacturers of such equipment, in need of benches which meet the largest possible range of their products and guarantee the quality and satisfaction from their customers.

**Keywords:** Bench. Tests. Condensing units.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Importações em 2020 e 2021 (FOB) em Milhões de US\$.....	12
Figura 2 – Vendas do setor HVAC-R (R\$ Bilhões) .....	13
Figura 3 – Otimismo para 2022 por Temas Avaliados (%), Otimista/Muito Otimista .....	14
Figura 4 – Ciclo de refrigeração por compressão de vapor .....	16
Figura 5 – Diagrama temperatura por entropia .....	16
Figura 6 – Temperatura por entropia para um ciclo real .....	17
Figura 7 – Válvula de expansão termostática (VET) .....	19
Figura 8 – Vista em corte de uma VET .....	20
Figura 9 – Exemplo de válvula de expansão eletrônica .....	21
Figura 10 – Trocador de calor de escoamento cruzado .....	22
Figura 11 – Esquema de bancada com duplo-evaporador.....	22
Figura 12 – Seleção da bancada HJZ064.....	31
Figura 13 – Desempenho da bancada HJZ064 .....	32
Figura 14 – Diagrama pressão por entalpia obtido pelo Coolselector®2.....	33
Figura 15 – Seleção da válvula AKV 15-1.....	34
Figura 16 – Curva de desempenho da válvula AKV 15-1.....	34
Figura 17 – Controlador modelo MCX08M da Danfoss.....	35
Figura 18 – Resistência com aletas retangulares .....	36
Figura 19 – Instalação de resistências do laboratório da FEI .....	37
Figura 20 – Montagem dos aquecedores no evaporador .....	37
Figura 21 – Sensores de temperatura AKS21.....	38
Figura 22– Sensor de pressão .....	39
Figura 23 – Sensor de vazão ultrassônico modelo SonoSensor™30 .....	40
Figura 24 – Unidade condensadora HJZ064D39Q.....	42
Figura 25 – Temperatura de Sucção x Tempo.....	44
Figura 26 – Etiqueta de especificação do ventilador do compressor .....	47
Figura 27 – Diagrama P <sub>xh</sub> da bancada real com o fluido R404A.....	49
Figura 28 – Parâmetros da unidade condensadora HJZ064D39Q.....	56
Figura 29 – Parâmetros de seleção da válvula de expansão eletrônica - parte 1 .....	56
Figura 30 – Parâmetros de seleção da válvula de expansão eletrônica - parte 2.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desvios permitidos entre as condições básicas e reais de teste .....	28
Tabela 2 – Instrumentos de medição e incertezas (continua) .....	28
Tabela 3 – Unidade condensadora do estudo .....	31
Tabela 4 – Propriedades termodinâmicas extraídas com o Coolselector®2 .....	32
Tabela 5 – Main Spare Parts .....	41
Tabela 6 – Trecho dos dados coletados em ensaio .....	43
Tabela 7 – Média, desvio padrão e variância dos resultados .....	45
Tabela 8 – Pontos de sucção e descarga do compressor .....	45
Tabela 9 – Pontos de saída do condensador e da VEE (continua) .....	45
Tabela 10 – Propriedades físicas do fluido R404A de acordo com a Chemours .....	48
Tabela 11 – Comparação de resultados entre ensaio e seleção do Coolselector®2 .....	50
Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continua) .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Letras Latinas

$COP$	Coeficiente de performance
$COP_{rm}$	Coeficiente de performance de unidades com motor integrado
$h_1$	Entalpia do fluido na saída do evaporador [kJ/kg]
$h_2$	Entalpia do fluido na saída do compressor [kJ/kg]
$h_3$	Entalpia do fluido na saída do condensador [kJ/kg]
$h_4$	Entalpia do fluido na entrada do evaporador [kJ/kg]
$\dot{m}$	Vazão mássica de refrigerante [kg/s]
$\dot{v}$	Vazão volumétrica [m <sup>3</sup> /s]
$\dot{m}_x$	Vazão mássica da mistura refrigerante líquido + óleo [kg/s]
$\rho_f$	Massa específica do fluido refrigerante no estado líquido [kg/m <sup>3</sup> ]
$v$	Volume específico do fluido refrigerante [m <sup>3</sup> /kg]
$P_{cm}$	Potência absorvida pela unidade condensadora [W]
$\dot{Q}_H$	Calor rejeitado no condensador [W]
$\dot{Q}_L$	Calor absorvido pelo evaporador [W]
$S$	Entropia [J/K]
$T$	Temperatura [K]
$\dot{W}_{ent}$	Trabalho do compressor [W]

### Letras Gregas

$\varphi_0$	Capacidade de refrigeração [W]
$x_{oil}$	Circulação de óleo no sistema de refrigeração

### Abreviações

R12	Diclorodifluorometano
R134a	Tetrafluoretano
R404A	Freon™ 404A

## **Siglas**

ABRAVA	-	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
FEBRAVA	-	Feira Internacional de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento de Ar e da Água
HVAC-R	-	Heating, Ventilation, Air Conditioning & Refrigeration
SECEX	-	Secretaria de Comercio Exterior
VEE	-	Válvula de expansão eletrônica
VET	-	Válvula de expansão termostática

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.2 CENÁRIO BRASILEIRO	12
1.3 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO	14
1.4 PROPOSTA	14
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>15</b>
2.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO	15
<b>2.1.1 Ciclo de refrigeração ideal</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2 Ciclo de refrigeração real</b>	<b>17</b>
2.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	18
2.3 DISPOSITIVOS	19
<b>2.3.1 Válvula de expansão</b>	<b>19</b>
<i>2.3.1.1 Válvula de expansão termostática (VET)</i>	<i>19</i>
<i>2.3.1.2 Válvula de expansão eletrônica (VEE)</i>	<i>20</i>
<b>2.3.2 Evaporador</b>	<b>21</b>
<b>2.3.3 Compressor</b>	<b>23</b>
<b>2.3.4 Condensador</b>	<b>23</b>
<b>2.3.5 Fluido refrigerante</b>	<b>24</b>
2.4 NORMAS TÉCNICAS	24
<b>2.4.1 Termos e definições</b>	<b>25</b>
<i>2.4.1.1 Capacidade de refrigeração - <math>\varphi_0</math></i>	<i>25</i>
<i>2.4.1.2 Potência absorvida pela unidade condensadora com motor integrado - <math>P_{cm}</math></i>	<i>25</i>
<i>2.4.1.3 Vazão mássica de refrigerante - <math>m</math></i>	<i>25</i>
<i>2.4.1.4 Coeficiente de performance - <math>COP_{Prm}</math></i>	<i>25</i>
<i>2.4.1.5 Circulação de óleo no sistema de refrigeração - <math>x_{oil}</math></i>	<i>25</i>
<i>2.4.1.6 Unidade condensadora</i>	<i>25</i>
<b>2.4.2 Requisitos e seleção dos métodos de teste</b>	<b>26</b>
<i>2.4.2.1 Método A: calorímetro de fluido secundário na linha de baixa pressão</i>	<i>26</i>

<i>2.4.2.2 Método B: calorímetro de refrigerante do sistema seco na linha de baixa pressão</i>	26
<i>2.4.2.3 Método D: medidor de vazão de vapor refrigerante na linha de baixa pressão</i>	26
<i>2.4.2.4 Método E: medidor de vazão de refrigerante na linha de líquido</i>	27
<b>2.4.3 Condições Básicas de Teste</b>	27
<b>2.4.4 Instrumentos de Medição e suas Incertezas</b>	28
<b>2.4.5 Métodos de Teste</b>	29
<i>2.4.5.1 Método A: calorímetro no evaporador</i>	29
<i>2.4.5.2 Método D: medidor de vazão de vapor refrigerante após o evaporador</i>	30
<b>3 SELEÇÃO DOS COMPONENTES DA BANCADA</b>	31
3.1 SELEÇÃO DA UNIDADE CONDENSADORA	31
3.2 SELEÇÃO DA VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA	33
3.3 SELEÇÃO DO CONTROLADOR PARA A VÁLVULA ELETRÔNICA	35
<b>4 MONTAGEM DA BANCADA</b>	36
4.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO DO CALORÍMETRO	36
4.2 MONTAGEM DOS SENSORES DE PRESSÃO E TEMPERATURA	38
4.3 SELEÇÃO E MONTAGEM DO MEDIDOR DE VAZÃO VOLUMÉTRICO	39
4.4 LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA PROTOTIPAGEM	40
<b>5 ENSAIO DE UMA BANCADA REAL</b>	42
5.1 DESENVOLVIMENTO DO ENSAIO	42
5.2 CALOR E POTÊNCIA TROCADOS	46
5.3 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PERFORMANCE (COP)	47
5.4 DIAGRAMA PRESSÃO POR ENTALPIA DE UMA BANCADA REAL	48
5.5 COMPARAÇÃO DOS CÁLCULOS COM A SELEÇÃO DO COOLSELECTOR®2	50
<b>6 CONCLUSÃO</b>	51
<b>REFERÊNCIAS</b>	53
<b>APÊNDICE A - Dados da seleção de componentes pelo Coolselector®2</b>	56
<b>APÊNDICE B - Dados coletados em ensaio na Danfoss</b>	58
<b>APÊNDICE C – Desenhos técnicos</b>	75
<b>ANEXO A – Cotações dos componentes da bancada</b>	81

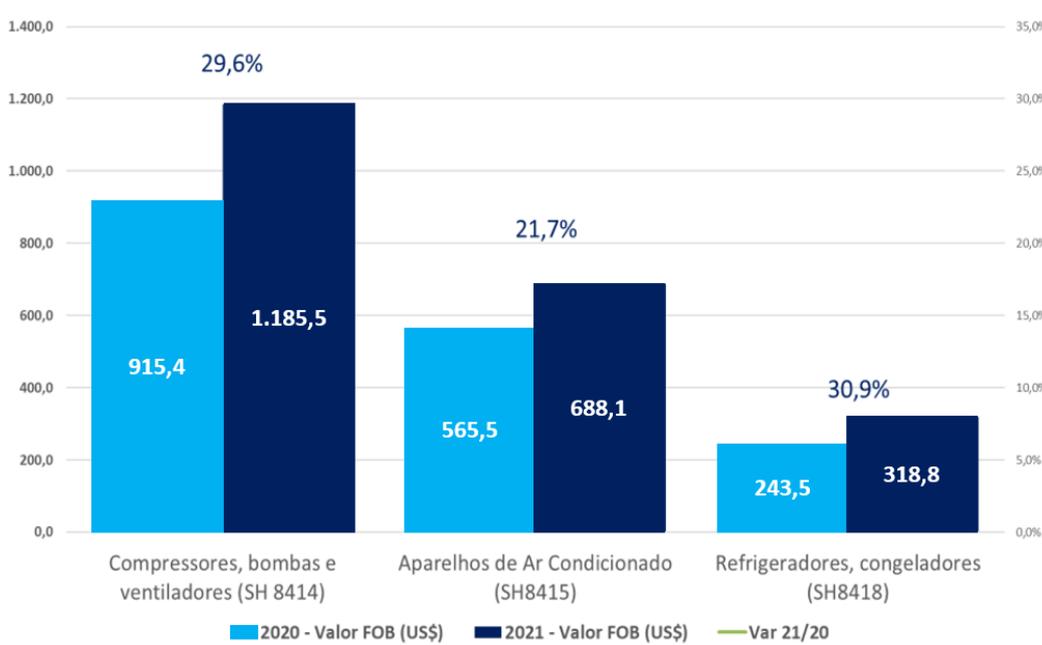
# 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas HVAC-R (Heating, Ventilation, Air Conditioning & Refrigeration) desempenham um papel de suma importância na sociedade moderna, abrangendo uma ampla gama de aplicações, desde usos residenciais até industriais. Tecnologias de instrumentação e controle são importantes para verificação e validação de parâmetros essenciais destes sistemas.

## 1.2 CENÁRIO BRASILEIRO

No Brasil, na última década houve um crescimento variável de 16 a 22% por ano do mercado de refrigeração industrial (FEBRAVA 2021). Em 2021, o setor importou US\$ 1,185 bilhão em compressores, bombas e ventiladores, 29,6% a mais em comparação aos US\$ 914,4 milhões do ano de 2020; em 2021, houve a importação de US\$ 688,1 milhões em aparelhos de ar-condicionado, 21,7% a mais em relação aos US\$ 565,5 milhões do ano de 2020; em 2021, US\$ 318,8 milhões em refrigeradores e congeladores, 30,9% a mais comparado aos US\$ 243,5 milhões do ano de 2020, segundo dados da SECEX (Secretaria de Comércio Exterior).

Figura 1 - Importações em 2020 e 2021 (FOB) em Milhões de US\$

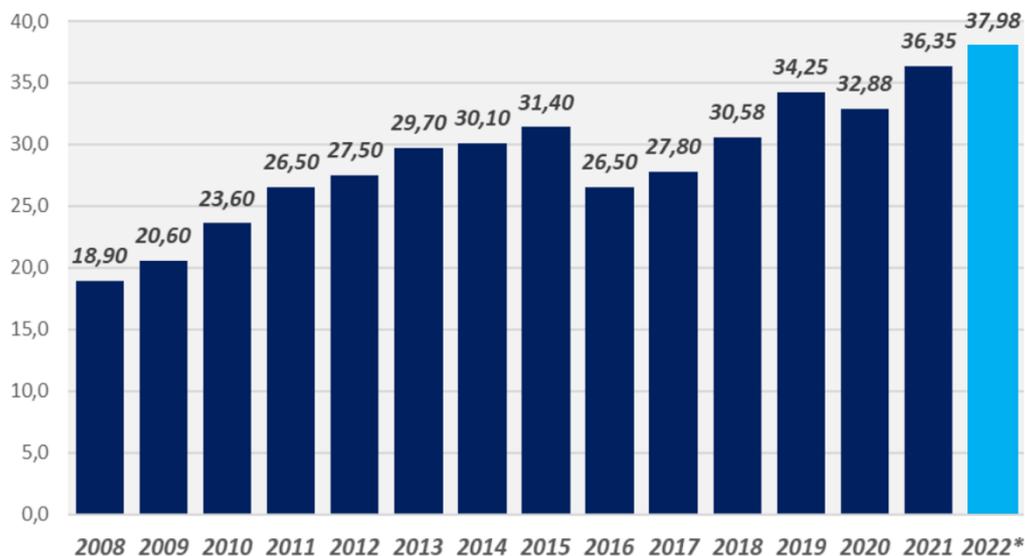


Fonte: SECEX

O setor HVAC-R fechou o ano de 2021 com R\$ 36,35 bilhões de faturamento em vendas; em comparação, o ano de 2020 terminou com o faturamento de R\$ 32,88 bilhões, ou

seja, um acréscimo de 10,55%, números que demonstram uma retomada do setor. A projeção para 2022 é de crescimento, com um faturamento de R\$ 37,98 bilhões, mesmo diante de contínuos aumentos das tarifas de energia elétrica, GLP e combustíveis (ABRAVA 2022).

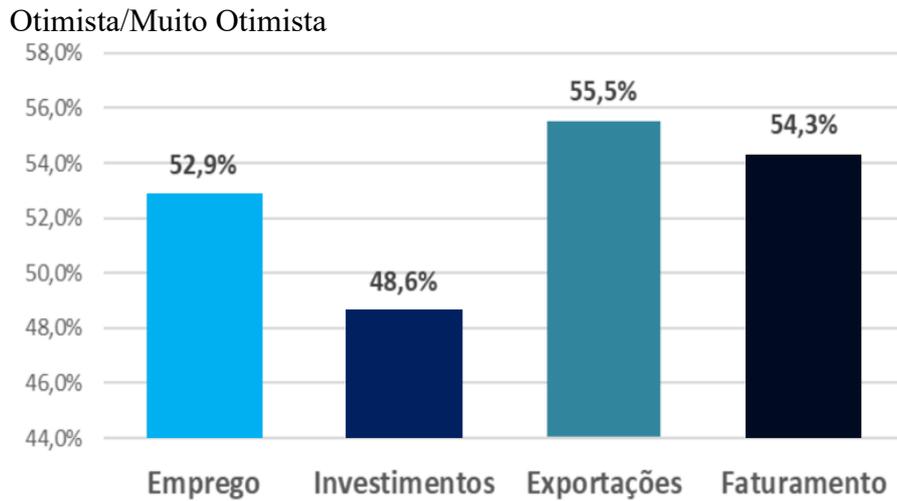
Figura 2 – Vendas do setor HVAC-R (R\$ Bilhões)



Fonte: ABRAVA 2022

Para o ano de 2022, segundo a pesquisa, 55,5% dos empresários do setor entrevistados estão otimistas ou muito otimistas com as exportações, enquanto 54,3% demonstram-se otimistas/muito otimistas em relação ao faturamento. Enquanto à retomada do emprego e dos investimentos, 52,9% e 48,6% dos participantes estão otimistas/muito otimistas, respectivamente (ABRAVA 2022).

Figura 3 – Otimismo para 2022 por Temas Avaliados (%),



Fonte: ABRAVA 2022

### 1.3 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO

Nos últimos anos, com o crescimento na demanda de sistemas HVAC-R, atrelado ao aumento da concorrência e consumo energético, as empresas tiveram de buscar aperfeiçoamento para seus sistemas, a fim de se manterem competitivas. Com o objetivo de otimizar estes processos mecânicos e termodinâmicos, as tecnologias de instrumentação e controle surgem como possíveis soluções, pois fornecem confiabilidade ao processo, melhoram a supervisão de parâmetros relevantes que permitem ajustes cada vez mais finos, melhorando sempre o coeficiente de performance destes sistemas.

No Brasil, como um todo, a vasta maioria das empresas não dispõe de um dispositivo eficiente e confiável para testar, de forma experimental, os parâmetros essenciais de suas máquinas e por este motivo utilizam uma verba considerável de seu orçamento para realizar esses testes em países do exterior.

### 1.4 PROPOSTA

Dimensionar uma bancada universal para testes de unidades condensadoras, cujo objetivo é testar equipamentos e dispositivos coadjuvantes para obter dados de diversos parâmetros essenciais do sistema, como sua capacidade de refrigeração, utilizando-se dispositivos de controle e de vazão e sensores para tomadas de dados, a fim de se chegar na solução que atenda a maior diversidade de unidades condensadoras.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Neste capítulo será explicado o ciclo de refrigeração ideal e real, o funcionamento de uma bancada de testes de unidades condensadoras, as principais normas que regem ensaios desses dispositivos, além de uma abordagem individual dos equipamentos que constituem toda a bancada.

