



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
ENGENHARIA MECÂNICA

YOLLI NUNES NOBREGA MACHADO

MONTAGEM DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE ENSAIOS DE REFRIGERAÇÃO

CARAÚBAS - RN
2016

YOLLI NUNES NOBREGA MACHADO

MONTAGEM DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE ENSAIOS DE REFRIGERAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Msc. Rudson de Souza Lima – UFERSA

YOLLI NUNES NOBREGA MACHADO

MONTAGEM DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE ENSAIOS DE REFRIGERAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

APROVADO EM: 31/05/2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Msc. Rudson de Souza Lima - UFERSA
Presidente


Prof. Msc. Rafael Luz Espindola - UFERSA
Primeiro Membro


Prof. Dr. Dorgival Albertino da Silva Junior - UFERSA
Segundo Membro

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M149m Machado, Yolli Nunes Nobrega.
MONTAGEM DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE ENSAIOS DE
REFRIGERAÇÃO / Yolli Nunes Nobrega Machado. - 2016.
51 f. : il.

Orientador: Rudson de Souza Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2016.

1. Bancada didática. 2. Condicionador de ar. 3.
Refrigeração. I. Lima, Rudson de Souza, orient. II.
Título.

A **Rita de Cássia**, minha mãe, por sempre está me apoiando e me ajudando e nunca ter deixado de acreditar em mim.

A **Francisco de Assis**, meu pai, por ser o meu herói e por sempre ter me dado força e por ser um grande exemplo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meu pais, Rita de Cássia e Francisco de Assis por ter me apoiado quando eu quis vim estudar em Caraúbas e por nunca ter deixado eu desistir de estudar e por sempre está me dando força para enfrentar os problemas.

Aos meus irmãos, Yulian Nunes e Yngrid Nunes, por serem os melhores irmãos que alguém um dia possa ter e por todo auxilio que recebi durante a minha graduação.

A minha noiva Isabel Samara por estar todos os dias ao meu lado e por tudo que ela fez por mim até hoje, sempre sendo uma noiva dedicada e carinhosa e por nunca ter me deixado desistir dos meus objetivos.

A Rudson, por ter aceitado ser meu orientador e por todo o suporte e atenção que recebi diariamente, podendo assim vim a concluir meu trabalho.

A Diego Gouveia, por ser um grande amigo em todos os momentos, e por todo o suporte que me deu no decorrer do meu TCC.

E a todos meus amigos que estiveram presente comigo nessa batalha, noites e mais noites acordado estudando ao lado deles, em especial a Carlos Augusto, Paulo Victor, Rodrigo Nogueira, Thiago Rocha, Francisco Muniz, Graciliano Alves e Erikson Alves.

“Não sabendo que era impossível, ele foi
lá e fez”

(Jean Cocteau)

RESUMO

Esse trabalho retrata o desenvolvimento e o estudo de uma bancada de refrigeração para testes e acompanhamentos práticos do ciclo de refrigeração. A necessidade desta bancada nasceu da carência de uma ferramenta prática nas aulas do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), portanto essa bancada ficará localizada no laboratório da UFERSA com intuito de proporcionar experiência para os alunos da universidade, auxiliando-os no melhor aprendizado dos assuntos estudados em sala de aula. Dando ênfase aos assuntos de refrigeração e transferência de calor, e para os professores, funcionará como um instrumento a mais nas aulas das disciplinas envolvidas, visando tornar as aulas mais dinâmicas com experiências práticas no laboratório. Para o desenvolvimento da bancada foi necessário um condicionador de ar da marca Consul de 7.500 BTU (British Thermal Unit) que teve que passar por um processo de restauração, devido o mesmo não se apresentar em boas condições.

Palavras-Chaves: Bancada didática, Refrigeração, Condicionador de ar.

ABSTRACT

This work depicts the development and study of a cooling bench for practical testing and monitoring of the refrigeration cycle. The need for this counter was born from the lack of a practical tool in the mechanical engineering course lectures at the Federal Rural University of Semi-Arid (UFERSA), so this counter will be located in the laboratory of UFERSA in order to provide experience for the students of the university, assisting them in better learning of the subjects studied in the classroom. Emphasizing the cooling and heat transfer issues, and for the teachers it will work as a tool to the involved disciplines, in order to make the classes more dynamic with practical experiments in the laboratory. For the development of the bench was needed an air conditioner of the Consul brand 7,500 BTU (British Thermal Unit) that had to go through a restoration process because it does not perform in good condition.

