

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA INSTITUTO
TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE CURSO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA SISTEMA
DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPORES

Por

Rhuan Fagundes da Silva

Campos dos Goytacazes - RJ

Junho / 2023

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA INSTITUTO
TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE CURSO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA SISTEMA
DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPORES

Por

Rhuan Fagundes da Silva

Projeto Final de Curso apresentado em
cumprimento às exigências para obtenção do
grau no Curso de Graduação em Engenharia
Mecânica nos Institutos Superiores de Ensino
do CENSA.

Orientador: Alecsander Teixeira dos Santos – Esp.

Campos dos Goytacazes – RJ

Junho / 2023

Ficha Catalográfica

Silva, Rhuan Fagundes da

Projeto Mecânico de uma Bancada Didática para Sistema de Refrigeração por Compressão a Vapores / Rhuan Fagundes da Silva - Campos dos Goytacazes (RJ), 2023.

45 f.: il.

Orientador: Prof. Alecsander Teixeira dos Santos
Graduação em (Engenharia Mecânica) - Institutos Superiores de Ensino do CENSA, 2023.

1. Engenharia Mecânica. 2. Termodinâmica. 3. Ciclo de Refrigeração.
4. Banca Didática I. Título.

CDD 621.402.1

PROJETO MECÂNICO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA SISTEMA
DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPORES

Por

Rhuan Fagundes da Silva

Projeto Final de Curso apresentado em
cumprimento às exigências para obtenção do
grau no Curso de Graduação em Engenharia
Mecânica nos Institutos Superiores de Ensino
do CENSA.

Aprovado em 27 de JUNHO de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Alecsander Teixeira dos Santos – Esp. – ISECENSA



André Machado Ribeiro de Souza, MSc. – ISECENSA



Francisco de Assis Léo Machado, DSc. – ISECENSA

DEDICATÓRIA

Dedico a todos que me incentivaram nessa jornada, principalmente à minha família que não me deixaram desistir durante o percurso.

Gostaria de expressar minha gratidão ao Curso de Engenharia Mecânica da instituição Superior de Ensino do CENSA, assim como às pessoas com quem compartilhei esses anos, como professores, colegas e coordenadores com um agradecimento especial ao Alecsander Teixeira dos Santos. A experiência de colaborar na produção conjunta e na convivência com amigos nesses ambientes foi o ponto mais destacado e enriquecedor da minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pois por permissão dele cheguei até aqui.

Agradeço aos meus pais, Altair Gomes da Silva e Rosimery Brito Fagundes da Silva, e ao meu irmão, Andrey Fagundes da Silva, pois sem eles não teria conseguido, foram fundamentais me dando todo incentivo e apoio necessário para essa conquista. Vocês são essenciais em minha vida.

Aos familiares que sempre incentivaram, em momentos difíceis da vida acadêmica.

Aos amigos que fiz durante a jornada acadêmica, Ícaro Azevedo, Luan Berenger, Luiz Claudio Cardoso, levarei a amizade para sempre, muito obrigado por todo apoio.

Ao meu orientador, Alecsander Teixeira dos Santos, por sempre estar disposto a ajudar e passar todo conhecimento necessário e que foi fundamental para meu crescimento acadêmico.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

COP.....	Coeficiente de Potência
C.....	Graus Celsius
ABRAVA.....	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento
Q.....	Quantidade de Calor
Q _{ev}	Quantidade de calor retirado do evaporador
T.....	Trabalho
W.....	Trabalho
ΔU	Variação de Energia Interna
CFCs.....	Clorofluorcarbonetos
HCFCs.....	Hidroclorofluorcarbonos
HFCs.....	Hidrofluorcarbonos
HFOs.....	Hidrofluorolefinas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de refrigeração por absorção.	20
Figura 2 - Sistema refrigeração por compressão de vapores.....	21
Figura 3 – Compressor	25
Figura 4 - Motor ventilador escolhido.....	26
Figura 5 - Válvula agulha escolhida.....	27
Figura 6 - Manômetro de Alta Pressão	28
Figura 7 - Manômetro de Baixa Pressão	28
Figura 8 - Esquema da bancada.....	30
Figura 9 - Compressor Instalado	31
Figura 10 - Condensador Instalado	31
Figura 11 - Evaporador Instalado.....	32
Figura 12 - Motor Ventilador Instalado	32
Figura 13 - Conexões Elétricas 1	33
Figura 14 – Conexões Elétrica 2	33
Figura 15 - Medidor de Alta Pressão Instalado	34
Figura 16 - Medidor de Baixa Pressão Instalado	34
Figura 17 - Válvula de Expansão (Capilares) Instalado	35
Figura 18 - Válvulas Agulhas Instaladas	36
Figura 19 - Pontos de Soldas Realizadas	37
Figura 20 - Solda Foscooper	37
Figura 21 - Manifold	38
Figura 22 - Introdução de Gás Refrigerante	39
Figura 23 - Testes Finais	39
Figura 24 - Bancada em funcionamento.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Informativo do Filtro	26
Quadro 2- Comparativo entre Capilares	40

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Primeira Lei da Termodinâmica.	19
Equação 2: Coeficiente de Eficácia.	22

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivo geral	17
1.1.1 Objetivos específicos	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Refrigeração	18
2.2 Termodinâmica.....	18
2.2.1 Primeira Lei da Termodinâmica	18
2.2.2 Segunda Lei da Termodinâmica.....	19
2.3 Ciclo de refrigeração.....	19
2.3.1 Ciclo de Refrigeração Por Absorção	20
2.3.2 Ciclo de Refrigeração Termoelétrico	20
2.3.3 Ciclo de Refrigeração Por compressão Vapores	21
2.4 Coeficiente de eficácia.....	21
2.5 Compressores	22
2.6 Condensador	22
2.6.1 Condensadores resfriados a ar	22
2.7 Válvula de expansão	23
2.8 Evaporador	23
2.9 Termostato	23
2.10 Líquidos refrigerantes ou fluido frigorigéneo	24
3. METODOLOGIA.....	24
3.1 Materiais	24
3.1.1 Compressor	25
3.1.2 Condensador	25
3.1.3 Motor ventilador	26
3.1.4 Filtro Secador	26
3.1.5 Dispositivo de expansão	27
3.1.6 Evaporador	27
3.1.7 Válvula agulha	27

3.1.8 Visor de líquido ¼ solda danfoss.....	28
3.1.9 Manômetros.....	28
3.1.10 Termômetro	29
3.1.11 Tubos de cobre	29
3.1.12 Bancada	29
3.2 Métodos	30
3.2.1 Definição do layout	30
3.2.2 Fixação do compressor	31
3.2.3 Instalação do condensador	31
3.2.4 Instalação do evaporador	32
3.2.4 Instalação do motor ventilador	32
3.2.5 Conexão elétrica	33
3.2.6 Instalação de sensores e Medidores	34
3.2.7 Sistema de controle	35
3.2.8 instalação da válvula de expansão (capilares)	35
3.2.9 instalação das Válvulas	35
3.2.10 Soldas realizadas	36
3.2.11 Colocação de LÍQUIDO refrigerante.....	38
3.2.12 Teste e ajustes	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5. CONCLUSÃO	42
6. REFERÊNCIAS	45

PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPORES

Rhuan Fagundes da Silva^{1*}, Alecsander Teixeira dos Santos¹

RESUMO

Este Projeto final de curso tem como objetivo auxiliar no aprendizado da disciplina de Máquinas Térmicas no curso de Engenharia Mecânica dos Institutos Superiores de Ensino do CENSA. O projeto consiste no desenvolvimento de uma bancada didática de refrigeração por compressão de vapor, que permite a manipulação dos componentes, a realização de experimentos e a compreensão dos fenômenos envolvidos em um ciclo de refrigeração. A revisão bibliográfica aborda o uso de gases refrigerantes ao longo do tempo, desde os CFCs até os HFOs mais sustentáveis. A refrigeração moderna é essencial em setores como alimentos, medicamentos e transporte, e tem evoluído em termos de eficiência e conforto. A termodinâmica é apresentada como a base teórica para entender os processos de refrigeração. A primeira lei da termodinâmica enfatiza a conservação da energia, enquanto a segunda lei destaca a diminuição da qualidade da energia nos processos reais. O ciclo de refrigeração é explicado como um sistema projetado para remover calor de um espaço com baixo potencial energético e transferi-lo para um espaço com alto potencial energético. São discutidos três tipos de ciclos de refrigeração: absorção, termoelétrico e por compressão de vapores. O ciclo de refrigeração por compressão de vapores é o mais comumente utilizado e é composto por um compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador. O coeficiente de eficácia (COP) é introduzido como uma medida da eficiência do sistema de refrigeração. Os componentes individuais do sistema de refrigeração, como compressores, condensadores, válvulas de expansão, evaporadores e termostatos, são discutidos em detalhes, enfatizando suas funções e características específicas. Por fim, é ressaltada a importância da escolha adequada do líquido refrigerante, levando em consideração fatores como eficiência, custos e temperatura de operação. A metodologia utilizada consistiu em um estudo de caso realizado no Laboratório de Mecânica da Faculdade do ISECENSA, onde

foram dimensionados os componentes da bancada didática de refrigeração por compressão de vapor e realizados experimentos para validar o funcionamento do sistema. Com a implementação dessa bancada didática, espera-se motivar os alunos e proporcionar a aplicação prática dos conceitos teóricos, contribuindo para um processo de aprendizagem mais eficiente ¹na disciplina de Máquinas Térmicas.

Palavras-chave: Termodinâmica. Ciclo de refrigeração. Bancada didática.

¹ ¹Aluno Orientado – Curso de Engenharia Mecânica-Instituto Superior de Ensino do CENSA - ISECENSA Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28035-310, Brasil;
e-mail: williamneto@isecensa.edu.br

²Professor Orientador – Curso de Engenharia Mecânica - Instituto Superior de Ensino do CENSA - ISECENSA Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28035-310, Brasil;
e-mail: alecsandersantos@isecensa.edu.br

Design of an Educational Bench for Vapor Compression Refrigeration System

Rhuan Fagundes da Silva^{1*}, Alecsander Teixeira dos Santos¹

ABSTRACT

This final course project aims to assist in the learning of the Thermal Machines subject in the Mechanical Engineering program at the Higher Education Institutes of CENSA. The project involves the development of a didactic vapor compression refrigeration bench, which allows for the manipulation of components, conducting experiments, and understanding the phenomena involved in a refrigeration cycle. The literature review covers the use of refrigerant gases over time, from CFCs to more sustainable HFOs. Modern refrigeration is essential in sectors such as food, medicine, and transportation, and has evolved in terms of efficiency and comfort. Thermodynamics is presented as the theoretical basis for understanding refrigeration processes. The first law of thermodynamics emphasizes energy conservation, while the second law highlights the decrease in energy quality in real processes. The refrigeration cycle is explained as a system designed to remove heat from a space with low energy potential and transfer it to a space with high energy potential. Three types of refrigeration cycles are discussed: absorption, thermoelectric, and vapor compression. The vapor compression refrigeration cycle is the most commonly used and consists of a compressor, condenser, expansion valve, and evaporator. The coefficient of performance (COP) is introduced as a measure of the efficiency of the refrigeration system. Individual components of the refrigeration system, such as compressors, condensers, expansion valves, evaporators, and thermostats, are discussed in detail, emphasizing their specific functions and characteristics. And the importance of selecting the appropriate refrigerant fluid is highlighted, considering factors such as efficiency, costs, and operating temperature. The methodology used consisted of a case study conducted at the Mechanics Laboratory of the ISECENSA Faculty, where the components of the didactic vapor compression refrigeration bench were dimensioned, and experiments were carried out to validate the system's functionality. With the implementation of this didactic refrigeration bench, it is expected to motivate

students and provide practical application of theoretical concepts, contributing to a more efficient learning process in the Thermal Machines discipline.

Keywords: Thermodynamics. Refrigeration cycle. Educational bench.

² ¹Aluno Orientado – Curso de Engenharia Mecânica-Instituto Superior de Ensino do CENSA - ISECENSA
Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28035-310, Brasil;
e-mail williamneto@isecensa.edu.br

²Professor Orientador – Curso de Engenharia Mecânica - Instituto Superior de Ensino do CENSA - ISECENSA
Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28035-310, Brasil;
e-mail: alecsandersantos@isecensa.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista o grande número de alunos do curso de engenharia mecânica dos Institutos superiores de Ensino do CENSA, esse trabalho visa auxiliar no aprendizado da disciplina de Máquinas térmicas lecionada no oitavo período do curso.

Devido à dificuldade de compreensão dos fenômenos envolvidos, componentes do sistema e funcionamentos dos mesmos, o projeto traz inúmeros benefícios como associação da teoria com a prática, imersão profunda de conhecimento, incentivo a pesquisa e solução de problemas.

Por se tratar de uma bancada didática de pequeno porte, requer pouca energia, possibilitando a manipulação dos componentes, execução de experimentos e compreensão dos fenômenos envolvidos num ciclo de refrigeração por compressão de vapores.

Desse modo, o desenvolvimento desse projeto tem como finalidade estimular os alunos, possibilitando a aplicação dos conceitos teóricos na prática, acarretando de modo geral maior eficiência do processo de aprendizagem.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto de uma bancada didática de refrigeração por compressão de vapor, dimensionando seus componentes, instrumentos de medição e controle.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Definir os componentes do sistema;
- ✓ Montagem da bancada didática

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de gases refrigerantes, como CFCs, surgiu nas décadas de 1920 a 1950, mas sua produção foi reduzida após a descoberta dos impactos na camada de ozônio. HCFCs e HFCs passaram a ser amplamente utilizados. Atualmente, há uma preocupação crescente com os impactos ambientais dos HFCs, levando ao desenvolvimento de gases refrigerantes mais sustentáveis, como HFOs. A

refrigeração moderna emprega tecnologias como compressores, evaporadores e condensadores. Ela desempenha um papel vital em setores como alimentos, medicamentos e transporte. Os refrigeradores domésticos e a refrigeração automotiva também evoluíram para maior eficiência e conforto.

2.1 REFRIGERAÇÃO

Loureiro em 2008 afirma que a refrigeração é uma ação termodinâmica que tem como objetivo a remoção do calor de um sistema isolado para o ambiente, por meio de um fluido chamado refrigerante. Sendo assim é importante saber que existem três tipos de sistemas termodinâmicos sendo estes isolados, abertos e fechados.

- Isolado - Não troca energia nem matéria com o meio externo.
- Fechado - Sistema que troca energia, mas não matéria com o meio externo.
- Aberto - Aquele que troca energia e/ou matéria com o meio externo.