### **2.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO**

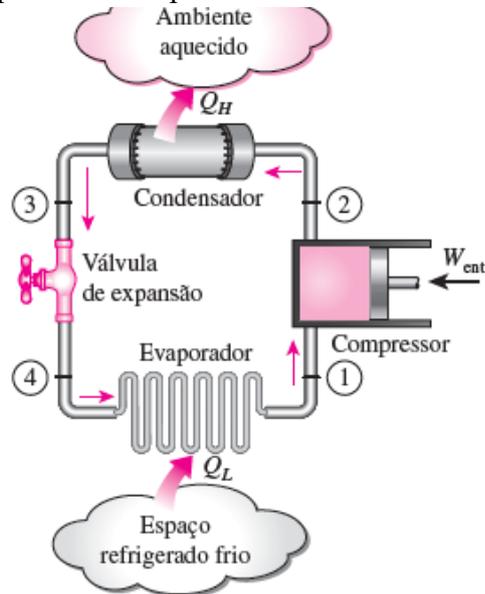
O objetivo de um ciclo de refrigeração é retirar calor de um ambiente e rejeitá-lo para outro, normalmente um ambiente externo. Contudo, de acordo com o Enunciado de Clausius, o calor - variação de energia térmica no tempo - não pode fluir espontaneamente de um ambiente com menor temperatura para outro de maior temperatura. Naturalmente, seria impossível retirar calor do ambiente a ser refrigerado e rejeitá-lo ao ambiente externo, de maior temperatura.

#### **2.1.1 Ciclo de refrigeração ideal**

Para iniciar o estudo sobre ciclos de refrigeração, será abordado o caso ideal, isto é, aquele em que as irreversibilidades e demais mecanismos de perdas de calor são desprezados.

Como discutido anteriormente, o processo de refrigeração não pode ocorrer naturalmente. A fim de contornar este obstáculo físico, o ciclo de refrigeração necessita do fornecimento de trabalho do compressor, como mostra o esquema básico de um ciclo desta natureza:

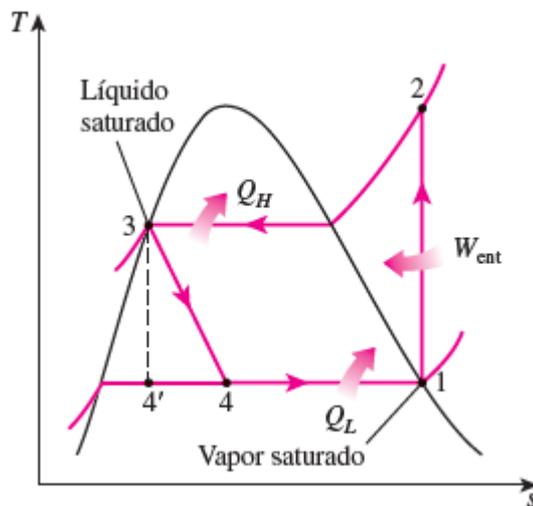
Figura 4 – Ciclo de refrigeração por compressão de vapor



Fonte: Çengel, 2013

O diagrama temperatura por entropia também pode representar este ciclo, como mostrado a seguir:

Figura 5 – Diagrama temperatura por entropia



Fonte: Çengel, 2013

Neste ciclo, o fluido refrigerante, na forma de mistura, entra no evaporador para receber o calor do ambiente a ser refrigerado, e sai do evaporador no ponto 1 como vapor saturado. A partir deste ponto, o vapor saturado adentra o compressor, que consome energia para elevar a

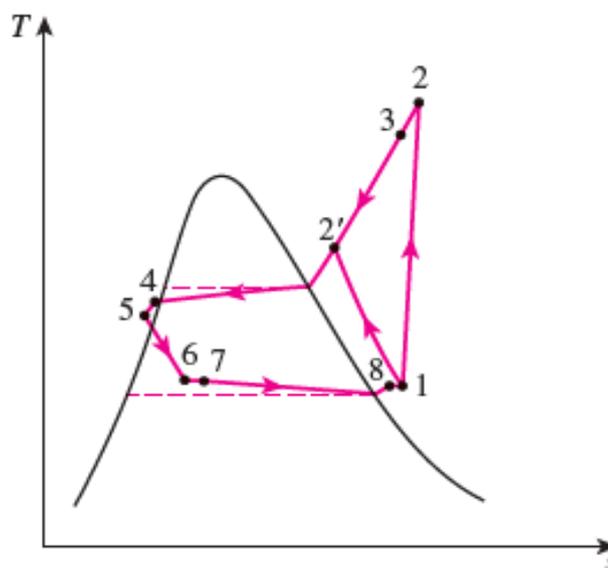
pressão do fluido até o valor da pressão do condensador, levando-o ao estado de vapor superaquecido no ponto 2. No condensador, a troca térmica ocorre entre o fluido refrigerante e o ambiente externo: o vapor superaquecido condensa até o estado de líquido saturado, rejeitando calor pela diferença das entalpias de entrada e saída do condensador, no ponto 3. Posteriormente, o líquido saturado passa por uma válvula ou dispositivo de expansão, onde retorna à fase de mistura líquido e vapor no ponto 4.

### 2.2.2 Ciclo de refrigeração real

O ciclo de refrigeração apresentado acima caracteriza-se como um ciclo ideal, ou seja, todos os componentes que são ideais – não oferecem atrito à passagem do fluido e não trocam calor com o ambiente externo.

O ciclo real, por sua vez, apresenta irreversibilidades, que alteram o comportamento termodinâmico de seus componentes. Primeiramente, tanto o evaporador quanto o condensador oferecem atrito à passagem do fluido, resultando em uma queda de pressão entre entrada e saída. O processo de compressão também se caracteriza como irreversível: a entropia tende a aumentar ao longo da compressão, e a temperatura de saída costuma ser mais elevada que o previsto em um ciclo teórico (Çengel, 2013).

Figura 6 – Temperatura por entropia para um ciclo real



Fonte: Çengel, 2013

Além das irreversibilidades apontadas acima, o ciclo real permite que sejam feitas outras observações. Primeiramente, é comum aplicar-se ao fluido refrigerante um certo grau de superaquecimento ao adentrar o compressor, no ponto 1, a fim de evitar que por uma instabilidade qualquer do sistema seja enviado líquido ao compressor, o que poderia danificá-lo ao longo da operação. Por outro lado, é comum aplicar-se ao fluido passando no condensador um certo grau de subresfriamento, para evitar que vapores sejam enviados à válvula de expansão (Çengel, 2013).

## 2.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Utilizando como referência o modelo de ciclo refrigerante da Figura 6, pode-se deduzir as seguintes expressões com base na primeira lei da termodinâmica:

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (1)$$

$$\dot{W}_{ent} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_H = \dot{m} \cdot (h_3 - h_2) \quad (3)$$

Embora essas equações permitam o cálculo das quantidades de calor e trabalho envolvidas, elas não podem servir como parâmetro único de estimativa do desempenho de um ciclo. A depender da carga térmica que se quer retirar de um ambiente, as quantidades de calor rejeitado e de trabalho do compressor serão maiores ou menores. Dessa forma, ao se compararem ciclos distintos, com cargas térmicas distintas, torna-se necessário definir um outro parâmetro capaz de tornar essa comparação de desempenho possível e correta.

O coeficiente de performance, definido abaixo, é uma medida de desempenho do ciclo na medida em que compara a carga térmica de resfriamento com a quantidade necessária de trabalho do compressor (Çengel, 2013).

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{ent}} \quad (4)$$

## 2.3 DISPOSITIVOS

A bancada de testes proposta terá como finalidade testar diferentes unidades condensadoras, formadas pelo conjunto compressor e condensador. A fim de se alcançar uma qualidade satisfatória em testes de diferentes unidades de condensação, submetidas a diferentes cargas térmicas e potência do compressor, será necessário dimensionar os dispositivos da bancada em termos de pressões, temperaturas e vazão de fluido refrigerante para que atendam à maior gama possível de unidades condensadoras. A seguir serão discutidos os principais componentes necessários para a bancada e sua influência no desempenho desta.

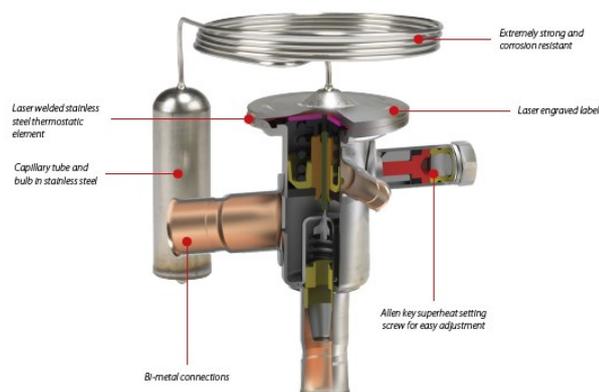
### 2.3.1 Válvula de expansão

A válvula de expansão é responsável pela redução da pressão do fluido refrigerante ao sair do condensador até a pressão de trabalho do evaporador. Junto com a queda de pressão, a temperatura do fluido refrigerante cai até um valor abaixo da temperatura do ambiente a ser refrigerado (Çengel, 2013). Existem dois tipos principais de válvulas refrigerantes usadas em bancadas de testes: as válvulas de expansão termostática e as válvulas de expansão eletrônica.

#### 2.3.1.1 Válvula de expansão termostática (VET)

Amplamente utilizada nos sistemas de refrigeração industrial, essa categoria de válvula caracteriza-se por seu baixo custo e versatilidade.

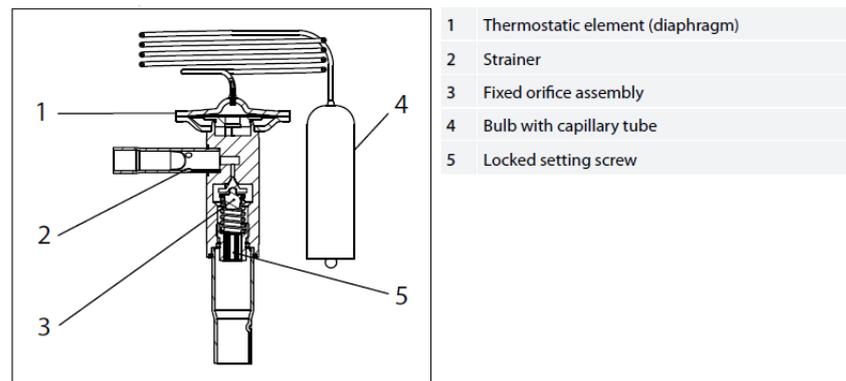
Figura 7 – Válvula de expansão termostática (VET)



Fonte: Danfoss, 2022

Seu funcionamento consiste em um bulbo, que armazena um fluido refrigerante, conectado na saída do evaporador para tomada de temperatura. Com a diferença de temperatura entre o fluido da linha de refrigeração e o fluido da válvula, este último poderá alterar a pressão exercida contra o diafragma da válvula. Essa diferença de pressão, somada à regulagem da pressão exercida pela mola, será capaz de regular a área de passagem e a vazão de refrigerante da bancada de testes. A Figura 8 a seguir mostra uma vista em corte desse tipo de válvula.

Figura 8 – Vista em corte de uma VET



Fonte: Danfoss, 2022

Embora muito difundidas no mercado, essas válvulas estão sendo substituídas pelas mais modernas válvulas de expansão eletrônica, que trabalham com sinais de controladores e permitem uma regulagem de vazão mais precisa, rápida e com menor número de componentes mecânicos, tais como capilares, bulbos e molas (ABRAVA, 2022).

### ***2.3.1.2 Válvula de expansão eletrônica (VEE)***

Essa categoria de válvula está ganhando espaço rapidamente em sistemas de refrigeração operando entre as mais variadas cargas térmicas por conta de sua simplicidade e versatilidade operacional. As válvulas de expansão eletrônica podem ser usadas como controladoras de vazão a partir do monitoramento em tempo real de pressão e temperatura na entrada do evaporador, permitindo um controle preciso da vazão e do estado físico do fluido refrigerante (LAZZARIN; NORO, 2008). Uma vazão acima da requerida pelo evaporador poderia fazer com que o fluido refrigerante não atingisse o estado de vapor saturado (ou vapor superaquecido, como abordado na Seção 2.2.2) e fosse enviado líquido ao compressor (LAGO, 2016).

Figura 9 – Exemplo de válvula de expansão eletrônica



Fonte: LAGO, 2016

A lógica de controle mais comumente utilizada para essas válvulas consiste na aplicação de um controlador PID capaz de ler o erro entre a vazão desejada (saída) e as tomadas de pressão e temperatura (entradas), e aplicar na válvula um esforço de controle que tende a zerar este erro.

Segundo a ABRAVA (2022), a automação dos sistemas de refrigeração permite que estes trabalhem o mais próximo possível do seu ponto de operação ideal, além de possibilitar um acompanhamento preciso sobre custos de manutenção, aumento de confiabilidade, histórico de funcionamento e projeções. Ainda de acordo com a ABRAVA (2022) e com a pesquisa conduzida por Lazzarin e Noro (2008), as válvulas de expansão eletrônica, quando combinadas com outros sistemas de automação tais como compressores de velocidade variável, geram importantes ganhos energéticos capazes de alcançar a marca dos 40% do consumo da instalação.

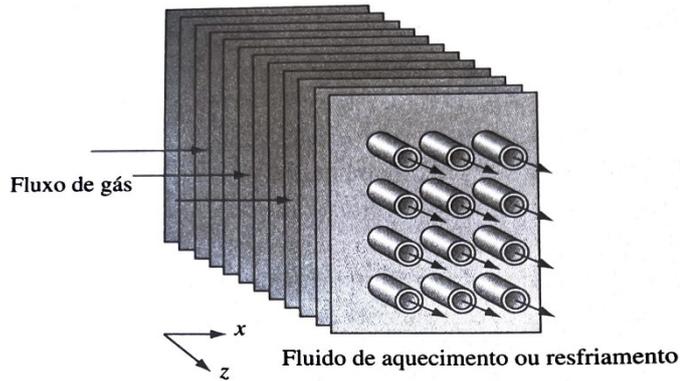
### 2.3.2 Evaporador

Um evaporador é um trocador de calor responsável pela troca térmica entre o fluido refrigerante e o ambiente resfriado (BONATTO, 2017), tendo grande participação em diversos ramos da indústria.

Na indústria de ventiladores e ar-condicionado, é comum o emprego de trocadores de calor de fluxo cruzado – como o da Figura 10 –, em que o fluido refrigerante passa por dentro de feixes de tubos enquanto um gás, como o ar atmosférico, escoar por fluxo cruzado em relação aos feixes. Dessa forma, a troca térmica ocorre pela área de superfície disponível para transferência de calor (KREITH; MANGLIK; BOHN, 2014). Ainda segundo os autores, esta

arquitetura é comum para aplicações em refrigeração, ar-condicionado e em núcleos de aquecimento veicular, em que o espaço para instalação de tais equipamentos é um fator limitador do projeto.

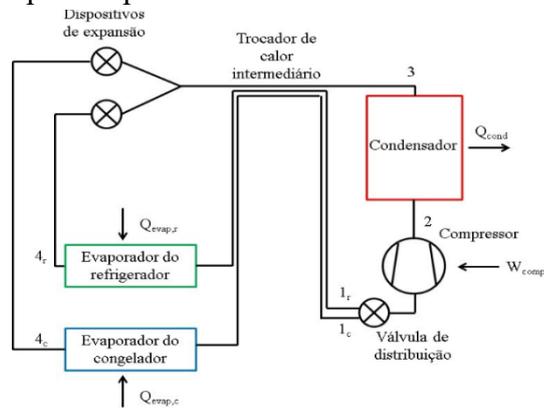
Figura 10 – Trocador de calor de escoamento cruzado



Fonte: KREITH; MANGLIK; BOHN, 2014

Uma possível solução para a questão do espaço é apresentada por Senger (2014), em seu sistema com arquitetura de duplo-evaporador para a sua bancada experimental. Em sistemas operando com congeladores e refrigeradores simultaneamente, o uso de dois evaporadores e dois dispositivos de expansão permite não só que cada evaporador trabalhe com temperaturas e pressões diferentes entre si, como também é uma solução a outros tipos de bancada na medida em que um evaporador de grandes dimensões pode ser substituído por um número maior de evaporadores de menor dimensão.

Figura 11 – Esquema de bancada com duplo-evaporador



Fonte: Senger, 2014

### **2.3.3 Compressor**

Senger (2014) também apresenta o compressor como o dispositivo responsável por elevar a pressão do fluido refrigerante na linha de saída do evaporador até a pressão de trabalho do condensador. Para tanto, deve-se fornecer energia para que o compressor possa desempenhar a sua função.

Liang (2017) fez um estudo sobre as vantagens de se utilizar compressores lineares em sistemas de refrigeração por compressão de vapor e em demais aplicações, como na refrigeração de dispositivos eletrônicos. O objetivo do trabalho recai na possibilidade de substituição dos tradicionais compressores alimentados por motores de indução de ciclo rotativo. O autor mostrou que compressores lineares tendem a apresentar maior eficiência, ou seja, melhor aproveitamento entre a energia recebida e o percentual desta que é transformado em trabalho. O grande desafio que perdura acerca de compressores lineares, principalmente no ramo da refrigeração por compressão de vapor, está no seu custo, com foco principal nos materiais e processos de manufatura envolvidos. Além disso, a falta de estudos mais profundos sobre questões específicas relacionadas à implementação de compressores lineares, como a possibilidade de não utilização de óleo lubrificante e seu impacto no funcionamento dessas máquinas, ainda justifica o grande número de compressores alternativos em atividade.

### **2.3.4 Condensador**

Assim como o evaporador, a finalidade do condensador também é atuar como um trocador de calor entre o fluido refrigerante e um meio externo. A condensação é descrita por Castro (2008) como um processo complexo: o condensador recebe o fluido refrigerante no estado de vapor superaquecido, que é resfriado para a fase de vapor saturado e condensado até que somente líquido seja enviado ao dispositivo de estrangulamento, como uma válvula de expansão ou tubo capilar.

O processo de troca de calor latente, responsável pela mudança de fase do refrigerante, é abordado por Kreith, Manglik e Bohn (2014): a condensação ocorre quando o vapor saturado entra em contato com uma superfície em menor temperatura, resultando na formação de líquido que escoar para baixo devido aos efeitos da gravidade. Em condições normais de operação, este escoamento se desenvolve de forma laminar para velocidades baixas e moderadas, comuns em escoamentos de refrigeração, e para películas de líquido não muito espessas.