Key Words: Didactic bench, Refrigeration, Air conditioner.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Maneiras de transmissão de calor	17
Figura 2: Esquema do Ciclo de refrigeração.....	19
Figura 3: Tipos de Compressores.....	20
Figura 4: Exemplo de motor a combustão interna	21
Figura 5: Compressor rotativo de palheta	22
Figura 6: Processo de condensação	22
Figura 7: Exemplo de condensador.....	23
Figura 8: Tubo Capilar	24
Figura 9: Funcionamento do evaporador.....	25
Figura 10: Estado inicial do ar condicionado	29
Figura 11: Degradação do capacitor	30
Figura 12: Aparelho após a manutenção.....	31
Figura 13: Bancada de apoio para montagem do ar condicionado.....	32
Figura 14: Arranjo dos componentes do ar condicionado.	32
Figura 15: Arranjo dos fios.....	33
Figura 16: Parede de isopor para separar termicamente o evaporador do compressor	34
Figura 17: Posicionamento dos termopares.	34
Figura 18: Bancada Finalizada.....	35
Figura 19: Placa de aquisição de dados.....	36
Figura 20: Temperatura do ambiente.....	37
Figura 21: Temperatura no ambiente do evaporador	38
Figura 22: Temperatura no ambiente do condensador	38
Figura 23: Temperatura na entrada do evaporador.....	39
Figura 24: Temperatura na entrada do condensador	40
Figura 25: Temperatura na saída do evaporador.....	40
Figura 26: Temperatura na saída do condensador.....	41
Figura 27: Médias das temperaturas.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Materiais utilizados na construção da bancada	29
Tabela 2: Valores de referência para o COP	43
Tabela 3: Densidade do ar	44

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

COP	Coeficiente de performance
Kg	Quilogramas
M	Massa
m	Metro
Q_Q	Quantidade de calor cedida pela fonte quente.
Q_F	Quantidade de calor recebida pela fonte fria.
s	Segundos
W_{liq}	Trabalho líquido.
$\forall$	Volume
ρ	Densidade
°C	Graus Celsius
Δt	Variação da temperatura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVO GERAL	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO	15
2.2 PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	16
2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	17
2.4 CONFORTO TÉRMICO	18
2.5 CICLO DE REFRIGERAÇÃO	18
2.5.1 Compressor	19
2.5.2 Condensador	22
2.5.3 Válvula de Expansão	24
2.5.4 Evaporador	25
2.6 FLUIDOS REFRIGERANTES	26
2.7 COEFICIENTE DE PERFORMANCE	26
3 METODOLOGIA	28
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	28
3.2 ANÁLISE DO CONDICIONADOR DE AR	29
3.3 DESENVOLVIMENTO	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5 CONCLUSÕES	46
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O uso da refrigeração é datado de séculos antes do nascimento de cristo, sendo usada para refrigerar alimentos e bebidas através de gelo natural encontrado nas superfícies de lagos e rios congelados. Os congelamentos desses alimentos ajudam a mantê-los conservados e em boa qualidade por mais tempo. Segundo George (1993), cerca de 25% da produção de alimentos perecíveis no mundo é refrigerada.

A utilização da refrigeração e do condicionador de ar possibilitou um grande avanço para a sociedade, fazendo com que alimentos fossem preservados por mais tempo e oferecendo um maior conforto para os usuários de ambientes climatizados.

Durante o processo de refrigeração, o calor não desejado é transferido mecanicamente para um local em que ele não seja prejudicial. Um exemplo disso é o condicionador de ar de janela, que resfria o ar no interior de uma sala e rejeita calor para o ambiente externo (MILLER, 2014).

O presente trabalho trata do desenvolvimento de uma bancada didática de ensaios de refrigeração, tendo objetivo de auxiliar aulas práticas em algumas disciplinas do curso de engenharia mecânica do campus Caraúbas, levando em consideração a ausência das mesmas em algumas disciplinas.

A bancada vai ser feita baseada em um condicionador de ar da marca Consul de 7.500 BTU (British Thermal Unit). O aparelho já está parado a algum tempo, fazendo com que tenha a necessidade de se fazer uma revisão e possíveis reparos nas partes danificadas.

Sendo um trabalho de conclusão de curso entende-se que seja interessante destacar que aplicar-se-á principalmente os conhecimentos adquiridos nas seguintes disciplinas da Engenharia Mecânica: Termodinâmica Aplicada, Transferência de Calor, Refrigeração e Ar Condicionado.