2.2 TERMODINÂMICA

O princípio da conservação de energia é uma das principais leis da natureza, onde a energia pode se transformar em outra, porém a quantidade total mantém-se a mesma. A palavra *termodinâmica* vem das palavras gregas *Thérmes* (calor) e *Dýnamis* (força), que descrevem bem os primeiros esforços de transformar calor em força. Hoje sendo amplamente interpretado para vários aspectos da energia e suas transformações (ÇENGEL; BOLES, 2013).

2.2.1 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A primeira lei da termodinâmica consiste no princípio de conservação da energia, onde a energia é uma propriedade termodinâmica. Sendo assim, a energia total transferida para o sistema é igual a variação de sua energia interna. (MORAN *et al*, 2013).

A energia não pode ser criada, ela pode apenas mudar de forma. Conhecendo esta lei, podemos observar seu comportamento de acordo com cada uma das grandezas apresentadas através da Equação 1:

$$Q = \tau + \Delta U$$

Equação 1: Equação da Primeira Lei da Termo Dinâmica.

Sendo:

Q = Quantidade de Calor;

τ = Trabalho;

ΔU = Variação de Energia Interna.

Segundo Vallérius e Crestani, 2013, as transformações que ocorrem na 1ª lei da termodinâmica são:

- Transformação Isobárica: Ocorre a pressão constante, podendo variar o volume e a temperatura;
- Transformação Isotérmica: Ocorre a temperatura constante, variando somente a pressão e o volume;
- Transformação Isocórica: Ocorre a volume constante, variando somente pressão e temperatura;
- Transformação Adiabática: Transformação gasosa onde o gás não troca calor com o meio externo, seja porque está termicamente isolado ou o processo ocorre de forma tão rápida que o calor trocado é desprezível.

2.2.2 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A segunda lei da termodinâmica diz respeito a qualidade assim como quantidade e que os processos reais ocorrem na direção da diminuição da qualidade da energia. Por exemplo, uma xícara de café deixada sobre uma mesa esfriará após certo tempo, mas um café frio deixada sobre uma mesa nunca esquentará.

2.3 CICLO DE REFRIGERAÇÃO

De acordo com Ferzola (2010), é importante compreender que um ciclo de refrigeração é um sistema térmico projetado para remover energia na forma de calor de um espaço com baixo potencial energético e transferi-la para um espaço com alto potencial energético. Devido à variação positiva de energia, isso indica que a energia entra no sistema, tornando-se necessário o uso de uma fonte de energia externa em um ciclo de refrigeração.

- Arrefecimento: redução da temperatura de um corpo até a temperatura ambiente;
- Resfriamento: redução da temperatura de um corpo da temperatura ambiente até a temperatura de congelamento (0°C);
- Congelamento: redução da temperatura de um corpo aquém da sua temperatura de congelamento.

De acordo com Junior (2003 Apud VALLÉRIUS; CRESTANI, 2013) estabelece ciclo de refrigeração, sendo o processo onde, o fluido refrigerante consiga continuamente transformar-se em líquido e vapor, absorvendo calor pela evaporação e rejeitando calor pela condensação, em um circuito fechado.

2.3.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

O ciclo de refrigeração por absorção (Figura 1), o fluido de trabalho desse sistema é composto de uma solução binária, refrigerante e absorvente, os quais tornam parte fundamental do ciclo, associando-se ou dissociando-se, segundo os processos de absorção e dessorção que caracterizam o ciclo (NUNES, 2015).

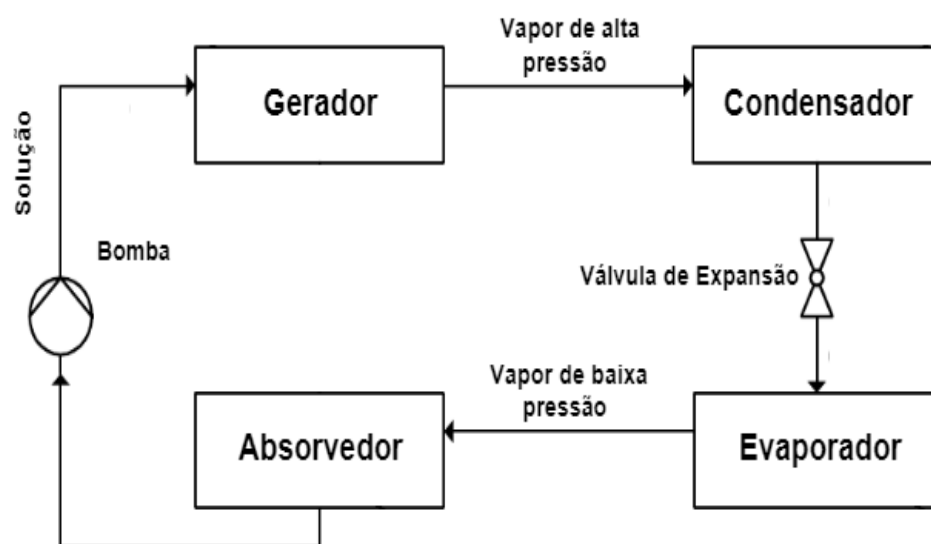


Figura 1 - Sistema de refrigeração por absorção.
Fonte: Adaptado de Mendonça, 2017.

2.3.2 CICLO DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICO

Em 1834, o francês Jean Charles Athanase Peltier, descobriu que ao estabelecer uma corrente elétrica através da junção entre dois metais, ocorria

liberação ou absorção de calor variando o sentido do fluxo da corrente para criar um efeito de refrigeração, efeito esse chamado de *efeito Peltier*, tornando-se base da refrigeração termoelétrica (ÇENGEL; BOLES, 2013).

2.3.3 CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO VAPORES

Os sistemas de compressão de vapor (Figura 2), são compostos por um compressor, um condensador, um dispositivo de expansão, um evaporador, um fluido refrigerante e um termostato, que controla a temperatura do compartimento refrigerador e conduz o liga e desliga do sistema (NUNES, 2015).

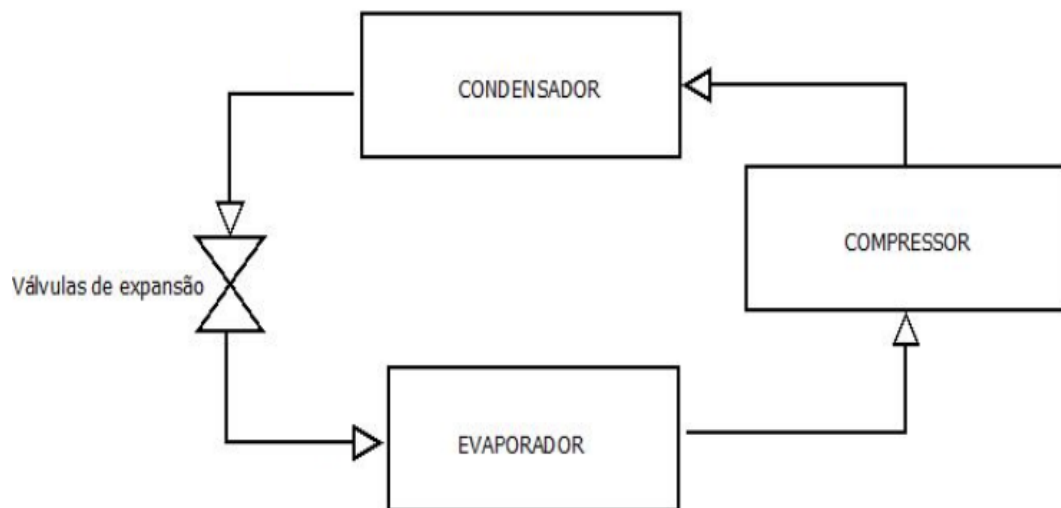


Figura 2 - Sistema refrigeração por compressão de vapores

Fonte: Meneghetti, 2009.