Em compressores a ar, comumente utilizados em unidades condensadoras, são usados ventiladores que promovem um fluxo de ar externo capaz de remover calor do fluido refrigerante por convecção forçada. Geralmente esse tipo de condensador apresenta como inconveniente elevados níveis de ruído dos ventiladores, o que pode ser parcialmente contornado com o uso de dispositivos de controle de velocidade, tais como inversores de frequência ou motores de duas velocidades (CASTRO, 2008).

### **2.3.5 Fluido refrigerante**

Todo ciclo de refrigeração por compressão de vapor necessita de um fluido refrigerante circulando no sistema. As bancadas de testes de unidades condensadoras normalmente são projetadas para trabalharem com mais de um tipo de fluido refrigerante, garantindo a flexibilidade de operação.

Um dos fluidos refrigerantes mais estudados é o R134A, cujas propriedades físicas se assemelham às do R12, um fluido que já fora muito empregado na indústria de ar-condicionado, mas que deve vivenciar uma redução drástica de seu mercado consumidor devido à grande contribuição para o agravamento do efeito estufa. O R134A, por sua vez, apresenta redução de 90% no potencial de agravamento do efeito estufa se comparado ao R12, além de não ser tóxico, ter boa estabilidade química – garantindo que a longo prazo este não irá reagir com os materiais que constituem os equipamentos da bancada de testes –, e ter pouco efeito corrosivo (FERRAZ; GOMES, 2008). Um outro fluido que se assemelha ao R134A é o Freon 404A, ou R404A, também largamente empregado na indústria de refrigeração e ar-condicionado.

## **2.4 NORMAS TÉCNICAS**

A fim de se normalizar os procedimentos para realizar os testes caloríficos nas unidades condensadoras, foi utilizada como referência a norma técnica DS/EN 13771-2:2007, que é uma norma europeia que tem o estatuto de norma dinamarquesa, cuja parte 2 tem como objetivo a padronização dos testes de desempenho e métodos de testes em unidades condensadora. Esses métodos fornecem resultados suficientemente precisos para a determinação da capacidade de refrigeração, potência total absorvida, vazão mássica de refrigerante e coeficiente de performance (COP).

### **2.4.1 Termos e definições**

Para os propósitos deste trabalho, os seguintes termos e definições se aplicam, juntamente com os símbolos descritos pela norma.

#### ***2.4.1.1 Capacidade de refrigeração - $\varphi_0$***

Produto da vazão mássica do fluido refrigerante e a diferença entre as entalpias específicas do refrigerante na entrada e na saída da unidade condensadora.

#### ***2.4.1.2 Potência absorvida pela unidade condensadora com motor integrado - $P_{cm}$***

Entrada de energia elétrica nos terminais do motor do compressor mais a energia dos demais componentes que compõem a unidade condensadora (motor do ventilador do condensador, bomba de óleo etc.).

#### ***2.4.1.3 Vazão mássica de refrigerante - $\dot{m}$***

Fluxo de massa de refrigerante na entrada da unidade condensadora.

#### ***2.4.1.4 Coeficiente de performance - $COP_{rm}$***

Razão entre a capacidade de refrigeração e a potência absorvida pela unidade.

#### ***2.4.1.5 Circulação de óleo no sistema de refrigeração - $x_{oil}$***

Razão entre a massa de óleo medido e a massa de fluido circulante total (refrigerante mais óleo).

#### ***2.4.1.6 Unidade condensadora***

Unidade montada em fábrica composta principalmente por motor, compressor e condensador.

## **2.4.2 Requisitos e seleção dos métodos de teste**

Dois métodos de teste diferentes devem ser usados simultaneamente durante os ensaios prescritos pela norma. Os resultados dos dois métodos devem ter uma diferença mínima entre si de 4 %. O resultado do teste é o valor médio dos dois métodos (DS/EN 13771-2:2007).

Os métodos de teste são divididos em dois grupos: métodos calorimétricos (métodos A e B) e métodos com medidor de vazão (métodos D e E). A seguir segue uma breve descrição sobre eles.

### ***2.4.2.1 Método A: calorímetro de fluido secundário na linha de baixa pressão***

O método A consiste em se controlar o aporte de calor no calorímetro antes da entrada do refrigerante no compressor. O evaporador fica suspenso na parte superior da câmara enquanto um fluido secundário troca calor com um aquecedor, mantendo assim a temperatura dentro da câmara constante.

A entrada de calor no calorímetro pode ser feita por meio de um aquecedor de fluido térmico ou de resistência elétrica.

O calorímetro deve ser isolado de tal forma que a perda de calor não exceda 5% da capacidade de refrigeração da unidade de condensação.

### ***2.4.2.2 Método B: calorímetro de refrigerante do sistema seco na linha de baixa pressão***

No método B, o calor trocado com o fluido refrigerante é realizado por um sistema em cascata, onde a transferência de calor entre o condensador do estágio inferior e o evaporador do estágio superior são realizados por meio de um calorímetro isolado termicamente.

O calor trocado entre os dois estágios é realizado controlando a vazão mássica do fluido secundário.

### ***2.4.2.3 Método D: medidor de vazão de vapor refrigerante na linha de baixa pressão***

No método D, a medição da vazão mássica de refrigerante é realizada diretamente por meio de um medidor de vazão de vapor logo após o evaporador.

A vazão mássica também poderá ser calculada utilizando-se um medidor de vazão volumétrica. Porém, deve ser feita a seguinte correção para obtenção da vazão em massa.

$$\dot{m} = \dot{v} * \rho_f \quad (5)$$

#### **2.4.2.4 Método E: medidor de vazão de refrigerante na linha de líquido**

Similar ao método D, o método E também faz a medição direta da vazão mássica de refrigerante. Porém, o medidor fica localizado na linha de líquido após o condensador.

A vazão lida no equipamento deve ser corrigida pois junto com o refrigerante também há óleo lubrificante circulando. Esta correção é realizada descontando a porcentagem de óleo em relação a quantidade total de fluido circulante.

$$\dot{m} = (1 - x_{oil}) * \dot{m}_x \quad (6)$$

Esse método também prevê um subresfriador antes do medidor de vazão, para garantir que esteja passando somente líquido no medidor a uma temperatura de no mínimo 3 K abaixo da temperatura de líquido saturado.

#### **2.4.3 Condições Básicas de Teste**

Devem ser determinados valores que simulam uma determinada condição do ponto do envelope de operação da unidade ao qual se tem interesse em analisar. As condições reais do teste não devem se desviar das condições básicas de acordo com os limites de desvios descritos na tabela abaixo.

Tabela 1 – Desvios permitidos entre as condições básicas e reais de teste

<b>Propriedade Medida</b>	<b>Desvio Permitido</b>
Pressão absoluta na entrada da unidade condensadora	$\pm 1\%$
Temperatura do refrigerante na entrada da unidade condensadora	$\pm 3 \text{ K}$
Rotação nominal do compressor	$\pm 1\%$
Tensão elétrica nominal	$\pm 1,5\%$
Temperatura da entrada de ar no condensador	$\pm 1 \text{ K}$
Pressão absoluta na saída da unidade condensadora	$\pm 1,5\%$
Temperatura ambiente	$\pm 1 \text{ K}$

Fonte: DS/EN 13771-2:2007

Além das condições citadas acima, outras medições são necessárias para permitir a determinação da capacidade de refrigeração, vazão mássica de refrigerante, potência consumida e coeficiente de performance. Essas medições estão listadas em cada um dos métodos de testes selecionados para este projeto, como descrito na Seção 2.4.5.

A coleta de dados dos ensaios deve ocorrer após a unidade condensadora ter atingido um regime de operação estável, em que por um determinado período as flutuações de todos os fatores que possam afetar os resultados do ensaio estejam dentro dos limites estabelecidos na tabela 1. Essas condições de trabalho estáveis devem ser mantidas em pelo menos 15 minutos antes do início dos ensaios (DS/EN 13771-2, 2007).

#### 2.4.4 Instrumentos de Medição e suas Incertezas

Para que a coleta de dados da bancada de teste esteja dentro dos procedimentos e desvios permitidos pela norma, os instrumentos de medição e suas incertezas foram especificados conforme tabela abaixo.

Tabela 2 – Instrumentos de medição e incertezas (continua)

<b>Tipo de medição</b>	<b>Instrumentos de medição</b>	<b>Incertezas</b>
Temperatura	Termômetros de resistência de platina ou termopares	$\pm 0,05 \text{ K}$
Pressão	Transdutores de pressão	$\pm 1\%$
Elétrica (frequência, tensão, corrente e potência)	Instrumentos indicadores ou integradores	$\pm 0,5\%$
Vazão de refrigerante	Medidor de vazão volumétrica de vapor de refrigerante	$\pm 2\%$

Tabela 2 – Instrumentos de medição e incertezas (conclusão)

<b>Tipo de medição</b>	<b>Instrumentos de medição</b>	<b>Incertezas</b>
Rotação compressor	Contadores de voltas, tacômetros ou estroboscópio	$\pm 0,75\%$
Tempo	Instrumentos apropriados	$\pm 0,1\%$
Torque	Instrumentos apropriados	$\pm 1,5\%$

Fonte: DS/EN 13771-2:2007

### 2.4.5 Métodos de Teste

Entre os quatro métodos apresentados, A, B, D e E, foram escolhidos os métodos A (montagem do calorímetro no evaporador) e D (medidor de vazão de vapor de refrigerante) para nortear o dimensionamento da bancada de testes.

#### 2.4.5.1 Método A: calorímetro no evaporador

A norma DS/EN 13771-2:2007 determina que esse calorímetro deve ser montado com um fluido secundário aquecido logo abaixo das serpentinas por onde passa o fluido refrigerante. Para o presente projeto, esse método foi adaptado para que um conjunto de resistências promovesse o aquecimento do ar que entra no evaporador; a potência dissipada pelo aquecedor seria controlada por meio de um controlador em malha fechada ligado a um potenciômetro.

O calorímetro deve ser isolado de tal modo que a perda de calor não exceda 5% da capacidade de refrigeração da unidade condensadora (DS/EN 13771-2:2007).

Para a calibração do ensaio, deve ser determinado o fator de vazamento de calor no calorímetro, conforme seção 4.8.1 da norma, que descreve a troca de calor entre o calorímetro e o ambiente. A temperatura do ar após a passagem pelo aquecedor deve ser usada como temperatura de referência.

A pressão e a temperatura do fluido refrigerante na entrada da unidade condensadora são ajustadas usando a válvula de expansão eletrônica e controlando o aporte de calor no evaporador por meio do aquecedor de resistências. Para o condensador, deve-se manter as condições de fluxo em regime permanente de acordo com as condições básicas de teste determinadas.

As medições que devem ser realizadas para este método são:

- Entrada de calor no calorímetro;
- Temperatura ambiente;
- Temperatura do ar aquecido;
- Temperatura do refrigerante na entrada da válvula de expansão;
- Pressão do refrigerante na entrada da válvula;
- Temperatura do gás refrigerante na saída do evaporador;
- Pressão do gás refrigerante na saída do evaporador;

#### ***2.4.5.2 Método D: medidor de vazão de vapor refrigerante após o evaporador***

O procedimento de teste para esse método é similar ao do método A. Deve-se assegurar que o vapor superaquecido na entrada do medidor de vazão esteja homogeneizado e totalmente livre de gotículas.

A vazão mássica do refrigerante deve ser calculada multiplicando o valor da vazão volumétrica lida pela massa específica do vapor de refrigerante.

### 3 SELEÇÃO DOS COMPONENTES DA BANCADA

Este capítulo tem por objetivo demonstrar a seleção de componentes da bancada de testes, utilizando-se o software comercial Coolselector®2 da Danfoss. Serão abordadas a seleção da unidade condensadora, da válvula de expansão eletrônica e do controlador.

#### 3.1 SELEÇÃO DA UNIDADE CONDENSADORA

A seleção da unidade condensadora teve como base a unidade presente no laboratório de ensaios da Danfoss, ao qual o grupo teve acesso na realização deste trabalho. Os parâmetros de seleção buscaram replicar as condições de ensaio realizadas, que estão abordadas em maiores detalhes nos tópicos da Seção 5.

Tabela 3 – Unidade condensadora do estudo

Modelo da unidade estudada	Código da bancada estudada	Modelo do compressor
HJZ064D39Q	115F0306	MTZ64-3

Fonte: Autores

Pelo catálogo da Danfoss sobre Unidades Condensadoras OPTYMA™, essa unidade enquadra-se nos critérios de médias e altas temperaturas, com uso do R134A e R404A como fluido refrigerante. A seleção foi feita com o fluido R404A, o mesmo utilizado nos ensaios.

Dessa forma, os parâmetros utilizados foram: carga térmica de 12,57 kW, ponto de orvalho de -6°C na linha de sucção, temperatura ambiente de 27°C, temperatura do gás de retorno de 10,9°C e altitude média de 750m.

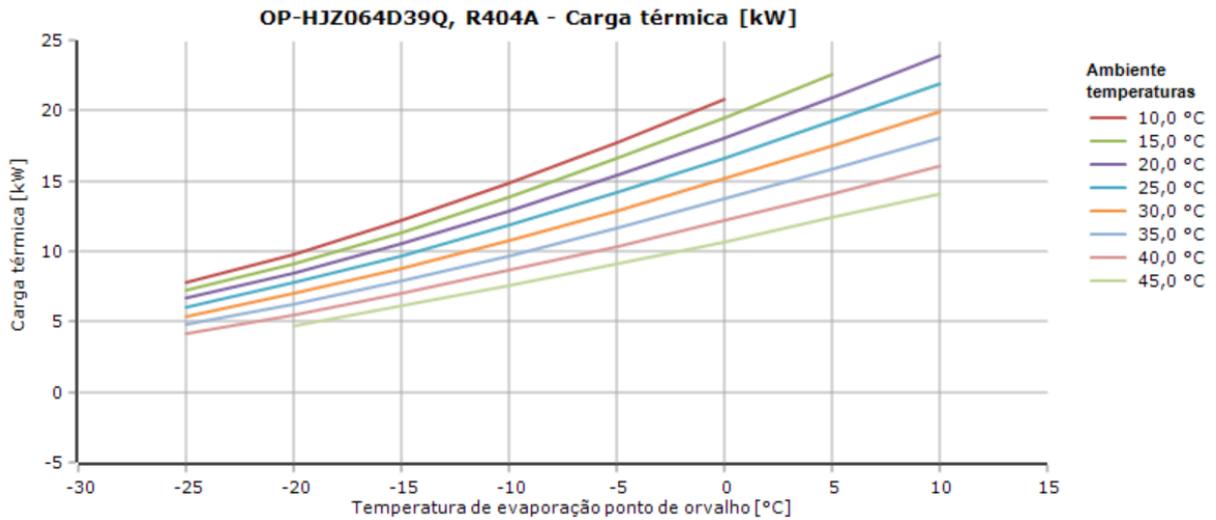
Figura 12 – Seleção da bancada HJZ064

The screenshot displays the Coolselector software interface with the following settings:

- Condições de operação:**
  - Capacidade requerida: 12,57 kW
  - Mostrar: 11 modelos
  - Condições de classificação: Padrão
- Evaporação:**
  - Temperatura do ponto de orvalho: -6,0 °C
  - Superaquecimento útil: 16,9 K
  - Superaquecimento adicional: 0 K
  - Temperatura do gás de retorno: 10,9 °C
- Condensação:**
  - Temperatura ambiente: 27,0 °C
  - Sub-resfriamento: 0 K
  - Sub-resfriamento adicional: 0 K
  - Altitude: 750,0 m

Fonte: Coolselector®2

Figura 13 – Desempenho da bancada HJZ064



Fonte: Coolselector®2

A Figura 13 ilustra o mapa de operação da unidade selecionada em função da temperatura ambiente, ponto de orvalho e carga térmica.

As propriedades termodinâmicas estão representadas conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades termodinâmicas extraídas com o Coolselector®2

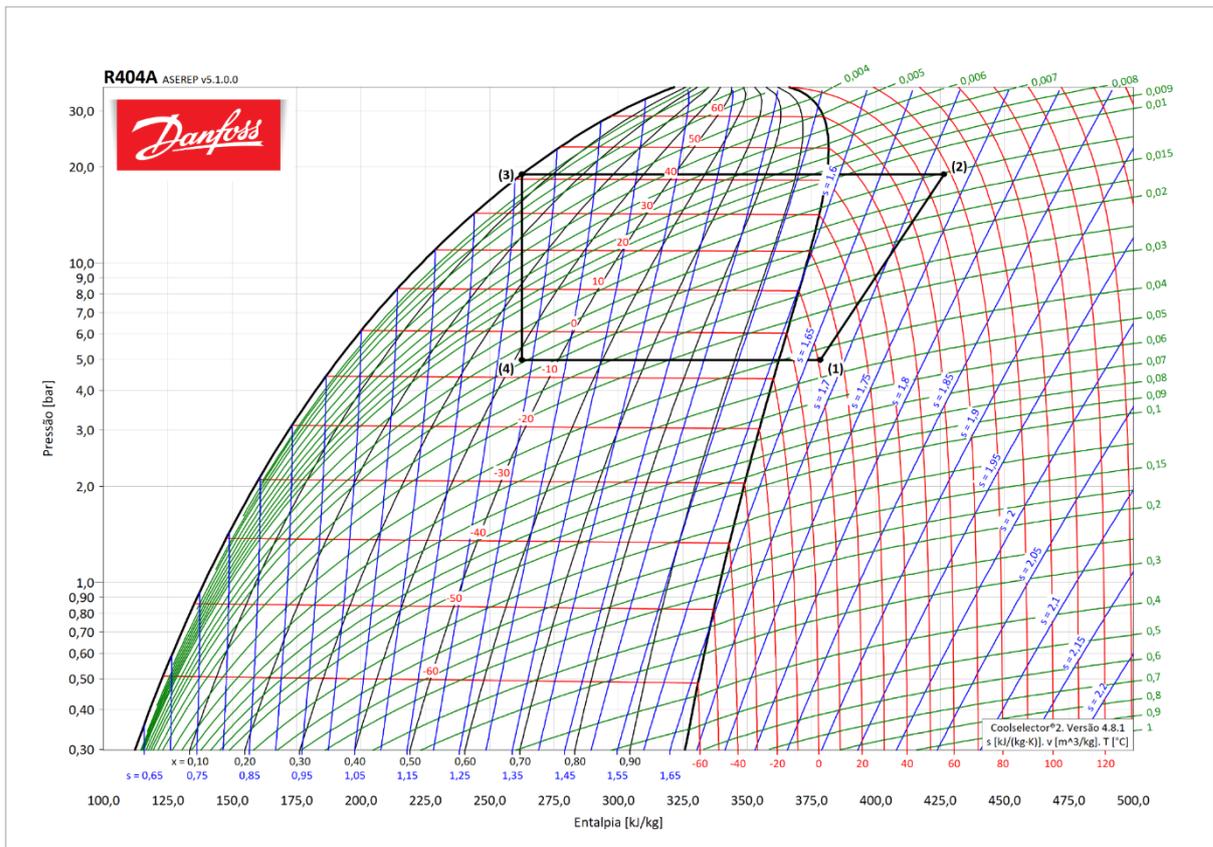
	Temperatura	Pressão	Densidade	Entalpia	Entropia
Ponto	°C	bar	kg/m <sup>3</sup>	kJ/kg	kJ/(kg.K)
Sucção do compressor	10,9	4,972	22,92	378,3	1,667
Descarga compressor	77,6	18,98	79,11	426,4	1,722
Condensação (PO)	41,8	18,98	106,7	380,8	1,584
Saída do condensador	41,5	18,98	957,5	262,4	1,208
Após válvula de expansão	-6,3	4,972	58,66	262,4	1,235
Evaporação (PE)	-6,6	4,972	1176	191	0,9671
Evaporação (PO)	-6	4,972	25,21	363,3	1,609

Fonte: Autores, “adaptado de” Coolselector®2, 2022

Com base na carga térmica selecionada, o software determinou um fluxo em massa de refrigerante de 390,6 kg/h.