1.1 JUSTIFICATIVA

É notável a necessidade de unir as teorias aprendidas nas salas de aulas com a prática, de forma a preparar os estudantes para as atividades profissionais a serem executadas após o término do curso. Capacitando eles para o mercado de trabalho que está cada dia mais seletivo.

Aulas em laboratórios são essenciais para melhorar o aprendizado, já que estas possibilitam ao acadêmico uma maior interação com todas as peças estudadas e permite o acompanhamento do funcionamento de todo ciclo do objeto estudado, auxiliando na compreensão de fenômenos físicos envolvendo sistema de refrigeração para produção de ar frio.

Baseando-se nisso a construção e utilização da bancada deixará as aulas sobre refrigeradores mais didáticas e contribuirá para a formação profissional de futuros engenheiros, pois auxiliará na melhor compreensão do funcionamento do ar condicionado.

1.2 OBJETIVO GERAL

Elaborar e montar uma bancada didática de ensaios de refrigeração usando um condicionador de ar de reuso.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender e aplicar os conceitos básicos da mecânica no condicionador de ar;
- Definição de um modelo para bancada;
- Levantamento de custos;
- Manutenção do ar condicionado;
- Montagem da bancada;
- Ensaio do modelo pronto;
- Analisar as trocas térmicas envolvidas no equipamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO

Os primeiros sinais da refrigeração se deram desde muitos anos atrás, onde os chineses utilizavam gelos encontrados em lagos congelados para esfriar suas bebidas. Já os egípcios como não possuíam gelo perto do seu local de morada, resfriavam suas bebidas por meio de evaporação, utilizando vasos de barro devido o mesmo possuir alta porosidade ele deixa fluir um pouco de água que tem no seu interior, abaixando a temperatura do ambiente.

Durante muito tempo o gelo era usado para resfriar bebidas e alimentos, com o passar do tempo foi observado que a refrigeração podia ajudar no controle de bactérias nas comidas devido a redução da temperatura. Conforme Silva (2003), essa descoberta se deu a Francis Bacon em 1626. Ele enterrava galinhas mortas na neve, para observar sua decomposição, com isto constatou que a baixas temperaturas protegiam o alimento, fazendo com que a decomposição dos mesmos fosse retardada.

Devido o gelo só se formar no inverno e em regiões mais frias os homens viram a necessidade de deixar de serem dependentes da natureza. Os mesmos criaram meios para que fosse possível ter gelo em todas as épocas do ano, dando origem ao gelo artificial. Segundo Silva (2003) a refrigeração por método mecânico foi inventada por Willian Cullen, em 1755, onde ele utilizou o éter a baixa pressão para acelerar o processo de retirada de calor de uma pequena quantidade de água, produzindo pela primeira vez o gelo de maneira artificial.

Ao longo dos anos o processo de gelo artificial foi passando por melhorias. A utilização do gelo levou a criação das primeiras geladeiras, que eram formadas por um recipiente isolado por duas placas de cortiça. Dentro do recipiente colocava-se pedras de gelo e os alimentos que desejava-se conservar, parte do calor dos alimentos era absorvida pela fusão do gelo. Segundo Carvalho (2011), a refrigeração pode ser produzida de várias maneiras, mas a forma mais simples seria manter em contato duas substâncias, uma quente e outra fria. O calor fluindo da

mais quente para a mais fria proporcionando, em determinado momento, um equilíbrio térmico.

2.2 PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Além da utilização da refrigeração para baixar a temperatura de alimentos e bebidas ela tem diversas outras aplicações. Para Stoecker e Jones (1985), a aplicação mais disseminada da refrigeração é sem dúvida o ar condicionado. Segundo Creder (2004) o ar refrigerado é introduzido no recinto onde se mistura com o ar contido no ambiente e essa mistura gasosa, devidamente controlada em seu fluxo, temperatura, umidade e pureza, dará as condições de conforto.

Esse sistema de condicionamento de ar vem ganhando cada vez mais espaço no mercado ao longo dos anos, por proporcionar o conforto para as pessoas. Segundo o presidente Wadi Neaime, da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), o crescimento nas vendas é impulsionado pelo aumento no poder de compra dos brasileiros, pela ampliação e modernização de fábricas e espaços comerciais.