2.4 COEFICIENTE DE EFICÁCIA

O coeficiente de eficácia é uma medida da eficiência de um sistema de refrigeração. Calculado dividindo a capacidade de refrigeração pela potência elétrica consumida, quanto maior o coeficiente, mais eficiente é o sistema. Ele é importante para avaliar a eficiência energética de sistemas de refrigeração e climatização.

Segundo Toigo (2013) em refrigeração, define-se a energia útil como a quantidade de calor retirada através do evaporador e trabalho com a energia entregue ao compressor para a sua operação. Sendo assim, o COP é dado pela equação 2:

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{ev}}}{W} \quad (1)$$

Equação 2: Equação do Coeficiente de Eficácia.

Sendo:

COP = Coeficiente de eficácia;

Q_{ev} = Quantidade de calor retirado do evaporador;

W = Trabalho líquido do ciclo.

2.5 COMPRESSORES

O compressor é um equipamento individual do sistema de refrigeração por compressão de vapores, capaz de succionar o refrigerante do sistema e elevar a pressão e temperatura do mesmo. Podendo ser compressores alternativos e rotativos. Os alternativos são preferencialmente usados em sistemas onde os fluidos frigorígenos são de calor de vaporização elevado, como sistemas de pequeno e médio porte (COSTA, 2011, *Apud* EICH; IORIS, 2013).

2.6 CONDENSADOR

Os condensadores são responsáveis por condensar o vapor superaquecido proveniente do compressor, retirando energia e liberando para o meio externo. Esse processo ocorre através da troca de calor latente do refrigerante no condensador pelo qual a temperatura é diminuída até a temperatura de saturação, com pressão constante e ocorrendo transformação da fase de vapor para líquida (SILVA, 2010).

2.6.1 CONDENSADORES RESFRIADOS A AR

Stoecker e Jabardo (2002) mencionam três tipos de condensadores comumente utilizados na refrigeração: resfriados a ar, resfriados a água e evaporativos. No caso dos condensadores resfriados a água, os dois principais competidores no mercado são o tradicional casco e tubo e o de placas. No condensador casco e tubo, o refrigerante condensa no casco, enquanto a água circula pelos tubos. Já no condensador de placas, o refrigerante condensa descendo e a água circula subindo. A água aquecida pela condensação do

refrigerante é bombeada através de uma torre de resfriamento e retorna ao condensador.

2.7 VÁLVULA DE EXPANSÃO

Os dispositivos de expansão mais utilizados são os tubos capilares e válvulas de expansão termostáticas, as válvulas por sua vez podem ser classificadas em válvulas de expansão automática, válvulas de expansão termostática e válvulas de expansão eletrônicas. (SANTOS, 2007).

Em suma, a válvula de expansão desempenha um papel essencial na redução abrupta da pressão do fluido refrigerante subresfriado proveniente do condensador.

2.8 EVAPORADOR

Segundo Zigmantas (2006) o evaporador tem a função de retirar calor do meio a refrigerar através do fluido refrigerante, diminuindo sua temperatura até um valor requerido, através da evaporação da mistura líquido-vapor em baixa pressão e temperatura, resultante da saída da válvula de expansão.

Sua função principal é transferir calor do ambiente para o refrigerante, o refrigerante entra no evaporador em forma líquida ou de vapor úmido de baixa pressão e temperatura. À medida que o refrigerante passa pelo evaporador, ocorre a evaporação, absorvendo o calor do ambiente circundante. Isso resulta no resfriamento do ar ou fluido a ser refrigerado.

2.9 TERMOSTATO

O termostato é um dispositivo de controle de temperatura em sistemas de aquecimento, refrigeração ou climatização. Ele monitora a temperatura ambiente e regula o sistema para manter a temperatura desejada. Sua função é garantir conforto e eficiência energética.

O termostato é classificado como válvula de expansão automática, que são controladas pela pressão de sucção e pela temperatura de saída do fluido. Nesse equipamento, a agulha de obstrução é acionada por meio mola, cuja tensão é ajustável, assim sendo capaz de controlar o compressor, ligando e desligando o mesmo, regulando a temperatura pré-determinada. O bulbo do termostato contém

um fluido, quando a sua temperatura aumenta, ocorre um aumento de pressão no fluido que é transmitido ao termostato (LUFT, 2014).

2.10 LÍQUIDOS REFRIGERANTES OU FLUIDO FRIGORIGÊNICO

Fluido refrigerante ou fluido frigorigêneo, são determinados como produto químico responsável pelas trocas térmicas nos sistemas de refrigeração e climatização. Tendo como característica a capacidade de transformar de líquido para gás (e vice-versa) e absorvendo calor para resfriar o ambiente de maneira controlada (FERREIRA, 2016).

A criação de um sistema de refrigeração está diretamente ligada a escolha do líquido refrigerante. Vários fluidos com desempenho necessários a serem empregados num sistema de refrigeração, mas a escolha depende de alguns parâmetros como: eficiência requerida do sistema de refrigeração, custos de operação e aquisição, taxas de temperatura a praticar e composição molecular. Ou seja, a determinação do fluido deve ser minuciosa, de modo a privar a utilização de um fluido inadequado ao sistema.

3. METODOLOGIA

Foi realizado um estudo de caso no Laboratório de Mecânica da Faculdade do ISECENSA, Campos dos Goytacazes – RJ. A proposta da bancada constituiu no dimensionamento e na seleção de equipamentos de baixo custo disponíveis no mercado para que posteriormente seja viável a execução deste projeto. Após a escolha dos componentes e projeto da estrutura, foi possível desenvolver um desenho esquemático da bancada.

3.1 MATERIAIS

Os componentes que fazem parte compor a bancada didática são: compressor, condensador, evaporador, filtro secador, tubo capilar, motor ventilador, tubo de cobre, fluido refrigerante, termômetro, manômetro de medição e estrutura onde a bancada será alocada.

3.1.1 COMPRESSOR

O compressor selecionado para compor a bancada foi o da marca Tecumseh modelo THB1330YS (Figura 3) tendo como potência nominal de 1/10Hp, Voltagem 127V e uso do líquido refrigerante R134 A. A escolha desse modelo foi feita, pois se trata de um compressor que se encontra em disponibilidade para uso, podendo assim ser reaproveitado posteriormente na execução do projeto. Este modelo foi escolhido pela sua capacidade de atender a todo o sistema composto pela bancada, além da eficiência energética assim como pela versatilidade, confiabilidade e valor de mercado.



Figura 3 – Compressor
Fonte: Autoria Própria.

3.1.2 CONDENSADOR

O condensador foi produzido para redução de custos e uma melhor didática onde os alunos pudessem visualizar e tocar para ter a experiência para sentir a troca de calor.

Na construção do condensador foi utilizado tubo de cobre de $\frac{1}{4}$ " e um total de 2,5 metros de comprimento o qual foi moldado em forma de serpentina, pois o mesmo é responsável por absorver todo o calor do evaporador somado ao do compressor, por isso foi utilizada uma ventilação forçada com um motor ventilador com fim de facilitar e potencializar a troca de calor com o meio.