Por fim, o diagrama de pressão por entalpia foi obtido. Percebe-se o superaquecimento do ponto 1, a fim de evitar a entrada de líquido no compressor. O valor desse superaquecimento foi determinado experimentalmente na Seção 5, como sendo de 16,9 K.

Figura 14 – Diagrama pressão por entalpia obtido pelo Coolselector®2



Fonte: Coolselector®2

### 3.2 SELEÇÃO DA VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA

O correto dimensionamento da válvula de expansão eletrônica serve como um dos pilares deste projeto: a precisão e velocidade no controle da vazão de refrigerante foi uma das premissas apontadas para a escolha desta válvula. Apesar de seu custo elevado em relação a uma válvula termostática, os ganhos obtidos com a precisão tornam ideal a sua escolha para uso em bancadas de testes de unidades condensadoras.

Considerando-se as mesmas condições de operação da Seção 3.1, e admitindo-se uma carga máxima de 80% para a operação da válvula, obteve-se como resultado da pesquisa o

modelo AKV 15-1, com capacidades máxima e mínima de 21,18 kW e 2,118 kW, respectivamente.

Figura 15 – Seleção da válvula AKV 15-1



Tipo	AKV 10-6	AKV 10-7	AKV 15-1	AKV 15-2	AKV 15-3
NS	10	12	18	18	22
Capacidade máxima [kW]	9,656	13,71	21,18	33,84	53,10
Capacidade mínima [kW]	0,966	1,371	2,118	3,384	5,310
Carga [%]	130	92	59	37	24
DP [bar]	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Velocidade, entrada [m/s]	2,25	1,78	0,64	0,64	0,40

Fonte: Coolselector®2

A carga da válvula foi calculada como sendo de 59%, oferecendo flexibilidade para operação com outros modelos de unidades condensadoras.

Figura 16 – Curva de desempenho da válvula AKV 15-1



Fonte: Coolselector®2

### 3.3 SELEÇÃO DO CONTROLADOR PARA A VÁLVULA ELETRÔNICA

O controlador selecionado é o mesmo utilizado na bancada real da Danfoss, modelo MCX08M. Trata-se de um controlador programável, de 8 relés, capaz de operar entre 210~230V CA, 50/60Hz de frequência e massa de 420g.

Figura 17 – Controlador modelo MCX08M da Danfoss



Fonte: Danfoss

Uma proposta de desenvolvimento para futuros trabalhos referentes ao setor de refrigeração é aprofundar os meios para controle eletrônico empregados em bancadas de testes, visando a melhor combinação entre resultados experimentais satisfatórios e o custo associado de aquisição desses controladores e dispositivos de expansão eletrônicos. A cooperação entre indústria e academia no desenvolvimento de novas soluções nesse ramo tem o potencial de trazer soluções aos entraves econômicos que as empresas do setor estão submetidas ao terem de testar as suas unidades condensadoras em laboratórios fora do Brasil, conforme explorado na Seção 1.3.

## 4 MONTAGEM DA BANCADA

O presente capítulo tem por objetivo demonstrar o projeto conceitual da bancada de testes caloríficos proposta pelo grupo, analisando sua viabilidade técnica e financeira como parte dos requisitos de projeto.

### 4.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO DO CALORÍMETRO

Para atender a norma técnica DS/EN 13771-2:2007, foi desenvolvido um sistema de aquecimento elétrico utilizando resistências para promover o controle do aquecimento do ar de insuflamento do evaporador. As resistências são do tipo tubular fabricadas de aço inox contendo aletas retangulares para aumentar a área de troca de calor. Para definir a potência necessária das resistências, utilizamos como limite a carga térmica do evaporador de 24,63 kW, temperatura ambiente de 18°C, temperatura de entrada no evaporador de 25°C e a vazão de ar de entrada de 11880 m<sup>3</sup>/h.

Figura 18 – Resistência com aletas retangulares



Fonte: SMS resistências elétricas

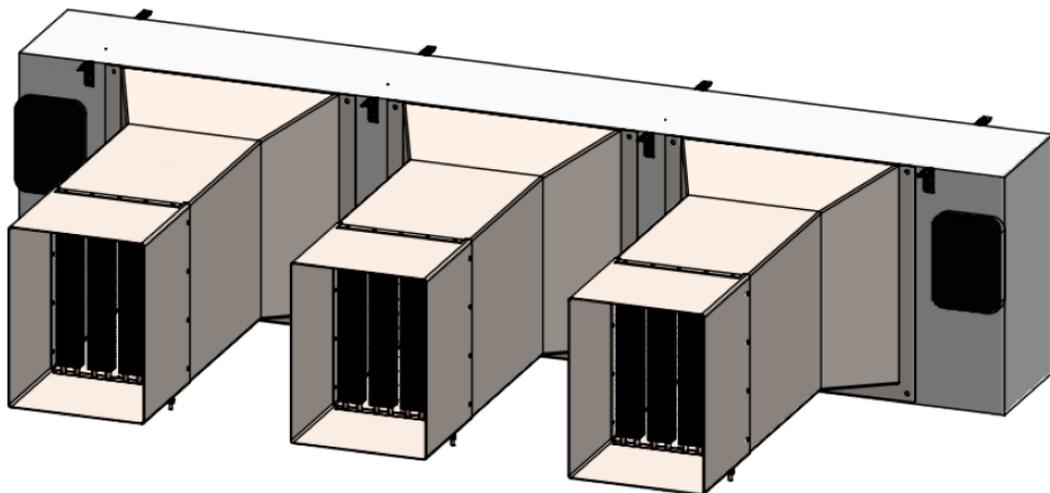
O sistema constitui em três dutos de aço revestidos na parte externa com um isolante de poliuretano. Os dutos são montados na estrutura do evaporador onde ficam os ventiladores. Cada duto possui quatro resistências montadas em paralelo, cada uma com capacidade para dissipar 2,5 kW de calor.

Figura 19 – Instalação de resistências do laboratório da FEI



Fonte: Autores

Figura 20 – Montagem dos aquecedores no evaporador



Fonte: Autores

Para manter a temperatura de entrada de ar no evaporador constante em todo o processo de medição, é usado um potenciômetro controlado por um sistema PID em malha fechada, em que este controla a potência da resistência automaticamente para que a temperatura fique estabilizada dentro dos limites exigidos pela norma DS/EN 13771-2:2007. Em rampas de temperatura, por exemplo, inicialmente é utilizado 100% da potência; à medida que a temperatura vai chegando próximo do estabelecido para o ensaio, o potenciômetro começa a entregar menos energia para que a temperatura chegue suavemente ao valor desejado e não ultrapasse este ponto.

## 4.2 MONTAGEM DOS SENSORES DE PRESSÃO E TEMPERATURA

Dentro de cada duto do aquecedor propõe-se colocar sensores de temperatura AKS 21 de uso geral Pt 1000 capaz de suportar temperaturas extremamente altas e baixas. Os sensores deverão ser posicionados a uma distância mínima de 4 vezes o diâmetro dos dutos em relação as singularidades para que seja garantida a leitura dos dados na região de escoamento desenvolvido.

Figura 21 – Sensores de temperatura AKS 21



Fonte: Danfoss

Foram determinados para medição de pressão na linha os sensores de pressão AKS 33, modelo 060G2103, utilizados em aplicações industriais em que é necessário o controle modulante de equipamentos. Em processos diversos, podem ser usados em aplicações com água, gases e vapor.

Devido à alta precisão do transmissor de pressão Danfoss, ele detecta pequenas variações na pressão do processo e envia os sinais de forma imediata para o painel de comando.

Figura 22– Sensor de pressão  
AKS 33, modelo 060G2103



Fonte: Danfoss

Ambos os sensores de pressão e temperatura devem ser colocados no mesmo ponto de medição para a determinação da entalpia do fluido refrigerante. Os pontos de tomada de dados de pressão e temperatura são: entrada do compressor da unidade condensadora, saída do condensador da unidade e entrada do evaporador.

#### 4.3 SELEÇÃO E MONTAGEM DO MEDIDOR DE VAZÃO VOLUMÉTRICO

Para a seleção do medidor de vazão volumétrico, foi utilizado o valor da vazão mássica média de 390,7 kg/h conforme determinado em ensaio realizado na Danfoss. O valor do volume específico do fluido refrigerante foi obtido através do diagrama P<sub>x</sub>h do refrigerante R404A – Figura 14 –, para a condição de superaquecimento de 17°C e pressão de 5 bar na saída do evaporador, representado pelo ponto 1 do diagrama. O valor médio da vazão volumétrica pode ser obtido pela equação abaixo:

$$\dot{v} = \dot{m}[kg/h] \times v[m^3/kg] \quad (7)$$

$$\dot{v} = 390,7 \times 0,045 = 17,58 \text{ m}^3/h$$

Em atendimento ao valor de vazão volumétrica calculada e às incertezas de medição descritas pela norma DS/EN 13771-2:2007, é proposto na saída do evaporador um sensor de vazão ultrassônico modelo SonoSensor™30 com diâmetro nominal de 50mm e conexão por flange, com vazão volumétrica máxima de 30 m³/h, projetado para aquecimento, resfriamento ou aplicações combinadas de ambos. O sensor possui baixa perda de pressão e mede o volume de refrigerante que passa por ele a cada 1 segundo, aumentando a precisão da medição.

Figura 23 – Sensor de vazão ultrassônico modelo SonoSensor™30



Fonte: Danfoss

#### 4.4 LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA PROTOTIPAGEM

A construção do primeiro dispositivo, conhecido como protótipo, é um marco inicial a todos os ramos de pesquisa, inovação e desenvolvimento. Através dele é possível validar todo o embasamento teórico traçado, testar na prática o funcionamento e notar o acontecimento de efeitos que, na fase teórica, podem não ocorrer ou serem de difícil identificação.

Como sustentação ao modelo teórico sugerido, apoiado pelas validações do Coolselector®, desenvolveu-se a lista de main spare parts, contendo os itens básicos ao funcionamento da bancada universal, de acordo com o apresentado abaixo:

Tabela 5 – Main Spare Parts

#	Descrição	Qtd.
1	Válvula de expansão eletrônica ref. Danfoss AKV 15-1	1
2	Controlador modelo MCX08M ref. Danfoss	1
3	Evaporador MIPAL HD400 0208	1
4	Resistência elétrica de 2,5 kW	12
5	Sensor de temperatura AKS21	9
6	Sensor de pressão AKS33	3
7	Sensor de vazão ultrassônico SonoSensor™30 ref. Danfoss	1
8	Tubulação de cobre Ø7/8" (metros)	2
9	Tubulação de cobre Ø1/2" (metros)	2

Fonte: Autores.

Com a consulta nos distribuidores Bandeirantes Refrigeração e Capital Refrigeração, disponível no Apêndice A, chegou-se a um valor inicial de R\$ 51 mil. Por se tratar de um valor elevado, a construção física do protótipo se tornou inviável. Entretanto, proverá a uma indústria uma economia de custos logísticos a ser estudada ao longo do tempo.

## 5 ENSAIO DE UMA BANCADA REAL

O procedimento de ensaio será realizado tomando como base uma bancada de testes real instalada nas dependências da Danfoss, na cidade de Osasco, em São Paulo.

Figura 24 – Unidade condensadora HJZ064D39Q



Fonte: Danfoss

A bancada instalada pela Danfoss consta de uma unidade condensadora modelo HJZ064D39Q interligada por meio de uma tubulação de cobre a uma câmara de refrigeração composta por 4 evaporadores Mipal.

### 5.1 DESENVOLVIMENTO DO ENSAIO

Devido à complexidade da montagem da bancada no laboratório da Danfoss, não foi possível seguir todos os critérios estabelecidos na norma DS/EN 13771-2:2007 apresentada na Seção 2.4: a temperatura do ambiente não pôde ser controlada por limitações do laboratório.

Os resultados obtidos foram exportados para uma planilha por meio da interface com o controlador, e posteriormente os dados foram compilados em tabelas e gráficos. Calculou-se os

valores de carga térmica, potência consumida pela unidade e calor rejeitado pelo condensador. A Tabela 6 demonstra partes dos resultados obtidos. A mesma tabela em sua integralidade pode ser consultada no Apêndice B.

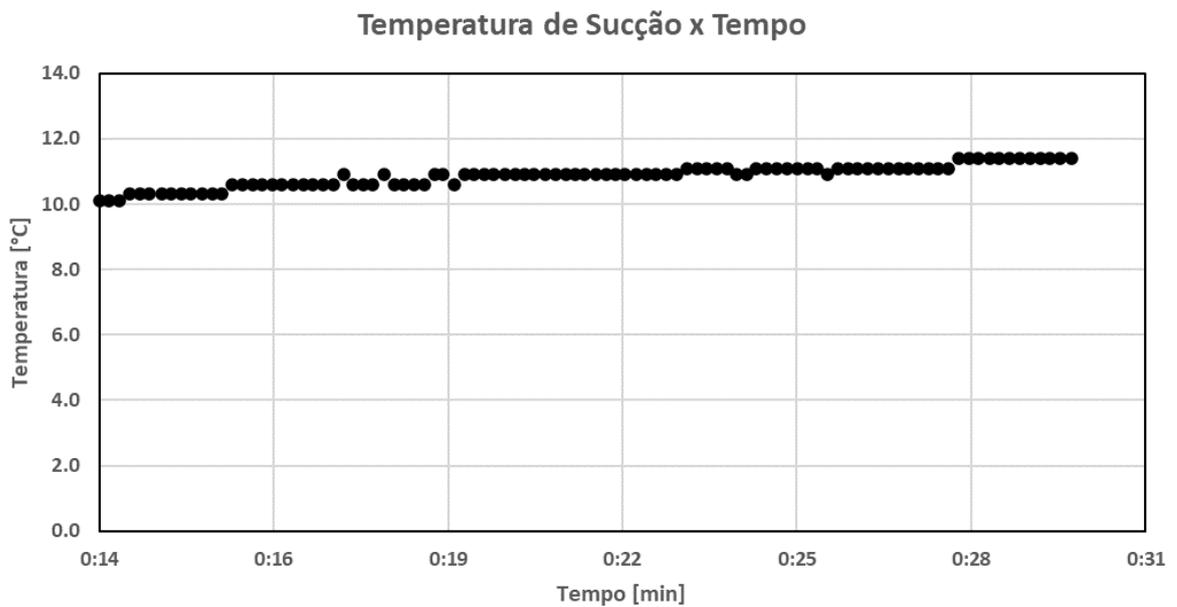
Tabela 6 – Trecho dos dados coletados em ensaio

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:16:08	10.1	71.1	39.7	4.9	17.7	432
13:16:18	10.1	71.1	39.7	4.9	17.7	428
13:16:28	10.1	71.1	39.7	4.9	17.7	360
13:16:38	10.3	71.1	39.7	4.9	17.7	417
13:16:48	10.3	71.1	39.7	5.0	17.8	406
13:16:58	10.3	71.4	39.7	5.0	17.9	363
13:17:10	10.3	71.4	39.7	5.0	17.8	316
13:17:19	10.3	71.4	39.7	4.9	17.8	414
13:17:30	10.3	71.4	39.7	4.9	17.8	396
13:17:39	10.3	71.4	39.7	4.9	17.8	410
13:17:50	10.3	71.4	39.7	5.0	17.8	396
13:18:00	10.3	71.4	39.7	5.0	17.8	360
13:18:10	10.3	71.4	39.7	4.9	17.8	478
13:18:20	10.6	71.4	39.7	5.0	17.8	324

Fonte: Autores

Os valores foram obtidos no ensaio entre os horários 12:47:16 e 13:32:11. No entanto, desprezou-se os valores iniciais a fim de garantir a máxima estabilidade possível de funcionamento da bancada. Como parâmetro de estabilidade, utilizou-se a temperatura de sucção, medida após o superaquecimento do evaporador, por se tratar da grandeza que mais apresentou variação ao longo do ensaio.

Figura 25 – Temperatura de Sucção x Tempo



Fonte: Autores

Selecionou-se o intervalo mostrado acima, entre 14 e 30 minutos após a estabilização da bancada em regime permanente, e entre os horários 13:16:08 e 13:32:11. A tabela abaixo sintetiza os valores de média, desvio padrão e variância da amostra de dados desse intervalo.

Tabela 7 – Média, desvio padrão e variância dos resultados

	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
MÉDIA	10,866	72,284	40,087	4,992	17,972	390,691
DESVIO PADRÃO	0,340	0,737	0,355	0,057	0,185	61,387
VARIÂNCIA	0,115	0,543	0,126	0,003	0,034	3768,403

Fonte: Autores

Tomando como base esses valores, determinou-se os pontos de operação do ciclo: sucção, descarga do compressor, saída do condensador e saída da válvula de expansão.