Stoecker e Jones (1985) cita diversas aplicações do sistema de refrigeração:

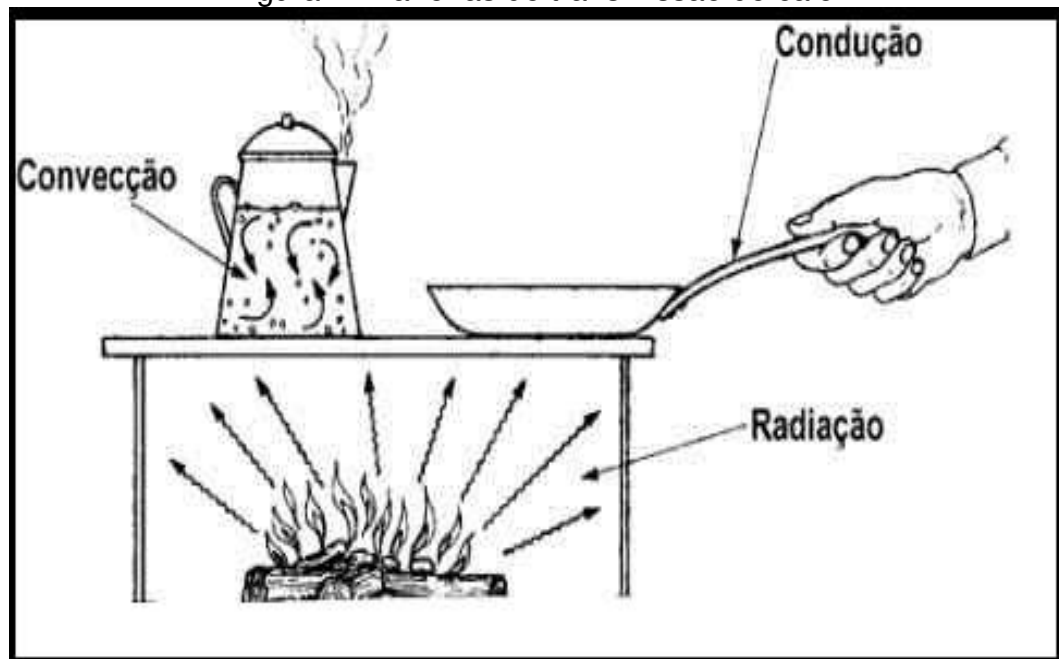
- Condicionador de ar residencial: São destinados a proporcionar maior conforto as pessoas em suas residências;
- Condicionador de ar industrial: São utilizados em indústrias para garantir maior qualidade de trabalho aos funcionários, influenciando assim no seu rendimento e produção;
- Condicionador de ar em veículos: Usados em carros, ônibus e diversos veículos para proporcionar melhor conforto durante viagens;
- Armazenamento de alimentos: O uso da refrigeração no setor alimentício é essencial para mantê-los conservados por mais tempo.

Além de todas essas aplicações a refrigeração também pode ser eficiente em outras áreas, como na construção civil, onde o gelo é utilizado para resfriar o concreto e pistas de patinação.

2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor se dá quando ocorre uma transferência de energia entre substâncias. Os três mecanismos de transferência de calor, são: condução, convecção e radiação. Como mostra a Figura 1.

Figura 1: Maneiras de transmissão de calor



Fonte: www.refrimak.com.br/ (2014).

O processo de condução, segundo ÇENGEL E GHAJAR (2012), é definido como a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para outra podendo ocorrer em sólidos, líquidos e gases. O percentual de calor passado por condução para o meio vai variar de acordo com a geometria, espessura e tipo de material que está submetido.

Para Young (2008), a convecção é a transferência de calor ocorrida pelo movimento da massa de uma região do fluido para outra região, em função não somente da diferença de temperatura, mas, também, em função da forma e da orientação da outra região.

Diferente da condução e convecção a radiação de acordo com Creder (2004), é a transferência de energia de um corpo a outro, dada por meio de ondas eletromagnéticas de átomos ou moléculas, em linha reta e à velocidade da luz.

2.4 CONFORTO TÉRMICO

Cada dia se faz mais presente uma preocupação com o conforto térmico, que está relacionado com a sensação de bem-estar sentida pelas pessoas em ambientes no geral. Segundo Naranjo (2011), o conforto térmico é o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio.

Um estudo feito pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) mostrou que o conforto térmico afeta na saúde e na produtividade dos funcionários. O principal meio que influencia na sensação do conforto térmico é a temperatura do ar. Com o objetivo de proporcionar melhores condições de conforto e bem estar às pessoas, utilizando o princípio da refrigeração, foi desenvolvido o condicionador de ar.