3.1.3 MOTOR VENTILADOR

O motor ventilador é da marca Dugold 1/40 com 20 cm de diâmetro de hélice sendo bivolt, é composto de uma hélice de plástico composto e seu corpo de liga de alumínio operando em frequências de 50/60 Hz, um motor de baixo custo que irá ser parte fundamental na troca de calor absorvido com o ar externo. O ventilador é apresentado na figura 4.



Figura 4 - Motor ventilador escolhido

Fonte: Autoria Própria

3.1.4 FILTRO SECADOR

Para garantir a eficiência do sistema, existem tipos específicos de filtro secador para cada fluido refrigerante. Neste projeto, como foi utilizado o refrigerante R-134a, foi escolhido o filtro secador da marca Dugold modelo 3/4", sendo 1/4" x 1/8". No Quadro 1 estão as informações do uso desse tipo de filtro.

Refrigerante	TELA	SÍLICA	XH5	XH6	XH7	XH9	UNIVERSAL
R22 - AC	X						X
R12, R22, R502		X	X	X	X	X	X
R134a					X	X	X
R404A/R507				X	X	X	X
Blends HFC/HCFC						X	X
R600a, R290			X	X	X	X	X

Quadro 1 Informações do filtro

Fonte: Manual do Filtro Dugold

3.1.5 DISPOSITIVO DE EXPANSÃO

Para o dispositivo de expansão foram escolhidos dois tubos capilares de diferentes diâmetros sendo eles um de 0,36 mm e outro 0,42 mm.

Esses diâmetros foram escolhidos para que fosse possível variar a pressão e temperatura ao longo do tempo do sistema.

3.1.6 EVAPORADOR

A evaporadora foi produzida para redução de custos e uma melhor didática onde os alunos pudessem visualizar e tocar para ter a experiência de sentir a troca de calor.

Na construção da evaporadora foi utilizado tubo de cobre de 3/8 de polegada e um total de 2,5 metros de comprimento o qual foi moldado em forma de serpentina. esse tipo de trocador possibilitará uma observação mais clara do fenômeno ocorrido neste componente.

3.1.7 VÁLVULA AGULHA

Este importante componente servirá para limitar o uso do capilar, através dela, será possível selecionar qual capilar será utilizado no ciclo, tendo como função controlar o fluxo do fluido e bloqueio da passagem quando sistema estiver em operação. Na figura 5 está representada a válvula agulha.



Figura 5 - Válvula agulha escolhida.

Fonte: Autoria Própria

3.1.8 VISOR DE LÍQUIDO ¼ SOLDA DANFOSS

Este componente auxilia na observação do estado do fluido refrigerante (líquido ou gasoso) e se a umidade no sistema de refrigeração está ou não em conformidade com nível aceitável. O visor de líquido é o acessório permanente de prevenção mais barato de um sistema de refrigeração.

3.1.9 MANÔMETROS

Foram escolhidos 2 modelos de manômetros para leitura locais, na linha de descarga, entrada e saída do condensador, e linha de sucção, entrada e saída do evaporador. Marca DUGOLD modelos: DG404L - baixa pressão (Figura 6) e DG404H - alta pressão (Figura 7).



Figura 6 - Manômetro de Alta Pressão
Fonte: Autoria Própria



Figura 7 - Manômetro de Baixa Pressão
Fonte: Autoria Própria

3.1.10 TERMÔMETRO

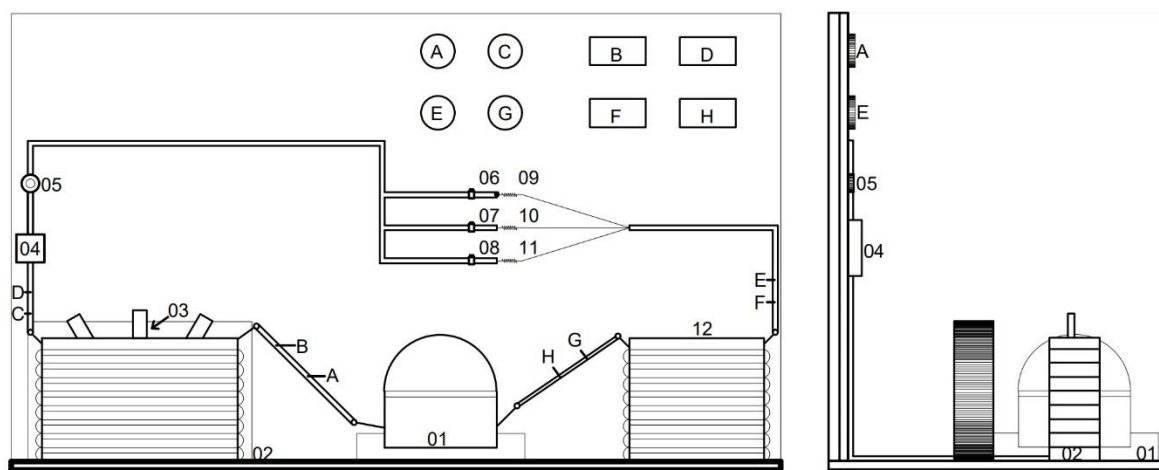
Assim como os manômetros foram escolhidos no total 4 termômetros digitais para leitura locais, na linha de descarga, entrada e saída do condensador, e linha de sucção, entrada e saída do evaporador.

3.1.11 TUBOS DE COBRE

Foram escolhidas tubulações de cobre como o diâmetro de $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{8}$ polegadas, especificada no manual do compressor (características externas) onde diz que a linha de sucção terá que se utilizar tubos de $\frac{3}{8}$ de polegadas e na descarga necessitam de tubo de $\frac{1}{4}$ de polegada. Para auxiliar na melhoria da relação custo/benefício foram escolhidos componentes que apresentam grande resistência, aplicação e durabilidade.

3.1.12 BANCADA

A bancada é composta dos tubos industriais galvanizados retangular 30x20 mm de diâmetro soldados, os mesmos e fixados juntamente com uma folha de mdf (275x183 cm x15 mm), sendo dividida em duas partes contendo medidas de 137,5x60 cm na sua base (parte horizontal da bancada) e 137,5x 80 cm (na parte vertical) e 4 rodízios giratórios de silicone 50mm de diâmetro e 20mm de espessura da marca soprano que suportam 50 kg cada uma delas. Na Figura 8 está representado um esquema da bancada.



QUADRO DE ESQUIPAMENTOS			
	ITENS		ITENS
01	COMPRESSOR	A	MANÔMETRO DE ALTA (LINHA DE DESCARGA)
02	CONDENSADOR		
03	MOTOR VENTILADOR	B	TERMÔMETRO (LINHA DE DESCARGA)
04	FILTRO SECADOR	C	MANÔMETRO SAÍDA DE CONDENSADOR
05	VISOR DE LÍQUIDO	D	TERMÔMETRO SAÍDA DE CONDENSADOR
6/ 7/ 8	VÁLVULA REGULADORA TIPO AGULHA	E	MANÔMETRO ENTRADA DE EVAPORADORA
		F	TERMÔMETRO ENTRADA DE EVAPORADORA
9/10/11	TUBO CAPILAR	G	MANÔMETRO DE BAIXA (LINHA DE SUÇÃO)
12	EVAPORADORA	H	TERMÔMETRO DE BAIXA (LINHA DE SUÇÃO)

Figura 8 - Esquema da bancada

Fonte: Autoria Própria

3.2 MÉTODOS

Neste trabalho para auxiliar no dimensionamento da banca foi utilizado o *software* AutoCAD para a simulação a bancada e a disposição de seus respectivos componentes.