Tabela 8 – Pontos de sucção e descarga do compressor

<b>Sucção do compressor</b>		<b>Descarga do compressor</b>	
<b>T Suc (C°)</b>	10,866	<b>T Desc (C°)</b>	72,284
<b>P Suc (Bar)</b>	4,992	<b>P Desc (Bar)</b>	17,972
<b>P Suc (kPa)</b>	499,175	<b>P Desc (kPa)</b>	1797,216
<b>Estado: vapor superaquecido</b>		<b>Estado: vapor superaquecido</b>	
<b>h<sub>1</sub> (kJ/kg)</b>	379,662	<b>h<sub>2</sub> (kJ/kg)</b>	421,912

Fonte: Autores

Tabela 9 – Pontos de saída do condensador e da VEE (continua)

<b>Sucção do compressor</b>		<b>Descarga do compressor</b>	
<b>T Liq (C°)</b>	40,087	<b>T Suc (C°)</b>	10,866
<b>P Desc (Bar)</b>	17,972	<b>P Suc (Bar)</b>	4,992

Tabela 9 – Pontos de saída do condensador e da VEE (conclusão)

Saída do condensador		Saída da VEE	
<b>P Desc (kPa)</b>	1797,216	<b>P Suc (kPa)</b>	499,175
<b>Estado: líquido saturado</b>		<b>Estado: mistura líquido + vapor</b>	
<b>h<sub>3</sub> (kJ/kg)</b>	263,800	<b>h<sub>4</sub> (kJ/kg)</b>	263,800

Fonte: Autores

## 5.2 CALOR E POTÊNCIA TROCADOS

Calor e potência são grandezas energéticas que possibilitam estudar um sistema térmico do ponto de vista de sua eficiência e operacionalidade. Tendo-se em vista o modelo de ciclo de refrigeração da Figura 6 e os valores de entalpia obtidos na Seção 5.1, pode-se calcular a carga térmica no evaporador ( $\dot{Q}_L$ ) e a troca de calor no condensador ( $\dot{Q}_H$ ) da unidade estudada.

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (8)$$

$$\dot{Q}_L = \frac{3090,691 \cdot (379,662 - 263,800)}{3600}$$

$$\dot{Q}_L = 12,574 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_H = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \quad (9)$$

$$\dot{Q}_H = \frac{3090,691 \cdot (421,912 - 263,800)}{3600}$$

$$\dot{Q}_H = 17,159 \text{ kW}$$

Analogamente, a potência despendida pelo compressor pode ser calculada como:

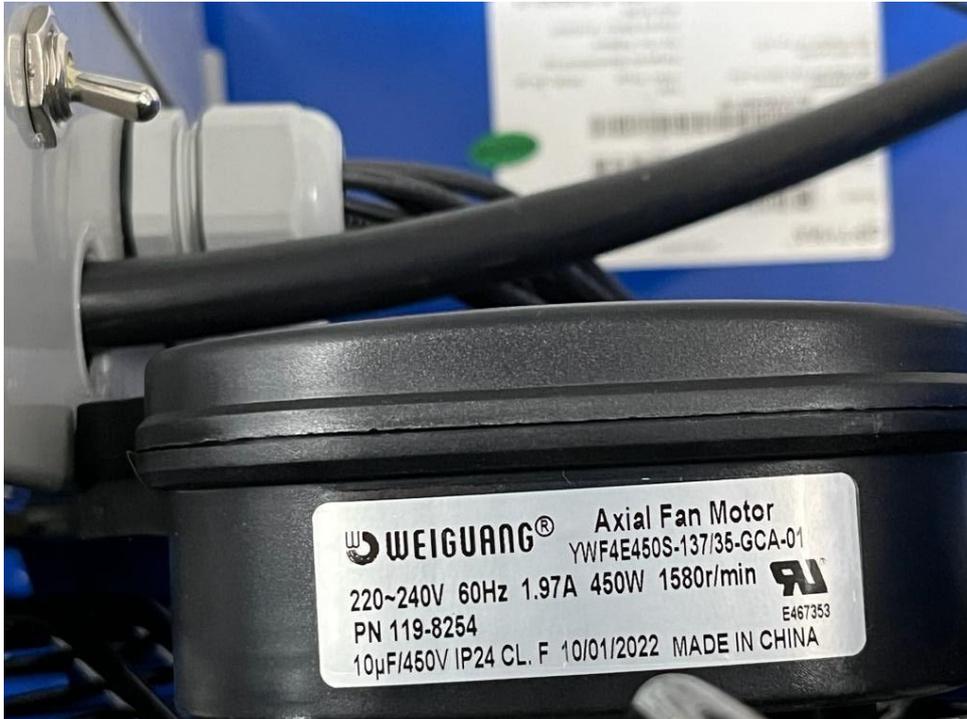
$$\dot{W}_{ent} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (10)$$

$$\dot{W}_{ent} = \frac{3090,691 \cdot (421,912 - 379,662)}{3600}$$

$$\dot{W}_{ent} = 4,585 \text{ kW}$$

A parcela de potência consumida pelo ventilador foi estimada com base na etiqueta do fabricante. Trata-se do modelo YWF4E450S-137/35 da Weiguang, com tensão nominal de 220~240V, 60Hz, 1,97A, motor com 2 pares de polos de 450W e 1580 rpm.

Figura 26 – Etiqueta de especificação do ventilador do compressor



Fonte: Autores

O catálogo de ventiladores da Weiguang oferece o mesmo modelo de ventilador, porém com a potência ligeiramente diferente: 370W @ 1360 rpm. No entanto, será utilizado o valor de 450W para contabilização da potência total consumida pela unidade, e de acordo com a norma DS/EN 13771-2:2007 para cálculo do coeficiente de performance da bancada.

$$\dot{W}_{tot} = \dot{W}_{ent} + \dot{W}_{vent} \quad (11)$$

$$\dot{W}_{tot} = 4,585 + 0,450$$

$$\dot{W}_{tot} = 5,035 \text{ kW}$$

### 5.3 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PERFORMANCE (COP)

Como exposto na Seção 2.2, o COP de um sistema de refrigeração relaciona o calor removido do ambiente pelo evaporador – carga térmica – e o trabalho despendido pelo

compressor. Por exemplo, um COP de 5 W/W significa que cada “watt” de energia elétrica gasto pelo compressor foi capaz de remover 5 W de energia térmica do ambiente. Dessa forma, o COP da bancada da Danfoss nas condições deste ensaio está demonstrado abaixo, considerando-se também a parcela de potência gasta pelo ventilador conforme Seção 5.2:

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{tot}} \quad (12)$$

$$COP = \frac{12,574}{5,035}$$

$$COP = 2,497 \frac{W}{W}$$

#### 5.4 DIAGRAMA PRESSÃO POR ENTALPIA DE UMA BANCADA REAL

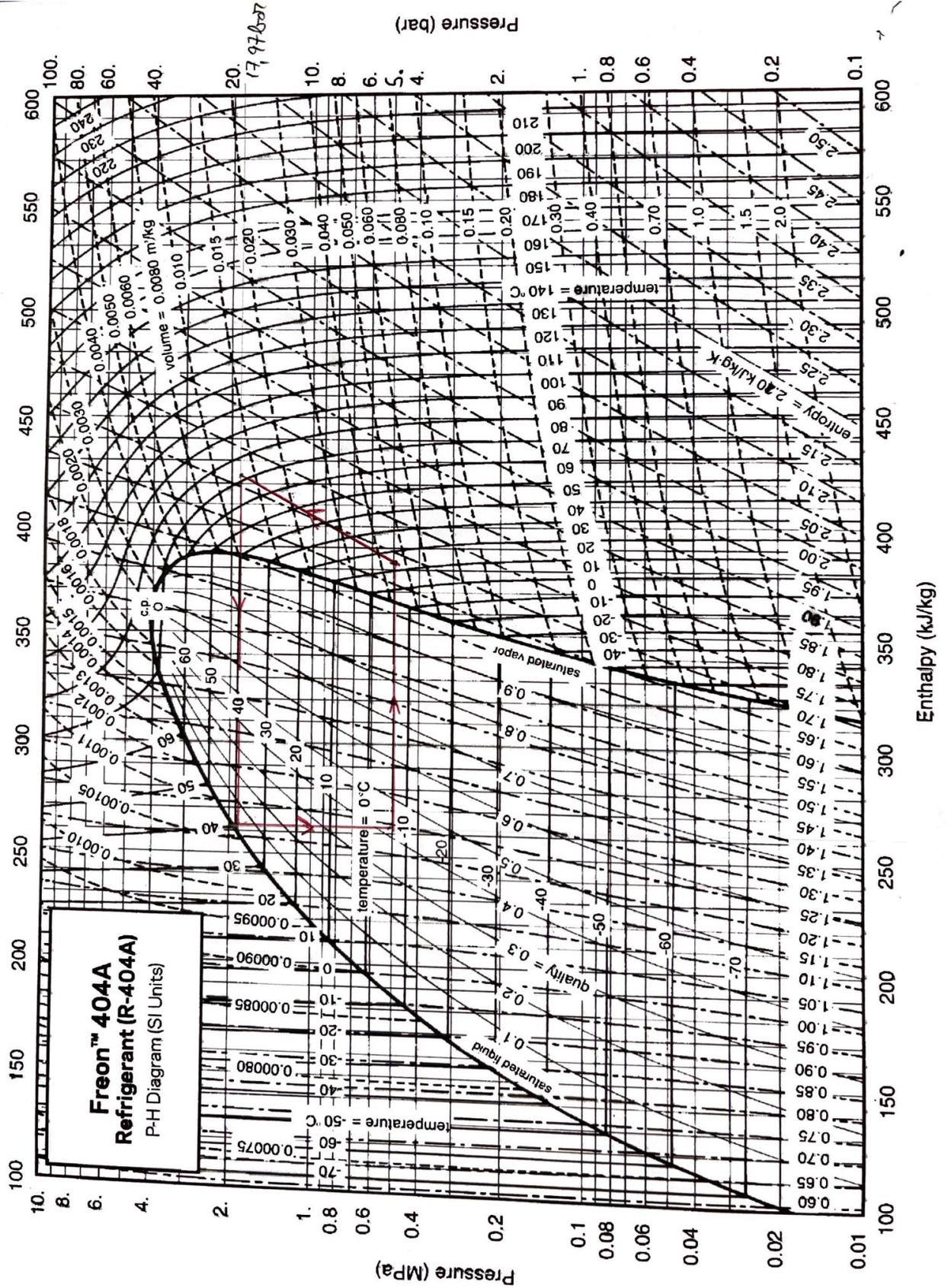
Os valores de pressão e entalpia obtidos em cada ponto do ensaio conforme a Seção 5.1 possibilitam que seja traçado o diagrama P<sub>xh</sub> de uma bancada real. Assim, é possível ter mais um método de comparação entre os cálculos efetuados na Seção 5 com os dados gerados pelo Coolselector®2 na Seção 3. O diagrama utilizado para o fluido R404A pertence à Chemours (Chemours, 2019). As propriedades físicas do fluido encontram-se resumidas na Tabela 10.

Tabela 10 – Propriedades físicas do fluido R404A de acordo com a Chemours

Grandeza física	Valor numérico
Fórmula química	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> /CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub> /CH <sub>2</sub> FC <sub>3</sub>
Massa molar	97,60 g/mol
Ponto de ebulição @ 1 atm	-46,45 °C
Temperatura crítica	72,07 °C
Pressão crítica	3731,5 kPa (abs)
Densidade crítica	484,5 kg/m <sup>3</sup>
Volume crítico	0,00206 m <sup>3</sup> /kg

Fonte: Autores, “adaptado de” Chemours, 2019, p. 1

Figura 27 – Diagrama P-h da bancada real com o fluido R404A



Fonte: Autores, “adaptado de” Chemours, 2019, p. 27

## 5.5 COMPARAÇÃO DOS CÁLCULOS COM A SELEÇÃO DO COOLSELECTOR®2

Por fim, os autores deste trabalho optaram por comparar os valores calculados ao longo da Seção 5 com a seleção feita pelo Coolselector®2 na Seção 3. Esta comparação serve, sobretudo, como um subsídio àqueles que buscam entender o funcionamento deste software comercial, como potenciais novos clientes de produtos da Danfoss ou institutos de pesquisa que procuram com rigor técnico novos equipamentos para suas instalações.

Tabela 11 – Comparação de resultados entre ensaio e seleção do Coolselector®2

<b>Grandeza física</b>	<b>Valor pelo Coolselector®2</b>	<b>Valor obtido por ensaio</b>	<b>Diferença percentual</b>
Vazão em massa	390,6 kg/h	390,7 kg/h	0,026%
Entalpia 1	378,3 kJ/kg	379,6 kJ/kg	0,0342%
Entalpia 2	426,4 kJ/kg	421,9 kJ/kg	-1,067%
Entalpia 3	262,4 kJ/kg	263,8 kJ/kg	0,531%
Entalpia 4	262,4 kJ/kg	263,8 kJ/kg	0,531%

Fonte: Autores, “adaptado de” Coolselector®2, 2022

Percebe-se que as diferenças percentuais foram, em sua maioria, inferiores a 1%, demonstrando um excelente resultado do ensaio ao compará-lo com os valores teóricos obtidos pelo Coolselector®2. Assim, mesmo que o ambiente de ensaio não possuísse o controle de temperatura previsto pela norma DS/EN 13771-2:2007, ainda foi possível obter bons resultados práticos no ensaio realizado. Espera-se que com essa validação novos estudos sobre ciclos de refrigeração possam ser conduzidos, inclusive com a montagem de uma nova bancada que permita o cumprimento integral com as disposições previstas na norma mencionada.

## 6 CONCLUSÃO

Com a crescente necessidade de instrumentos de testes e medições no cenário HVAC-R (Heating, Ventilation, Air Conditioning & Refrigeration), é de suma importância o desenvolvimento de um equipamento que possa aferir com precisão e confiabilidade os parâmetros essenciais de um sistema.

A Thermal Engineering Solution T.E.S. desenvolveu uma bancada universal para testes de instalações de condensação, com intuito de operar de forma flexível com diferentes cargas térmicas com uma solução de fácil implementação. Diferentes estruturas foram consideradas para este projeto, considerando controladores, válvulas e compressores, com a finalidade de abranger a ampla gama de unidades condensadoras. Uma das soluções consideradas é o emprego de resistências elétricas no insuflamento do evaporador, já empregada na bancada didática presente no laboratório de refrigeração e ar-condicionado do Centro Universitário FEI, e que serviu como inspiração para esse projeto.

O projeto demonstrou-se viável do ponto de vista técnico: os ensaios realizados demonstram a capacidade do Coolselector®2 em prover dados precisos de operação de uma bancada real; os resultados obtidos foram satisfatórios, as diferenças dos resultados obtidos no ensaio com o software Coolselector®2 foram, em geral, inferiores a 1%, mesmo com o ambiente não tendo uma temperatura controlada conforme a norma DS/EN 13771-2:2007 determina.

Outra característica diferencial da bancada proposta nesse estudo é o emprego de controle eletrônico de vazão acoplado com uma válvula de expansão eletrônica. O controle eletrônico permite o ajuste fino das condições operacionais, que é essencial para testes de qualidade das unidades condensadoras e demais produtos desenvolvidos pelas empresas do setor de refrigeração.

Os altos custos associados ao protótipo inviabilizaram a construção. Porém, a nível industrial, essa construção pode ser viável a longo prazo pela redução de gastos com exportação de material e ensaios em outros países, como apresentado na motivação que levou ao desenvolvimento deste projeto, além da redução significativa entre os tempos de cada teste, fazendo com que eventuais alterações sejam validadas mais rapidamente.

Como propostas futuras, sugere-se a construção da bancada física com todos os dispositivos dimensionados neste projeto, com controle da temperatura de insuflamento, segundo a norma DS/EN 13771-2:2007, testes de outros modelos de unidades, a fim de que a

bancada possa ser operada com diferentes linhas de produtos, simulação computacional do modelo de resistências, para averiguar com maior precisão a capacidade de aquecimento que elas entregam antes da montagem da bancada, e teste da bancada real com outros fluidos refrigerantes além do R404A.

## REFERÊNCIAS

ABRAVA DE PORTAS ABERTAS 2022., 2022, São Paulo. **Boletim Econômico ABRAVA...**ABRAVA, 2022. Disponível em: [https://abrava.com.br/wp-content/uploads/2022/01/ABRAVA-de-Portas-Abertas-2022\\_v\\_REsumida-DEE.pdf](https://abrava.com.br/wp-content/uploads/2022/01/ABRAVA-de-Portas-Abertas-2022_v_REsumida-DEE.pdf). Acesso em 15 jun. 2022.

AIR-CONDITIONING, HEATING, & REFRIGERATION INSTITUTE. **AHRI Standard 1250**: 2020 standard for performance rating of walk-in coolers and freezers. Arlington, 2020.

BONATTO. **Projeto preliminar de uma bancada de testes para evaporadores**. 2017. 106 f. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/4425>. Acesso em: 16 jun. 2022.

CASTRO, José de. **Apostila Refrigeração**. UNIVASF, Petrolina, 2005. Disponível em: <https://docplayer.com.br/1748804-Univasf-eng-mecanica-apostila-refrigeracao-prof-jose-de-castro.html>. Acesso em: 17 jun. 2022.

CHEMOURS. **Freon™ 404A Refrigerant (R-404A)**: Thermodynamic Properties (SI Units). 2019. Disponível em: <https://www.freon.com/en/site-search-results?qs=pb&q=r404a>. Acesso em: 6 nov. 2022.

COOLSELECTOR®2. Versão 4.8.1. [S. l.]: Danfoss, 2022. Disponível em: <https://www.danfoss.com/pt-br/service-and-support/downloads/dcs/coolselector-2/#tab-overview>. Acesso em: 07 dez. 2022.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. Termodinâmica. 7 ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013. Tradução: Paulo Maurício Costa Gomes. Revisão técnica: Antonio Pertence Júnior. Título original: Thermodynamics: An Engineering Approach. ISBN: 978-85-8055-200-3.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. Termodinâmica. Tradução: Katia Aparecida Roque. 5. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. 740 p. Título original: Thermodynamics. ISBN 85-86804-66-5.

DANFOSS. **Sensor de temperatura AKS 21**. 2022. Disponível em: <https://www.danfoss.com/pt-br/products/dcs/sensors-and-transmitters/refrigeration-temperature-sensors/aks-21-temperature-sensor/#tab-overview>. Acesso em: 27 nov. 2022.

DANFOSS. **SonoSensor™30**. 2022. Disponível em: <https://www.danfoss.com/pt-br/products/dhs/energy-metering/energy-metering/sonosensor-30/#tab-overview>. Acesso em: 27 nov. 2022.

DANFOSS. **Thermostatic expansion valve Type TD 1 / TDE 1**. 2022. Disponível em: <https://www.danfoss.com/en/products/dcs/valves/thermostatic-expansion-valves/thermostatic-expansion-valves/#tab-overview>. Acesso em: 13 jun. 2022.

DANFOSS. **Transmissores de pressão**. 2022. Disponível em: [https://store.danfoss.com/br/pt\\_BR/Climate-Solutions-para-refrigera%C3%A7%C3%A3o-e-ar-condicionado/Sensores-e-transmissores/Transmissores-de-press%C3%A3o/c/2051](https://store.danfoss.com/br/pt_BR/Climate-Solutions-para-refrigera%C3%A7%C3%A3o-e-ar-condicionado/Sensores-e-transmissores/Transmissores-de-press%C3%A3o/c/2051). Acesso em 27 nov. 2022.

DANSK STANDARD/EUROPEAN STANDARD. **DS/EN 13771-2: compressors and condensing units for refrigeration – performance testing and test methods – part 2: condensing units**. Copenhagen, ago. 2007.

FERRAZ, Fábio; GOMES, Marcio. **O Histórico da Refrigeração, Fluidos Refrigerantes, Ozônio/Processo de Formação/Destruição, Sistemas de Refrigeração, Componentes de um Sistema de Refrigeração**. 2008. 60 f. Apostila - Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, Santo Amaro, 2008.

KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M.; BOHN, Mark S. **Princípios de Transferência de Calor**. 7 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. Tradução: Noveritis do Brasil. Revisão técnica: Keli Fabiana Seidel, Sergio Roberto Lopes. Título original: Principles of Heat Transfer. ISBN: 978-85-221-1803-8.

LAGO, Taynara Geysa Silva. **Estudo Experimental e Controle de um Sistema de Refrigeração com Compressor de Velocidade Variável e Válvula de Expansão Eletrônica**. 2016. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UNICAMP, Campinas, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/296885083>. Acesso em 13 jun. 2018.

LAZZARIN, R; NORO, M. Experimental comparison of electronic and thermostatic expansion valves performances in air conditioning plant. *International Journal of Refrigeration*, v. 31, n.1, p. 113-118, jan. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014070070700182X>. Acesso em: 12 jun. 2022.

LIANG, Kun. A review of linear compressors for refrigeration. *International Journal of Refrigeration*, v. 84, p. 253 - 273, ago. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.08.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700717303377>. Acesso em 16 jun. 2022.

O EXPLORADOR. **Frases & Citações**. 2019. Disponível em: <https://www.oexplorador.com.br/as-invencoes-sao-sobretudo-o-resultado-de-um-trabalho-teimoso-santos-dumont-1873-1932-inventor-brasileiro-conhecido-como-pai-da-aviacao/>. Acesso em: 07 dez. 2022.

PERES, Rodnei; BARBELLI, Silvio; VILLACA, Luiz. Automação e monitoramento remoto avançam e trazem ganhos de eficiência e eficácia. **ABRAVA + Climatização &**

**Refrigeração**, n. 94, p. 21-22, jan. 2022. Disponível em: <https://abrava.com.br/revista-abrava-refrigeracao-climatizacao-edicao-janeiro-2022/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

SENGER, Guilherme de Aguiar. **Estudo e desenvolvimento de estratégias de controle para um sistema de refrigeração de duplo-evaporador**. 2014. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/128847>. Acesso em: 16 jun. 2022.

SMS Resistências Elétricas. **Resistência aletada**. 2022. Disponível em: [http://www.smsresistencias.com.br/tubulares\\_aletadas.asp](http://www.smsresistencias.com.br/tubulares_aletadas.asp). Acesso em 27 nov. 2022.

WEIGUANG. **YWF Axial Fan Motor**.2022. Disponível em: <https://temperfenomeno.pt/content/33-catalogo-weiguang>. Acesso em 7 dez. 2022.

## APÊNDICE A - DADOS DA SELEÇÃO DE COMPONENTES PELO COOLSELECTOR®2

Figura 28 – Parâmetros da unidade condensadora HJZ064D39Q

Seleção: OP-HJZ064D39Q, R404A

Modelo	OP-HJZ064D39Q
Código	115F0306
Modelo do compressor	MTZ064-3
Linha de produtos	Optyma™
Versão do produto	D39
Refrigerante	R404A
Resfriamento [kW]	13,20
COP resfriamento reduzido [W/W]	2,08
Potência total [kW]	6,334
Corrente total [A]	20,81
Frequência [Hz]	60
Fonte de alimentação	200 - 230 V 3 ph
Tc [°C]	41,8

Fonte: Coolselector®2, Danfoss

Figura 29 – Parâmetros de seleção da válvula de expansão eletrônica - parte 1

Condições de operação			
Refrigerante:	R404A	Carga térmica:	12,57 kW
Fluxo de massa na linha:	390,5 kg/h	Capacidade de aquecimento:	17,79 kW
Temperatura de evaporação (ponto de	-6,0 °C	Temperatura de condensação (ponto de	41,8 °C
Pressão de evaporação:	4,972 bar	Pressão de condensação:	18,98 bar
Temperatura média de evaporação:	-6,2 °C	Sub-resfriamento:	0 K
Superaquecimento útil:	16,9 K	Sub-resfriamento adicional:	0 K
Superaquecimento adicional:	0 K		
Temperatura de descarga:	77,6 °C		
<b>Sistema e linha:</b>	<i>Sistema de expansão seco. Linha de líquido</i>		
<b>Critérios de seleção:</b>	<i>Carga: 80 %. Queda de pressão do distribuidor: 0 bar</i>		

Fonte: Coolselector®2, Danfoss

Figura 30 – Parâmetros de seleção da válvula de expansão eletrônica - parte 2



Tipo	AKV 10-6	AKV 10-7	AKV 15-1	AKV 15-2	AKV 15-3
NS	10	12	18	18	22
Capacidade máxima [kW]	9,656	13,71	21,18	33,84	53,10
Capacidade mínima [kW]	0,966	1,371	2,118	3,384	5,310
Carga [%]	130	92	59	37	24
DP [bar]	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Velocidade, entrada [m/s]	2,25	1,78	0,64	0,64	0,40

Fonte: Coolselector®2, Danfoss

## APÊNDICE B - DADOS COLETADOS EM ENSAIO NA DANFOSS

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continua)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
12:47:16	21.0	21.0	21.0	3.1	10.9	7
12:47:26	21.0	21.0	21.0	3.1	10.9	3
12:47:36	21.0	21.0	20.7	3.1	10.9	3
12:47:46	21.0	21.0	21.0	5.2	10.6	280
12:47:56	21.0	21.0	20.7	5.7	11.0	446
12:48:06	21.0	22.8	21.0	5.4	14.1	698
12:48:16	20.7	27.5	21.8	6.0	15.2	302
12:48:26	20.2	33.2	23.1	5.9	16.1	381
12:48:36	19.4	38.7	24.6	5.6	16.6	370
12:48:46	18.1	43.1	25.7	5.4	16.8	381
12:48:56	17.1	46.7	27.2	5.2	17.0	360
12:49:06	16.6	50.6	28.5	5.1	17.0	399
12:49:16	15.8	53.2	29.8	5.1	17.0	306
12:49:26	15.3	55.5	30.6	5.0	17.1	352
12:49:36	14.8	57.9	31.4	5.0	17.1	442

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
12:49:46	14.2	59.7	32.2	4.9	17.1	406
12:49:56	13.7	61.0	32.7	4.9	17.2	428
12:50:06	13.2	62.0	33.7	4.9	17.2	352
12:50:16	12.9	63.3	34.2	4.9	17.2	385
12:50:26	12.4	64.6	34.8	4.8	17.3	392
12:50:36	11.9	65.4	35.3	4.8	17.3	334
12:50:46	11.1	65.7	35.5	4.8	17.4	360
12:50:56	10.9	66.2	35.8	4.8	17.4	370
12:51:06	10.6	66.7	35.8	4.8	17.5	378
12:51:16	10.3	67.2	36.1	4.8	17.5	334
12:51:26	10.1	67.7	36.3	4.7	17.5	396
12:51:36	9.6	68.3	36.6	4.7	17.6	342
12:51:46	9.3	68.5	36.8	4.7	17.6	324
12:51:56	8.8	69.0	37.1	4.7	17.6	399
12:52:06	8.5	69.3	37.6	4.6	17.7	345
12:52:16	8.0	69.6	37.9	4.6	17.6	288

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
12:52:26	7.5	69.6	38.1	4.6	17.7	399
12:52:36	7.2	69.8	38.1	4.5	17.7	367
12:52:46	7.0	70.1	38.4	4.5	17.6	345
12:52:56	6.7	70.3	38.7	4.5	17.7	439
12:53:06	6.4	70.3	38.7	4.4	17.7	342
12:53:16	6.4	70.6	38.7	4.5	17.6	284
12:53:26	6.2	70.6	38.9	4.4	17.6	450
12:53:36	5.9	70.6	38.9	4.4	17.7	385
12:53:46	5.9	70.6	38.9	4.4	17.6	342
12:53:56	5.9	70.9	39.2	4.4	17.6	446
12:54:06	5.7	70.6	39.2	4.3	17.7	367
12:54:16	5.7	70.6	39.2	4.3	17.6	396
12:54:26	5.4	70.9	39.2	4.3	17.6	442
12:54:36	5.4	70.9	39.2	4.2	17.6	252
12:54:46	5.1	70.9	39.2	4.2	17.6	374
12:54:56	4.9	70.9	39.2	4.3	17.6	406

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
12:55:06	4.6	70.9	39.2	4.2	17.7	363
12:55:16	4.6	70.9	39.2	4.2	17.6	334
12:55:26	4.4	70.9	39.2	4.2	17.6	468
12:55:36	4.1	70.9	39.2	4.1	17.6	270
12:55:46	3.8	71.1	39.2	4.2	17.6	378
12:55:56	3.6	71.1	39.4	4.2	17.6	442
12:56:06	3.3	70.9	39.4	4.1	17.7	363
12:56:16	3.1	71.1	39.4	4.1	17.6	363
12:56:26	2.8	71.1	39.2	4.2	17.6	399
12:56:36	2.5	70.9	39.4	4.0	17.7	262
12:56:46	2.5	70.9	39.4	4.1	17.5	205
12:56:56	2.3	70.9	39.4	4.1	17.6	439
12:57:06	2.3	71.1	39.4	4.0	17.7	306
12:57:16	2.0	70.9	39.4	4.1	17.6	284
12:57:26	1.8	70.9	39.4	4.1	17.7	442
12:57:36	1.8	70.9	39.4	4.0	17.7	306

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
12:57:46	1.5	70.9	39.4	4.0	17.6	388
12:57:56	1.2	70.9	39.4	4.0	17.6	410
12:58:06	1.0	70.9	39.4	3.9	17.7	327
12:58:16	1.0	70.9	39.4	4.0	17.5	378
12:58:26	1.0	70.9	39.4	4.0	17.5	414
12:58:36	0.7	70.9	39.4	3.9	17.6	406
12:58:46	0.7	70.9	39.4	4.0	17.5	334
12:58:56	0.7	70.9	39.4	4.0	17.6	410
12:59:06	0.5	70.9	39.4	3.8	17.7	270
12:59:16	0.5	70.9	39.4	3.9	17.6	273
12:59:26	0.2	70.9	39.4	3.9	17.6	399
12:59:36	0.2	70.6	39.4	3.8	17.6	316
12:59:46	0.0	70.9	39.4	3.9	17.5	396
12:59:56	-0.2	70.6	39.4	3.8	17.4	406
13:00:06	-0.2	70.6	39.4	3.7	17.5	291
13:00:16	-0.2	70.6	39.4	3.8	17.5	414

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:00:26	-0.2	70.6	39.4	3.9	17.5	410
13:00:36	-0.2	70.6	39.4	3.7	17.6	313
13:00:46	-0.2	70.6	39.2	3.8	17.5	345
13:00:56	-0.5	70.6	39.2	3.8	17.5	446
13:01:06	-1.0	70.6	39.4	3.7	17.6	273
13:01:16	-1.2	70.6	39.4	3.8	17.5	331
13:01:26	-1.2	70.3	39.4	3.7	17.5	396
13:01:36	-1.5	70.3	39.4	3.4	17.6	313
13:01:46	-1.8	70.6	39.2	3.3	17.5	399
13:01:56	-1.8	70.6	39.4	3.2	17.3	403
13:02:08	-1.8	70.6	39.2	2.9	17.2	385
13:02:18	-1.8	70.6	39.2	2.7	17.0	381
13:02:28	-1.5	70.9	39.2	2.7	16.8	338
13:02:38	-1.5	70.9	38.9	2.6	16.7	370
13:02:48	-1.2	71.1	38.9	2.7	16.6	309
13:02:58	-1.0	71.4	38.7	2.6	16.6	424

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:03:08	-0.7	71.9	38.7	2.5	16.0	0
13:03:18	-0.2	71.9	38.1	3.9	15.5	54
13:03:28	0.2	72.2	37.9	3.3	16.3	414
13:03:38	0.2	71.6	37.4	2.3	16.4	36
13:03:48	0.2	71.4	37.1	3.3	15.2	187
13:03:58	0.7	71.4	36.8	3.8	15.7	453
13:04:08	1.0	71.1	36.6	3.7	16.4	223
13:04:18	1.5	70.9	36.3	4.3	16.6	399
13:04:28	2.0	70.9	36.3	4.6	16.7	446
13:04:38	2.5	70.9	36.3	4.3	17.0	367
13:04:48	3.3	70.9	36.3	4.4	16.8	302
13:04:58	4.1	70.6	36.6	4.3	16.8	457
13:05:08	4.6	70.3	36.6	4.3	16.9	435
13:05:18	4.9	70.3	36.6	4.6	16.9	414
13:05:28	5.1	70.1	36.6	4.6	16.9	392
13:05:38	5.4	70.1	36.8	4.5	17.0	406

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:05:48	5.9	69.8	36.8	4.5	17.0	432
13:05:58	5.9	69.8	36.8	4.6	17.0	435
13:06:08	5.9	69.8	36.8	4.5	17.0	464
13:06:18	6.2	69.8	36.8	4.6	16.9	417
13:06:28	6.4	69.8	36.8	4.6	17.0	424
13:06:38	6.7	69.6	37.1	4.6	17.1	417
13:06:48	7.0	69.8	37.1	4.7	17.0	378
13:06:58	7.0	69.8	37.1	4.7	17.1	424
13:07:08	7.2	69.6	37.1	4.6	17.0	421
13:07:18	7.5	69.6	37.4	4.7	17.0	378
13:07:28	7.5	69.6	37.4	4.6	17.1	424
13:07:38	7.7	69.6	37.4	4.8	17.2	414
13:07:48	7.7	69.6	37.6	4.8	17.2	306
13:07:58	8.0	69.6	37.6	4.8	17.3	453
13:08:08	8.0	69.6	37.6	4.7	17.2	360
13:08:18	8.0	69.6	37.9	4.7	17.3	460

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:08:28	8.0	69.8	37.9	4.8	17.3	291
13:08:38	8.3	69.8	37.9	4.7	17.3	464
13:08:48	8.3	69.8	38.1	4.8	17.3	442
13:08:58	8.3	69.8	38.1	4.7	17.2	435
13:09:08	8.5	69.8	38.1	4.7	17.2	435
13:09:18	8.5	69.8	38.1	4.7	17.2	489
13:09:28	8.5	69.8	38.1	4.8	17.3	432
13:09:38	8.8	70.1	38.1	4.9	17.3	302
13:09:48	8.8	70.1	38.1	4.9	17.4	392
13:09:58	8.8	70.1	38.4	4.8	17.4	424
13:10:08	8.8	70.1	38.4	4.8	17.5	414
13:10:18	9.0	70.1	38.4	4.8	17.4	316
13:10:28	9.0	70.1	38.7	4.8	17.4	453
13:10:38	9.0	70.1	38.7	4.8	17.3	352
13:10:48	9.0	70.3	38.7	4.8	17.4	435
13:10:58	9.0	70.3	38.7	4.8	17.4	428

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:11:08	9.3	70.3	38.7	4.9	17.5	457
13:11:18	9.3	70.3	38.7	4.9	17.6	439
13:11:28	9.3	70.3	38.7	4.9	17.6	453
13:11:38	9.3	70.6	38.7	4.9	17.5	370
13:11:48	9.3	70.6	38.9	4.8	17.5	435
13:11:58	9.6	70.6	38.9	4.8	17.5	403
13:12:08	9.6	70.6	38.9	4.9	17.6	446
13:12:18	9.6	70.6	38.9	4.9	17.6	399
13:12:28	9.6	70.6	38.9	4.9	17.6	356
13:12:38	9.6	70.6	38.9	4.9	17.7	435
13:12:48	9.6	70.6	39.2	4.9	17.6	414
13:12:58	9.6	70.6	39.2	4.9	17.7	360
13:13:08	9.6	70.9	39.2	4.9	17.6	298
13:13:18	9.6	70.9	39.2	4.9	17.6	406
13:13:28	9.6	70.9	39.2	4.9	17.8	428
13:13:38	9.8	70.9	39.2	5.0	17.8	270

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:13:48	9.8	70.9	39.2	5.0	17.7	360
13:13:58	9.8	70.9	39.2	4.9	17.7	442
13:14:08	9.8	70.9	39.4	4.9	17.8	399
13:14:18	9.8	70.9	39.2	5.0	17.9	414
13:14:28	9.8	70.9	39.4	5.0	17.8	288
13:14:38	9.8	70.9	39.4	4.9	17.8	410
13:14:48	9.8	70.9	39.4	4.9	17.8	396
13:14:58	9.8	70.9	39.4	4.9	17.8	432
13:15:08	9.8	70.9	39.4	4.9	17.8	288
13:15:18	9.8	70.9	39.4	5.0	17.8	378
13:15:28	9.8	71.1	39.4	5.0	17.9	363
13:15:38	10.1	71.1	39.7	5.0	17.9	406
13:15:48	10.1	71.1	39.7	5.0	17.8	302
13:15:58	10.1	71.1	39.7	4.9	17.8	356
13:16:08	10.1	71.1	39.7	4.9	17.7	432
13:16:18	10.1	71.1	39.7	4.9	17.7	428