3.2.1 DEFINIÇÃO DO LAYOUT

O Planejamento do layout dos componentes na bancada, levando em consideração o espaço disponível e a acessibilidade para os alunos. Considere também a disposição dos componentes principais, como compressor, condensador e evaporador.

3.2.2 FIXAÇÃO DO COMPRESSOR

O compressor foi fixado direto no MDF (figura 9) sendo posicionado frente e no centro da bancada com parafusos de rosca soberba e utilizando os calço ante vibratórios.



Figura 9 - Compressor Instalado
Fonte: Aatoria Própria

3.2.3 INSTALAÇÃO DO CONDENSADOR

Foi usado suportes em L com parafusos de rosca soberba para fixar o condensador na vertical próximo ao compressor (figura 10) sendo conectado por meio de tubulações de 1/4 de polegadas. Nesta etapa, foram certificados todos os cuidados para que as conexões fossem feitas do modo que a norma exige, com materiais adequados, para evitar vazamentos sendo saída do fluido refrigerante (parte superior) soldada no divisor em U e a parte inferior (entrada do fluido refrigerante) ao compressor.



Figura 10 - Condensador Instalado
Fonte: Aatoria Própria

3.2.4 INSTALAÇÃO DO EVAPORADOR

A evaporadora usa tubos de $\frac{1}{4}$ de polegadas de cobre e foi parafusada com parafusos de rosca soberba (figura 11) em uma posição adequada na bancada, foi dada a preferência em um local que permita fácil visualização e acesso para os alunos, assim ficando à esquerda do compressor.



Figura 11 - Evaporador Instalado
Fonte: Autoria Própria

3.2.4 INSTALAÇÃO DO MOTOR VENTILADOR

Com a condensadora posicionada, recomenda-se que seja feita a circulação forçada do ar através da mesma, e, portanto, o motor ventilador foi fixado com o seu próprio suporte na bancada com parafusos de rosca soberba, conforme mostra a figura 12.

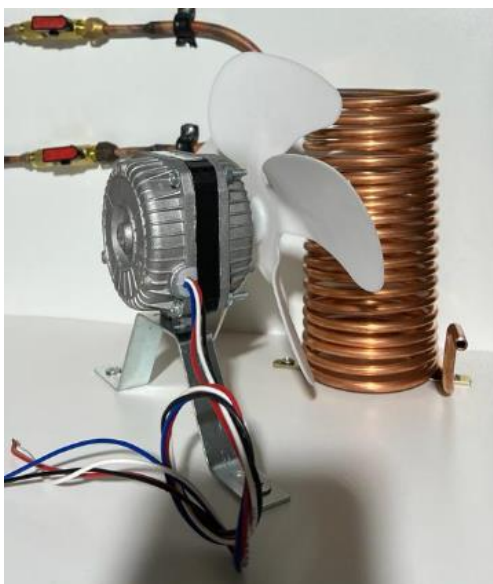


Figura 12 - Motor Ventilador Instalado
Fonte: Autoria Própria

3.2.5 CONEXÃO ELÉTRICA

Foi realizada a conexão elétrica entre o compressor (Figura 13) e os demais componentes do sistema (Figura 14) usado fios indicados pelo fabricante e fazendo a união dos mesmos com conectores de pressão para facilitar na manutenção posterior ou substituição. Seguindo todas as instruções do fabricante e normas de segurança para instalações elétricas.



Figura 13 - Conexões Elétricas 1
Fonte: Autoria Própria



Figura 14 – Conexões Elétrica 2
Fonte: Autoria Própria

3.2.6 INSTALAÇÃO DE SENSORES E MEDIDORES

Foi Instalado medidores de temperatura e pressão nos locais apropriados do sistema, como no condensador, evaporador e tubulações. Esses sensores permitirão monitorar e medir as variáveis do sistema durante os experimentos. Abaixo temos o medidor de alta pressão representado na figura 15 e a figura 16 com medidor de baixa pressão.



Figura 15 - Medidor de Alta Pressão Instalado
Fonte: Autoria Própria



Figura 16 - Medidor de Baixa Pressão Instalado
Fonte: Autoria Própria

3.2.7 SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle foi instalado para regular as variáveis do sistema, como temperatura e pressão. Usaremos controladores e dispositivos de medição.

3.2.8 INSTALAÇÃO DA VÁLVULA DE EXPANSÃO (CAPILARES)

Foi utilizado duas válvulas de expansão, cada um com de diâmetros diferentes, onde o capilar 1 de 42mm e o capilar 2 com 36mm (figura 17).

Essa escolha de dois diâmetros diferentes de capilares, foi para o controle de pressão e fluxo dentro dos sistemas, assim podendo ser um sistema manipulável.

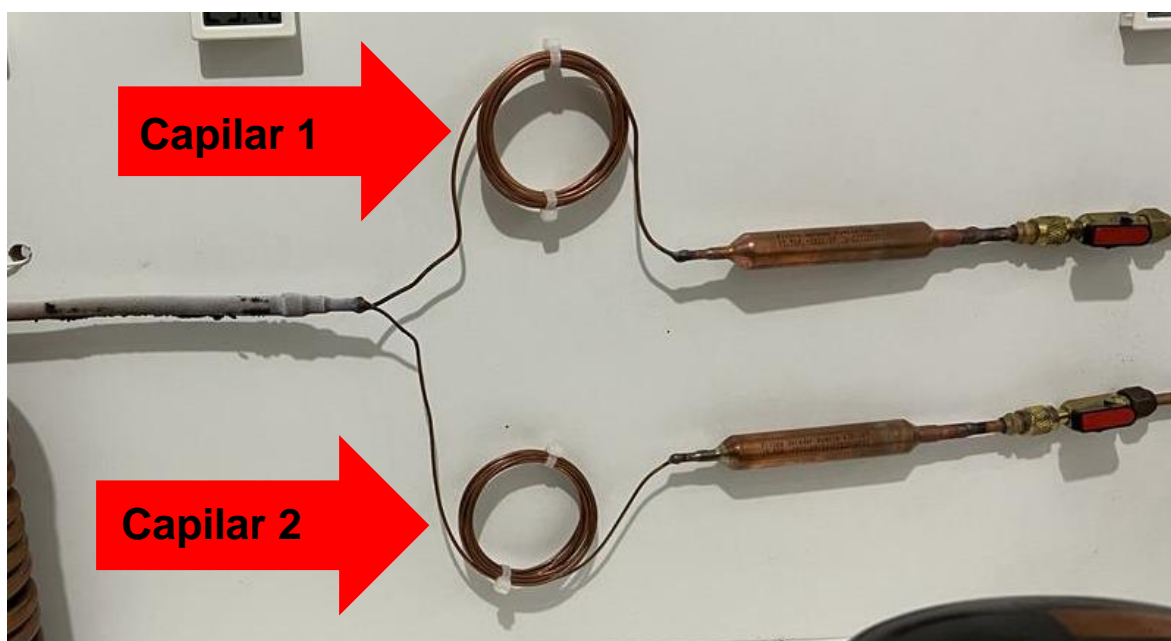


Figura 17 - Válvula de Expansão (Capilares) Instalado

Fonte: Autoria Própria

3.2.9 INSTALAÇÃO DAS VÁLVULAS

Foi instalado 2 válvulas de modelo agulha para fim de controle e bloquei do sistema, podendo fazer a escolha em qual válvulas de expansão irá seguir o fluxo.