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:16:28	10.1	71.1	39.7	4.9	17.7	360
13:16:38	10.3	71.1	39.7	4.9	17.7	417
13:16:48	10.3	71.1	39.7	5.0	17.8	406
13:16:58	10.3	71.4	39.7	5.0	17.9	363
13:17:10	10.3	71.4	39.7	5.0	17.8	316
13:17:19	10.3	71.4	39.7	4.9	17.8	414
13:17:30	10.3	71.4	39.7	4.9	17.8	396
13:17:39	10.3	71.4	39.7	4.9	17.8	410
13:17:50	10.3	71.4	39.7	5.0	17.8	396
13:18:00	10.3	71.4	39.7	5.0	17.8	360
13:18:10	10.3	71.4	39.7	4.9	17.8	478
13:18:20	10.6	71.4	39.7	5.0	17.8	324
13:18:30	10.6	71.4	39.7	4.9	17.7	460
13:18:40	10.6	71.4	39.7	4.9	17.7	453
13:18:49	10.6	71.4	39.7	4.9	17.7	378
13:19:00	10.6	71.4	39.7	4.9	17.6	334

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:19:09	10.6	71.4	39.7	4.9	17.6	453
13:19:20	10.6	71.4	39.4	4.9	17.6	414
13:19:30	10.6	71.4	39.4	4.9	17.6	417
13:19:40	10.6	71.4	39.4	5.0	17.6	414
13:19:50	10.6	71.4	39.4	5.0	17.7	439
13:20:00	10.6	71.4	39.4	5.0	17.8	316
13:20:10	10.9	71.4	39.4	5.0	17.9	388
13:20:20	10.6	71.6	39.4	5.1	17.9	363
13:20:30	10.6	71.6	39.7	5.0	18.0	410
13:20:39	10.6	71.6	39.7	5.0	18.0	381
13:20:50	10.9	71.6	39.7	5.0	17.9	439
13:21:00	10.6	71.6	40.0	4.9	18.0	414
13:21:10	10.6	71.9	40.0	5.0	17.9	417
13:21:20	10.6	71.9	40.0	5.0	17.8	352
13:21:30	10.6	71.9	40.0	5.0	18.0	396
13:21:40	10.9	71.9	40.0	5.0	17.9	338

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:21:49	10.9	71.9	40.0	5.0	17.9	453
13:22:00	10.6	71.9	40.0	4.9	17.9	417
13:22:10	10.9	71.9	40.0	5.0	18.0	478
13:22:19	10.9	71.9	40.0	5.1	17.9	324
13:22:30	10.9	72.2	40.0	5.0	17.9	403
13:22:39	10.9	72.2	40.2	4.9	17.9	442
13:22:50	10.9	72.2	40.2	5.0	17.9	374
13:23:00	10.9	72.2	40.2	5.0	17.8	316
13:23:09	10.9	72.2	40.0	5.0	17.9	464
13:23:19	10.9	72.2	40.2	5.0	17.9	327
13:23:30	10.9	72.2	40.0	5.0	17.8	403
13:23:40	10.9	72.2	40.0	5.0	17.8	388
13:23:50	10.9	72.2	40.2	4.9	17.8	370
13:24:00	10.9	72.2	40.0	5.0	18.0	435
13:24:09	10.9	72.4	40.0	5.1	17.9	270
13:24:20	10.9	72.2	40.2	5.0	18.0	399

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:24:30	10.9	72.4	40.2	5.0	18.0	360
13:24:39	10.9	72.4	40.0	5.0	18.1	424
13:24:49	10.9	72.4	40.2	5.1	18.0	338
13:25:00	10.9	72.4	40.0	5.0	18.1	428
13:25:10	10.9	72.4	40.2	5.0	18.1	417
13:25:20	10.9	72.4	40.2	5.0	18.1	385
13:25:30	10.9	72.7	40.2	5.0	18.1	388
13:25:40	10.9	72.4	40.2	5.0	18.1	417
13:25:50	11.1	72.7	40.2	5.0	18.1	388
13:26:00	11.1	72.7	40.2	5.0	18.1	428
13:26:10	11.1	72.7	40.2	5.0	18.1	284
13:26:20	11.1	72.7	40.2	5.0	18.1	435
13:26:30	11.1	72.7	40.2	5.0	18.1	385
13:26:39	10.9	72.7	40.2	5.0	18.1	406
13:26:50	10.9	72.7	40.2	5.0	18.1	385
13:26:59	11.1	72.7	40.2	5.0	18.1	424

Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (continuação)

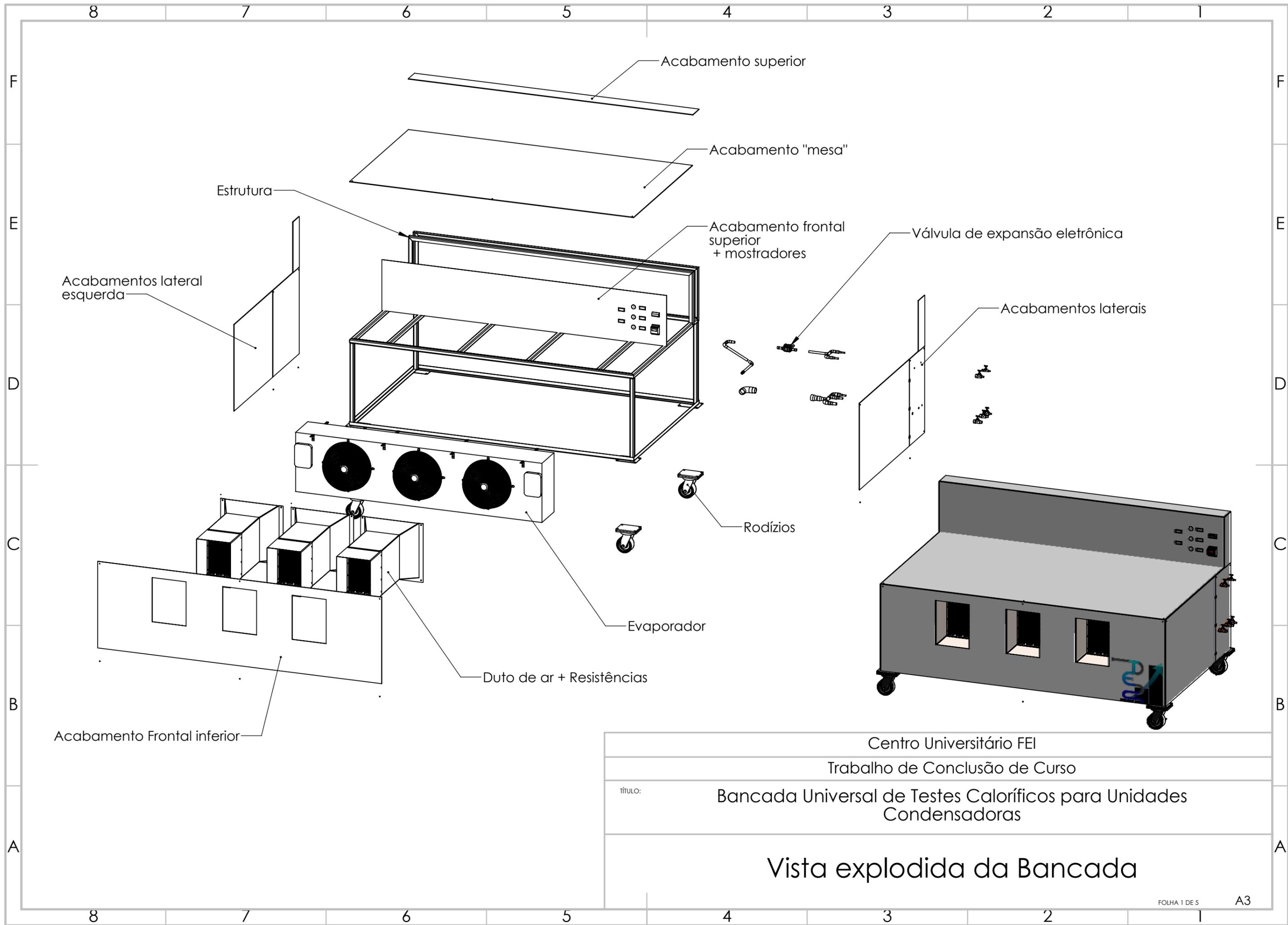
<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:27:09	11.1	72.9	40.5	5.0	18.3	396
13:27:19	11.1	72.9	40.5	5.1	18.2	244
13:27:30	11.1	72.9	40.5	5.0	18.2	385
13:27:40	11.1	72.9	40.5	5.1	18.2	331
13:27:50	11.1	72.9	40.5	5.0	18.1	338
13:27:59	11.1	72.9	40.5	4.9	18.1	435
13:28:10	10.9	72.9	40.5	5.0	18.0	450
13:28:20	11.1	72.9	40.5	5.0	18.1	421
13:28:30	11.1	72.9	40.5	5.0	17.9	327
13:28:39	11.1	72.9	40.5	5.0	18.1	496
13:28:49	11.1	72.9	40.5	5.1	18.1	352
13:29:00	11.1	72.9	40.5	5.1	18.2	349
13:29:10	11.1	72.9	40.2	5.1	18.3	388
13:29:20	11.1	72.9	40.5	5.1	18.2	414
13:29:29	11.1	73.2	40.5	5.0	18.2	442
13:29:39	11.1	73.2	40.5	5.0	18.1	399

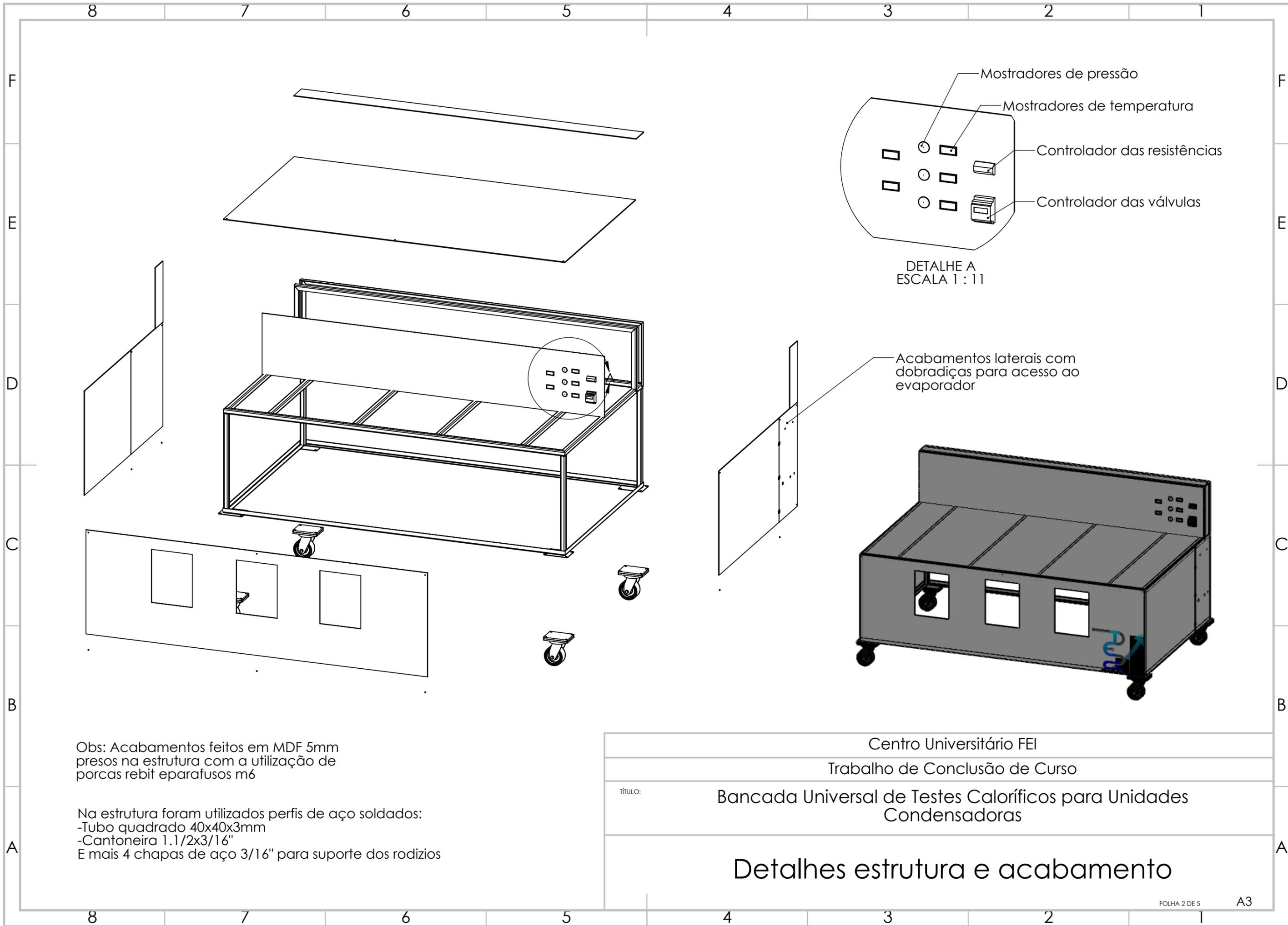
Tabela 12 – Dados completos do ensaio realizado na Danfoss (conclusão)

<b>Horário</b>	<b>T Suc (C°)</b>	<b>T Desc (C°)</b>	<b>T Liq (C°)</b>	<b>P Suc (Bar)</b>	<b>P Desc (Bar)</b>	<b>Vazão (kg/h)</b>
13:29:50	11.1	72.9	40.5	5.0	18.1	435
13:29:59	11.1	73.2	40.5	5.0	18.1	464
13:30:09	11.1	73.2	40.5	5.0	18.1	388
13:30:20	11.4	73.2	40.5	5.0	18.1	424
13:30:30	11.4	73.2	40.5	5.1	18.2	370
13:30:39	11.4	73.2	40.5	5.1	18.1	374
13:30:50	11.4	73.2	40.5	5.0	18.2	428
13:30:59	11.4	73.5	40.5	5.0	18.2	414
13:31:10	11.4	73.5	40.5	5.0	18.2	417
13:31:20	11.4	73.5	40.5	5.0	18.2	410
13:31:30	11.4	73.5	40.5	5.0	18.2	396
13:31:40	11.4	73.5	40.5	5.0	18.2	421
13:31:50	11.4	73.5	40.5	5.0	18.2	334
13:32:00	11.4	73.5	40.5	5.0	18.2	424
13:32:11	11.4	73.5	40.5	5.0	18.2	0