Para a união da válvula com os sistemas tubulares foi utilizado na sua entrada uma porca flange de ¼ de polegada e na sua saída uma união Schrader. Na figura 18 temos a representação das 2 válvulas instaladas.



Figura 18 - Válvulas Agulhas Instaladas
Fonte: Autoria Própria

3.2.10 SOLDAS REALIZADAS

Todas as conexões entre tubos foram soldadas com varetas de solda do tipo Foscooper a mais utilizada no mercado, onde se usa um maçarico para derreter o eletrodo. As soldas foram efetuadas em locais de interligação, como, compressor com conexões para medidores, capilares com válvulas de expansão, capilares com evaporador, condensador com divisor em U foram soldadas, segue figura abaixo com os pontos de soldas realizadas. Na figura 19 foram identificados os pontos de soldas realizados e representada pela figura 20 temos o maçarico efetuando a passagem do eletrodo tipo Foscooper do estado sólido para o líquido assim preenchendo o espaço e efetuando a união das peças.



Figura 19 - Pontos de Soldas Realizadas
Fonte: Autoria Própria

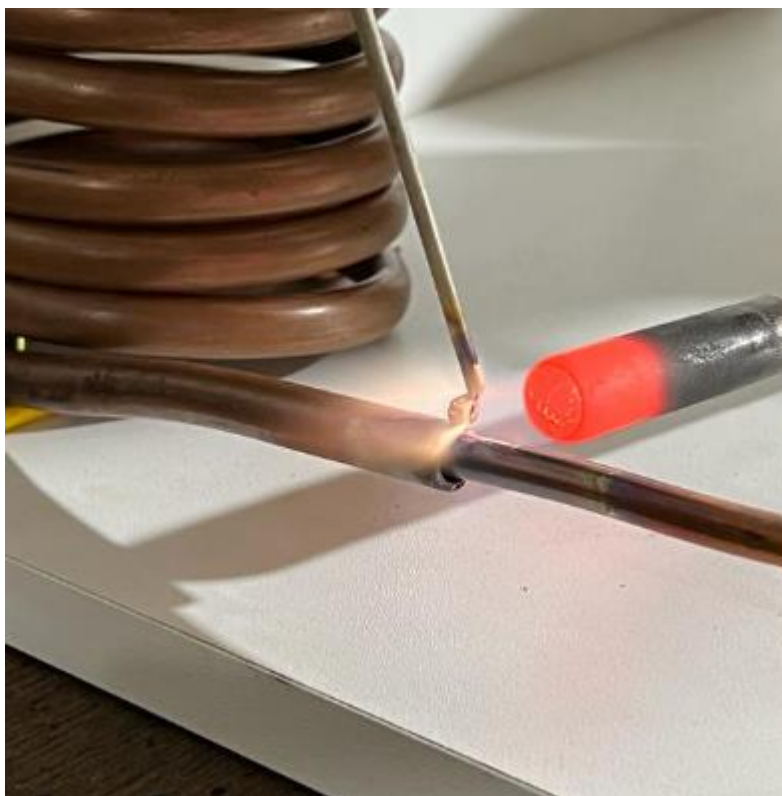


Figura 20 - Solda Foscooper
Fonte: Autoria Própria

3.2.11 COLOCAÇÃO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE

O gás refrigerante usado foi o R134a geralmente vendido a quilos ou em botijas de 750 gramas. Este fluido foi escolhido por definição no manual do fabricante do compressor, onde é o principal fluido utilizado em linhas domésticas pelos fabricantes de compressor.

Para a adição e controle de pressão do gás refrigerante no sistema e usado um manifold especial para o uso em refrigeração, o qual é composto por um corpo em latão com dois manômetros sendo um de alta pressão e outro de baixa pressão e três conexões para mangueiras sendo elas vermelha, amarela e azul.

A mangueira azul é ligada na linha de baixa pressão, geralmente na entrada do compressor onde fica localizada a válvula de serviço (válvula schrader) onde o gás será conduzido por ela para dentro do sistema, a mangueira vermelha é plugada na linha de alta pressão, neste caso não usada pois temos um medidor de alta instalado na linha e a mangueira amarela fica plugada no reservatório do fluido refrigerante, Lembrando que o mesmo tem que se encontrar com o fundo do vasilhame para cima para que possa efetuar a entrada do fluido refrigerante.

Com o sistema conectado se abre a válvula azul do manifold observando no visor do mesmo a passagem do fluido em seu estado líquido e fechamos o mesmo quando for atingido a quantidade de gás ideal do sistema que seja ela calculada anteriormente ou descrita pelo fabricante, na bancada foi utilizado 200g.

Na figura 21 temos a representação do manifold e figura 22 a introdução do líquido refrigerante.



Figura 21 - Manifold
Fonte: Autoria Própria



Figura 22 - Introdução de Gás Refrigerante
Fonte: Autoria Própria

3.2.12 TESTE E AJUSTES

Foram realizados testes para verificar se todos os componentes estão funcionando corretamente e foi feito testes para verificação de estanqueidade no sistema. Não foi encontrado algum vazamento ou mal funcionamento dos componentes. Na figura 23 temos o sistema funcionando para realização dos testes.



Figura 23 - Testes Finais
Fonte: Autoria Própria

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho de conclusão de curso, foram obtidos resultados significativos por meio do desenvolvimento da bancada didática de refrigeração por compressão de vapor e da realização de experimentos para validar o funcionamento do sistema. Os resultados obtidos foram analisados e discutidos, levando em consideração as principais variáveis envolvidas no ciclo de refrigeração.

Na análise dos resultados, foi observado que a bancada didática proporcionou uma excelente manipulação dos componentes, permitindo a realização precisa dos experimentos. Os alunos demonstraram grande interesse e envolvimento durante as atividades práticas, o que contribuiu para um melhor entendimento dos fenômenos envolvidos no ciclo de refrigeração.

Durante os experimentos, foram coletados dados de desempenho do sistema, como a temperatura de entrada e saída do compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador. Esses dados foram utilizados para calcular o coeficiente de desempenho (COP) do sistema, que é uma medida da eficiência da refrigeração.

O quadro 2 apresenta abaixo, mostra dados registrados nos ciclos 1 e 2 do sistema de refrigeração, com as respectivas configurações dos capilares utilizados. Os valores de temperatura e pressão foram coletados após 40 minutos de operação em cada ciclo, mostrando as variações nos pontos do condensador, evaporador e pressão. Temos que considerar as temperaturas em graus Celsius (°C) e o pressões em libras por polegadas quadradas (PSI).

	Ciclo 1 Capilar 1 (0,42 mm)	Ciclo 2 Capilar 2 (0,36 mm)
Entrada	Condensador: 38,3°C - 40°C	Condensador: 41,5°C - 43°C
	Evaporador: -2,2°C - -4,1°C	Evaporador: 3,1°C - 4,6°C
Saída	Condensador: 32,4°C - 33°C	Condensador: 33°C - 34,3°C
	Evaporador: 7,5°C - 8,4°C	Evaporador: 10,0°C - 12°C
Pressão	Condensador: 125 psi - 150 psi	Condensador: 175 psi - 200 psi
	Evaporador: 11 psi - 17 psi	Evaporador: 22 psi - 33 psi

Quadro 2 - Comparativo entre capilares

Fonte: Autoria Própria

Entre os ciclos 1 e 2, podemos observar algumas conclusões:

1. Variações nas temperaturas: Comparando os dois ciclos, nota-se que as temperaturas nos diferentes pontos do sistema de refrigeração apresentaram diferenças significativas. No ciclo 1, as temperaturas foram relativamente mais baixas, tanto na entrada do condensador quanto no evaporador e na entrada do compressor. Já no ciclo 2, as temperaturas foram mais elevadas em todos esses pontos.