Fonte: Autores

## APÊNDICE C – DESENHOS TÉCNICOS

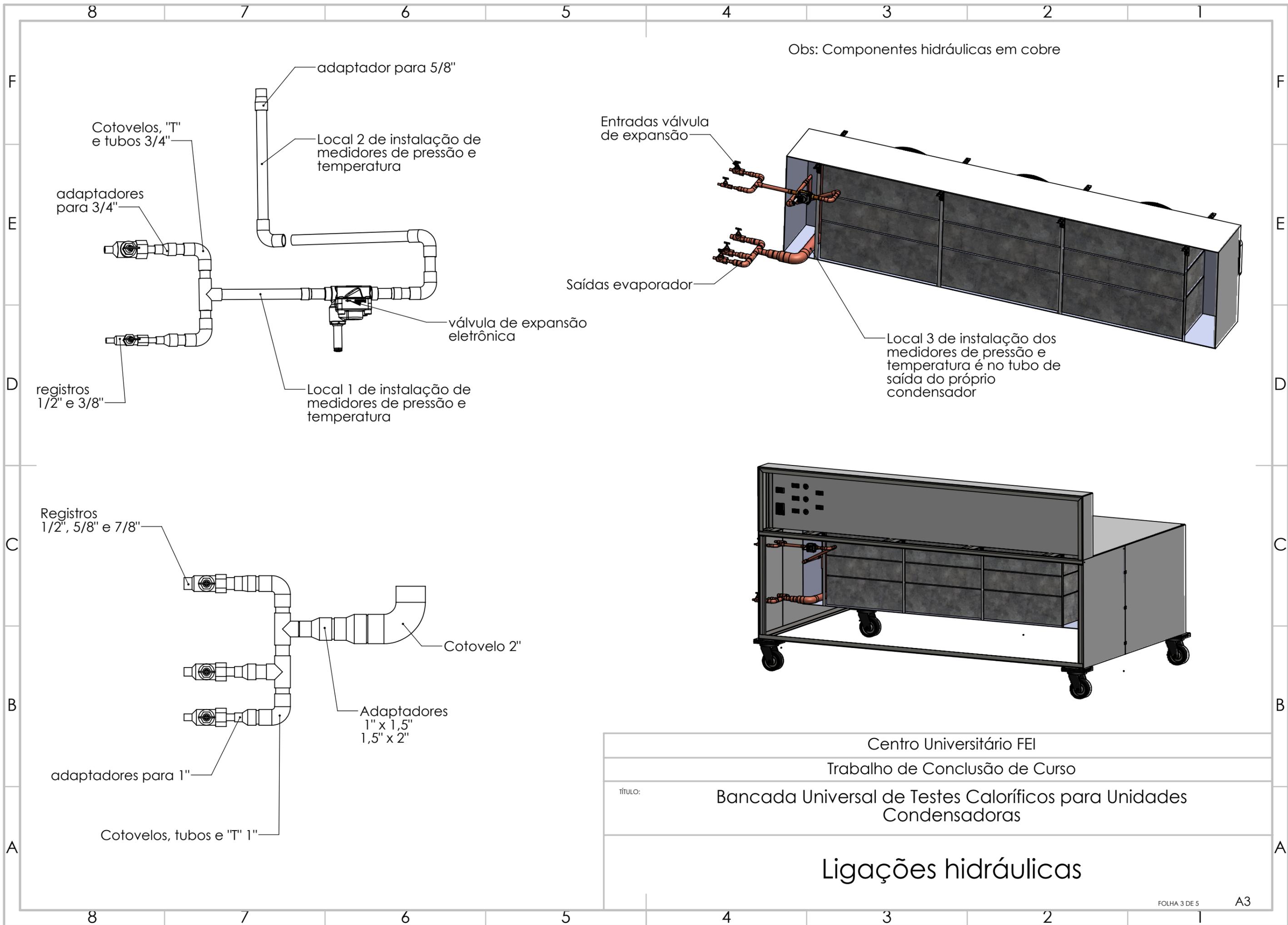


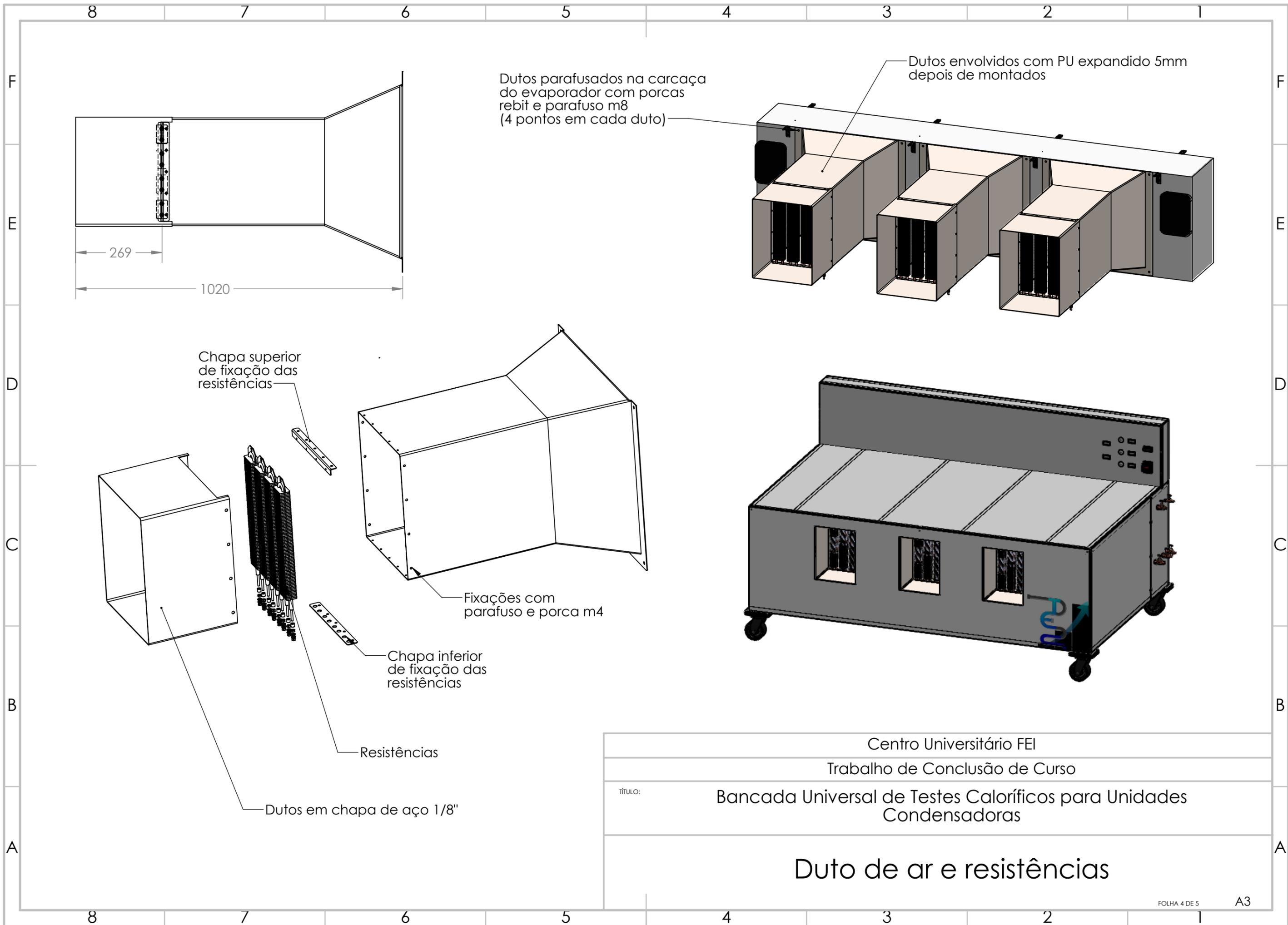


Obs: Acabamentos feitos em MDF 5mm presos na estrutura com a utilização de porcas rebite e parafusos m6

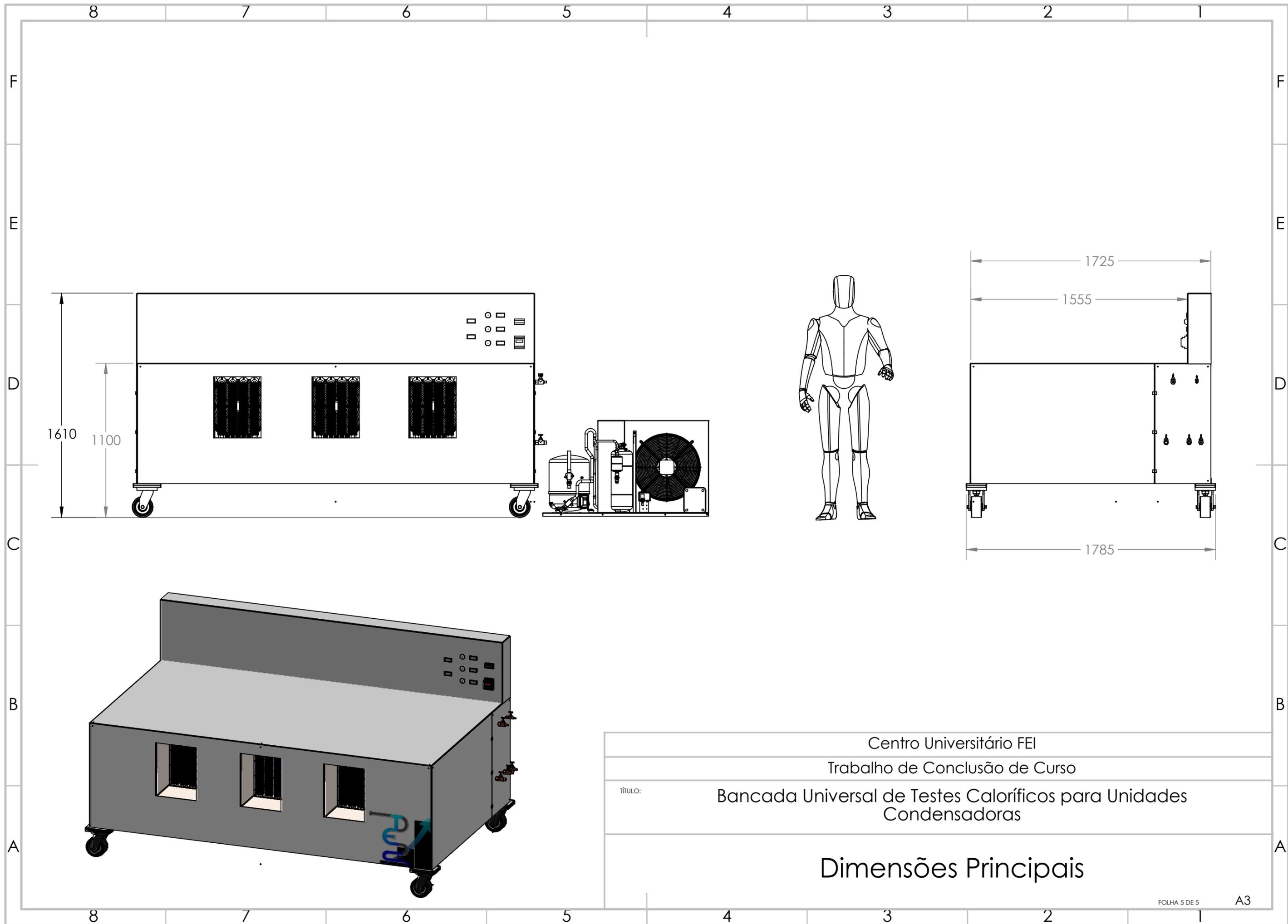
Na estrutura foram utilizados perfis de aço soldados:  
 -Tubo quadrado 40x40x3mm  
 -Cantoneira 1.1/2x3/16"  
 E mais 4 chapas de aço 3/16" para suporte dos rodízios

	Centro Universitário FEI
	Trabalho de Conclusão de Curso
TÍTULO:	Bancada Universal de Testes Caloríficos para Unidades Condensadoras
	Detalhes estrutura e acabamento





	Centro Universitário FEI
	Trabalho de Conclusão de Curso
TÍTULO:	Bancada Universal de Testes Caloríficos para Unidades Condensadoras
	Duto de ar e resistências



	Centro Universitário FEI
	Trabalho de Conclusão de Curso
TÍTULO:	Bancada Universal de Testes Caloríficos para Unidades Condensadoras
	Dimensões Principais

## **ANEXO A – COTAÇÕES DOS COMPONENTES DA BANCADA**

**CAPITAL COMERCIO DE REFRIGERACAO LTDA**

R GUAIAUNA, 358 A 388 GUAIAUNA  
SAO PAULO / SP - CEP: 03631-000  
TEL: 11 2090-9300  
CNPJ: 51.553.063/0001-06 - I.E.: 110156529111  
[capital@capitalrefrig.com.br](mailto:capital@capitalrefrig.com.br)

**COTAÇÃO**  
**00249833**  
VERSÃO: 1  
24/09/2022

Cliente: **JEI INDUSTRIA METALURGICA LTDA**  
CNPJ/CPF: **56.636.376/0001-41** IE: 442077690110  
Contato: BRUNO  
Telefone: 11 4547-6003 Fax: 11 4547-6031  
E-mail: [bruno@jea.com.br](mailto:bruno@jea.com.br)

Faturamento: R RINALDO CHIAROTTI, 407 \*\*\*\*\* SERTAOZINHO  
MAUA / SP - CEP: 09370-842  
Entrega: R RINALDO CHIAROTTI, 407 \*\*\*\*\* - SERTAOZINHO  
MAUA / SP - CEP: 09370-842

Forma pagto: BOLETO ITAU (RETIRA)  
Cond. pagto: 28 DDL  
Tipo de frete: 1 - Frete emitente a destacar  
Transportadora: NOSSO CARRO  
Pedido cliente:  
Cotação cliente:

ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	COD. REFERÊNCIA	MARCA	UN	NCM	% ICMS	PREÇO UNIT.	% IPI	VL. ICMS ST UNIT	PREÇO UNIT C/ IMPOSTOS	VL. TOTAL C/ IMPOSTOS	PRAZO DE ENTREGA
1	1	FORCADOR ELGIN FMA475 S/RST 220V-3F 60HZ (4)	24039	ELGIN	UN	84189900	13,30	12.463,6613	0,00	0,0000	12.463,6613	12.463,66	COMBINAR
2	1	FORCADOR ELGIN FMA464 S/RST 220V-3F 60HZ (4)	24021	ELGIN	UN	84189900	13,30	8.987,2165	0,00	0,0000	8.987,2165	8.987,22	COMBINAR
3	1	FORCADOR ELGIN FMA670 S/RST 220V-3F 60HZ (5)	24023	ELGIN	UN	84189900	13,30	13.703,1639	0,00	0,0000	13.703,1639	13.703,16	COMBINAR
4	1	FORCADOR MIPAL HD208A S/RESIST. 380V (3)	15924	MIPAL	UN	84189900	13,30	18.392,7585	0,00	0,0000	18.392,7585	18.392,76	COMBINAR
5	1	HDL 198 SEM DEGEL0 380V (4)					13,30	21.429,0966	0,00	0,0000	21.429,0966	21.429,10	COMBINAR
6	1	VALV EXP TERM DANF TS2 N R404A/R507 ROSCA S/ MOP	1256	DANFOSS	UN	84818021	0,00	376,4925	0,00	0,0000	376,4925	376,49	COMBINAR
7	1	VALV EXP ELET DANF AKV15 (2) 3/4X3/4 S	13355	DANFOSS	UN	84818021	0,00	3.447,4980	0,00	0,0000	3.447,4980	3.447,50	COMBINAR
8	1	UC OPTYMA HJZ019D20Q 1.1/2 220V 3F R404/R507M/HBP	19503	DANFOSS	UN	84186940	18,00	4.997,0948	0,00	0,0000	4.997,0948	4.997,09	COMBINAR
9	1	UC OPTYMA HJZ064D20Q 5.1/2 220V 3F R404/R507M/HBP	19531	DANFOSS	UN	84186940	18,00	8.721,0379	0,00	0,0000	8.721,0379	8.721,04	COMBINAR
10	5	CONTROLADOR DANFOSS EKC 315A P/AKV/TQ 084B7086	22095	DANFOSS	UN	85371020	18,00	16.680,3275	0,00	0,0000	16.680,3275	83.401,64	COMBINAR

MOEDA: R\$  
PESO: 457,060 KG  
VALIDADE: 30/09/2022

SUBTOTAL: 175.919,66  
ICMS ST: 0,00  
IPI: 0,00  
FRETE: 104,03  
ENCARGOS: 0,00  
**TOTAL: 176.023,69**

**MENSAGENS**

- Orçamento sujeito a alteração de preço sem aviso prévio. Validade da cotação apenas utilizado para controle interno.
- Os preços acima seguem com todos os impostos inclusos para todos os estados do Brasil.
- Ficha cadastral sujeito a aprovação de crédito.
- Favor enviar a formalização do orçamento devidamente assinado.
- Orçamentos de tubulação de cobre são apresentados com valores aproximados. Na aprovação o pedido será gerado com o peso exato.
- Pedidos pagos com depósito bancário serão liberados conforme regra: Tipo PIX, TED e transferência no mesmo dia. Tipo DOC no dia seguinte da operação. Favor enviar comprovante para o e-mail do seu vendedor.
- Chave PIX - Filial SP: 51553063000106

**RENAN\***

Telefone: 11 2090-9319  
Fax: 11 2090-9300  
Celular: 11 2090-9319  
Email: [renan@capitalrefrig.com.br](mailto:renan@capitalrefrig.com.br)

**BANDEIRANTES REFRIGERAÇÃO COMERCIAL LTDA**

RUA CARLOS GOMES , 690 - SANTO AMARO - SAO PAULO - SP / CEP: 04743050

Fone: 551121427373

Fax: 11 56871486

CNPJ: 59248195000136

Insc. Est.: 112153164119

**Pedido de Orçamento****188670**Site: <http://www.bandeirantesrefrigeracao.com.br>**Dados do Cliente:****Razão Social:** JEA INDUSTRIA METALURGICA LTDA**Endereço:** RUA RINALDO CHIAROTTI**Número:** 407 **Bairro:** SERTAOZINHO**CEP:** 09372060**Cidade:** MAUA**Estado:** SP**CNPJ:** 56636376000141**Insc. Est.:** 442077690110**Fone:** 1145476000**Seu Pedido:** BRUNO SOUZA**Vendedor:** RODRIGO ITAYA**E-mail:** [rodrigo.itaya@bandeirantesrefrigeracao.com.br](mailto:rodrigo.itaya@bandeirantesrefrigeracao.com.br)**Dados da Transportadora:****Tipo de Frete:** DESTINATARIO**Transportadora:** RETIRA**CNPJ/CPF:****Fone:****Endereço de entrega:** RUA RINALDO CHIAROTTI**Número:** 407**Bairro:** SERTAOZINHO**CEP:** 09372060**Cidade:** MAUA**Estado:** SP**Condição de Pagto.:** A VISTA

Prod.	Unid.	Qtd.	Descrição do Produto	C.Fiscal	CFOP	ICMS	CST	Unit.	Total
19-0658	PC	1,000	VALV. EXP. DANFOSS T2 (TX2) ROSCA S/ ORIFICIO R22	84818021	540500	0%	260	375,00	375,00
19-1213	PC	1,000	VALV. EXP. DANFOSS T2 (TX2) SOLDA S/ ORIFICIO R22	84818021	540500	0%	260	358,00	358,00
19-1451	PC	1,000	VALV. EXP. DANFOSS AKV 15-2	84818021	540500	0%	260	3.243,92	3.243,92
19-1971	PC	1,000	UNID. COND. DANFOSS HJZ019D20Q	84186940	510200	18%	500	7.584,82	7.584,82
19-1989	PC	1,000	UNID. COND. DANFOSS HJZ064D20Q	84186940	510200	18%	500	10.514,29	10.514,29
19-1396	PC	1,000	CONTROLADOR DANFOSS EKC315A	90328982	510200	12%	200	13.975,78	13.975,78
09-0300	PC	1,000	EVAPORADOR MIPAL HD400 0208 SEM DEGELO 380V	84189900	510200	12%	500	16.779,75	16.779,75
09-0312	PC	1,000	EVAPORADOR MIPAL HDL400 0198 SEM DEGELO 380V	84189900	540500	0%	060	21.094,06	21.094,06
32-0446	PÇ	1,000	EVAPORADOR ELGIN DTML EFMA475	84189900	540500	0%	560	12.943,75	12.943,75
32-0446	PÇ	1,000	EVAPORADOR ELGIN DTML EFMA464	84189900	540500	0%	560	11.218,02	11.218,02
32-0446	PÇ	1,000	EVAPORADOR ELGIN DTML EFMA562	84189900	540500	0%	560	12.352,99	12.352,99
32-0446	PÇ	1,000	EVAPORADOR ELGIN DTML EFMA572	84189900	540500	0%	560	14.968,62	14.968,62

**BANDEIRANTES REFRIGERAÇÃO COMERCIAL LTDA**

RUA CARLOS GOMES , 690 - SANTO AMARO - SAO PAULO - SP / CEP: 04743050

Fone: 551121427373

Fax: 11 56871486

CNPJ: 59248195000136

Insc. Est.: 112153164119

Site: <http://www.bandeirantesrefrigeracao.com.br>**Pedido de Orçamento**  
**188670**

Prod.	Unid.	Qtd.	Descrição do Produto	C.Fiscal	CFOP	ICMS	CST	Unit.	Total
32-0446	PÇ	1,000	EVAPORADOR ELGIN DTML EFMA670	84189900	540500	0%	560	14.456,66	14.456,66

**Valor Total: 139.865,66****Observações:**

ORÇAMENTO PARCIAL

ICMS RECOLHIDO POR SUBSTITUIÇÃO TRIBUTARIA NOS TERMOS DO ARTIGO 313

Z-19 DO RICMS/SP E ITEM 107 DO ANEXO XXII DA PORTARIA CAT Nº 68/2019

RICMS/2000.

ALIQUOTA 12% ICMS COM RES SF 40 DE 13.11.95

OBS: Condição de pagamento 28 dias SOMENTE após aprovação do cadastro.

O material estará disponível para coleta 05 dias úteis após o pagamento.

MENOS os seguintes itens: Control. Danf.EKC315A ( 60 dias corridos)/

Evap. Mipal HD400 0208 (30 dias corridos)/ Evap. Mipal HD400 0198 (30 dias corridos)

Evaporadoras Elgin 475/464/562/572/670. (20 dias úteis)

\_\_\_\_\_  
Vendedor\_\_\_\_\_  
Comprador