2. Variações nas pressões: Da mesma forma, as pressões também variaram entre os ciclos. No ciclo 1, as pressões no condensador e no evaporador foram mais baixas em comparação com o ciclo 2, onde foram registradas pressões mais altas em ambos os componentes.

Essas variações nas temperaturas e pressões entre os ciclos indicam que diferentes configurações dos capilares (0,42 mm e 0,36 mm) afetaram o desempenho do sistema de refrigeração. A seleção do capilar influencia o fluxo do refrigerante e, conseqüentemente, as características térmicas do ciclo.

Portanto, conclui-se que a escolha adequada do capilar tem um impacto significativo no desempenho e eficiência do sistema de refrigeração, resultando em diferentes comportamentos térmicos e de pressão. Essas conclusões destacam a importância de realizar análises e experimentos detalhados para determinar a configuração ideal dos componentes em sistemas de refrigeração por compressão de vapor.

Ao analisar os resultados do COP, verificou-se que o sistema apresentou um desempenho satisfatório, dentro dos parâmetros esperados. Isso indica que a bancada didática foi capaz de realizar o ciclo de refrigeração de forma eficiente, demonstrando a aplicação prática dos conceitos teóricos estudados.

Além disso, foram realizadas comparações entre diferentes refrigerantes utilizados no ciclo de refrigeração, levando em consideração fatores como eficiência, custos e temperatura de operação. Essas comparações permitiram

identificar as vantagens e desvantagens de cada refrigerante, auxiliando na escolha adequada para diferentes aplicações.

As discussões realizadas a partir dos resultados obtidos também abordaram aspectos relacionados à sustentabilidade e às tendências atuais na área de refrigeração. Foram explorados os avanços na substituição de gases refrigerantes mais prejudiciais ao meio ambiente, como os CFCs, pelos HFOs mais sustentáveis.

Em resumo, os resultados obtidos com a implementação da bancada didática de refrigeração por compressão de vapor foram positivos, permitindo o aprimoramento do aprendizado dos alunos na disciplina de Máquinas Térmicas. Os experimentos realizados e as discussões promovidas contribuíram para a compreensão dos fenômenos envolvidos no ciclo de refrigeração, bem como para a conscientização sobre a importância da eficiência energética e da escolha adequada de refrigerantes sustentáveis. Na figura 24 temos a bancada em funcionamento.



Figura 24 - Bancada em funcionamento.

Fonte: Autoria Própria

5. CONCLUSÃO

A montagem de uma bancada didática para um sistema de refrigeração por compressão a vapores em uma instituição de ensino traz benefícios como aprendizado prático, desenvolvimento de habilidades técnicas, compreensão aprofundada do sistema, solução de problemas, preparação para o mercado de

trabalho e estímulo à pesquisa e inovação. Essa bancada permite que os alunos vivenciem na prática os conceitos teóricos, desenvolvam habilidades práticas e se preparem melhor para a indústria de refrigeração.

Foi definido os componentes principais do sistema como: compressor, condensador, evaporador, filtro secador, tubo capilar, motor ventilador, tubo de cobre, fluido refrigerante como elementos principais do ciclo de refrigeração e o intuito de exemplificar de melhor forma e menor custo entre os componentes básicos da refrigeração. Foi adicionado alguns itens como: termômetros, válvulas e manômetros para melhor imersão didática entre aluno e pratica laboratorial, sendo assim a possível a manipulação das variáveis do sistema como pressão e temperatura.

Com um layout pré-definido, pode-se concluir a bancada com facilidade, já que a montagem da mesma se tratava de um trabalho de posicionamento e fixação de unidades mecânicas e seus acessórios e logo após a criação da parte elétrica do sistema.

Não podemos esquecer que a facilidade de montagem da bancada veio com uma bagagem pré-estabelecida em sala de aula com a teoria passada pelos professores e alguns estudos em laboratórios.

É importante ressaltar que o sucesso desses benefícios depende do engajamento dos alunos, do apoio dos professores e da manutenção adequada da bancada ao longo do tempo. Esses são apenas alguns dos benefícios:

- **Aprendizado prático:** A bancada proporciona aos alunos a oportunidade de realizar experimentos e observar na prática os princípios e fenômenos envolvidos no sistema de refrigeração por compressão a vapores. Isso torna o aprendizado mais envolvente, permitindo que os alunos visualizem e compreendam os conceitos teóricos de forma concreta,
- **Compreensão aprofundada do sistema de refrigeração:** A bancada permite que os alunos analisem e estudem detalhadamente os diferentes componentes e processos envolvidos no sistema de refrigeração por compressão a vapores. Eles podem observar como a variação de parâmetros, como temperatura, pressão e carga térmica, afeta o desempenho global do sistema.

- Solução de problemas e resolução de falhas: A bancada oferece a oportunidade de simular falhas e problemas comuns em sistemas de refrigeração, permitindo que os alunos apliquem seus conhecimentos teóricos na identificação e resolução dessas questões. Isso contribui para o desenvolvimento de habilidades de solução de problemas e tomada de decisão.
- Promoção da pesquisa e inovação: A presença de uma bancada didática pode estimular a realização de pesquisas acadêmicas e projetos inovadores relacionados ao sistema de refrigeração. Os alunos podem explorar novas tecnologias, estratégias de controle e otimização do sistema, contribuindo para o avanço da área.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; PARSONS, Robert A. 1997 ASHRAE handbook: fundamentals. SI ed. Atlanta: ASHRAE, 1997.

AMORIM, M.J. Desenvolvimento de Bancada Didático-Experimental de Baixo Custo para Aplicações de Controle Ativo de Vibrações. 2006. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006. Disponível em:<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264102/1/Amorim_Mauricio_Jose_M.pdf>. Acesso em:11 abril 2019.

ARAÚJO, M.S.T; ADIB, M.L.V.S: Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 2, 2003

ASHRAE (EUA). American society of heating, refrigeration and air-conditioning engineers. Disponível em: Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

ÇENÇEL, Y; BOLES, M. Termodinâmica. 7ed. New York: McGraw- Hill, 2013.

CÉZAR, K. L. Controle de vazão PID para sistemas de refrigeração por absorção com o par água-brometo de lítio. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012. Disponível em: < <http://tede.biblioteca.ufpb.br:8080/handle/tede/5337> >. Acesso em: 02 de abril de 2018.

CORRÊA, J. E. Apostila de Refrigeração e Climatização, 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABf-YAE/refrigeracao-climatizacao-2010>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

COSTA, E. C. Da. Refrigeração. 3ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2011. 321p.

QUEIROZ, M.H.B. Bancada Didática Para Sistema De Refrigeração Por Absorção. Trabalho de Conclusão de Curso submetido à UTFPR para obtenção do grau de Técnico em Manutenção Industrial. Medianeira, 2013.

STOECKER, W. F.; SAIZ JABARDO J. M. Refrigeração Industrial. 2º Edição. São Paulo: Blucher, 2002.