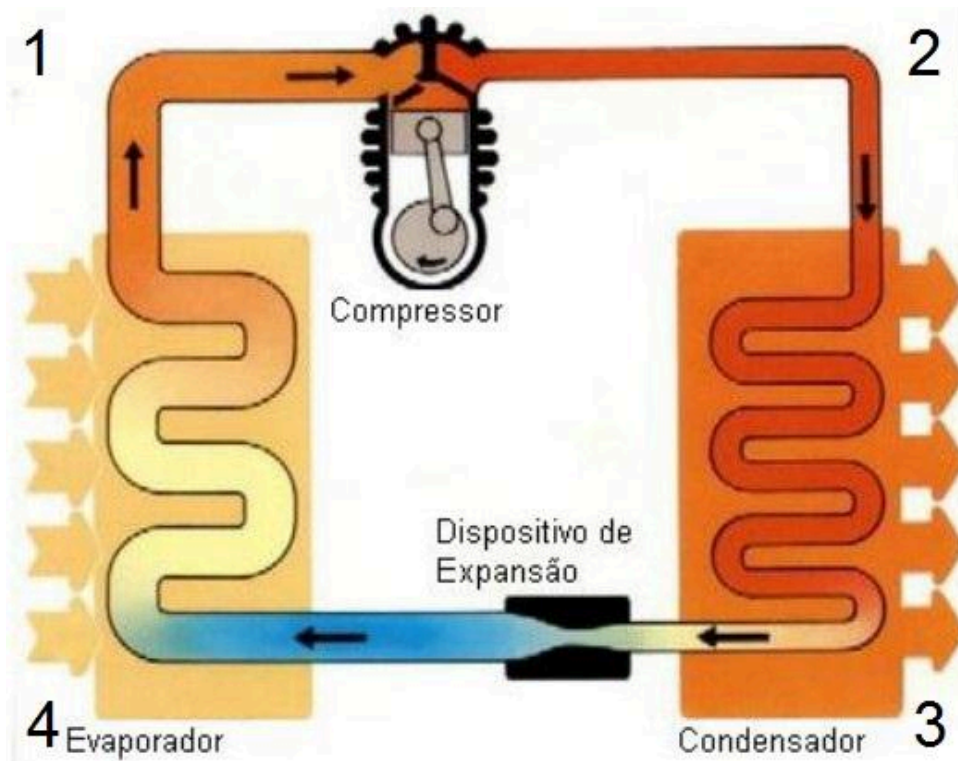
Segundo Miller (2014), durante o processo de refrigeração, o calor não desejado é transferido mecanicamente para um local onde não seja prejudicial. Um exemplo prático é o condicionador de ar de janela que resfria o ar no interior de uma sala e descarrega ar quente em um ambiente externo.

2.5 CICLO DE REFRIGERAÇÃO

Pode-se chamar de ciclo de refrigeração, uma situação onde, em circuito fechado, o gás refrigerante se transforma sucessivamente em líquido e vapor, fazendo com que possa absorver calor a baixa temperatura e pressão pela sua evaporação e rejeitar calor a alta temperatura e pressão pela sua condensação (MARTINELLI, 2008).

Os principais componentes utilizados no ciclo de refrigeração a compressão são denominados de compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador, como mostrado na Figura 2.

Figura 2: Esquema do Ciclo de refrigeração



Fonte: tfsfrio.blogspot.com.br (2014).

O ciclo se inicia no ponto 1 com a entrada do vapor de refrigerante no compressor, onde o compressor aspira e comprime o refrigerante transferindo potência para o mesmo, em seguida no ponto 2 o vapor de refrigerante entra no condensador onde vai trocar calor com o ar ou água, provocando sua mudança de estado de vapor para líquido, no ponto 3 o refrigerante entra na válvula de expansão onde perde pressão e com isso há uma perda de temperatura brusca. Em seguida no ponto 4 o refrigerante entra no evaporador e por estar muito frio troca calor com o ambiente que se deseja refrigerar, e este calor recebido faz com que o refrigerante evapore e volte ao seu estado inicial para começar o ciclo novamente.

2.5.1 Compressor

O compressor é uma máquina que tem como objetivo elevar a pressão de uma certa quantidade de gás. Sarkis (2002), define compressores como máquinas

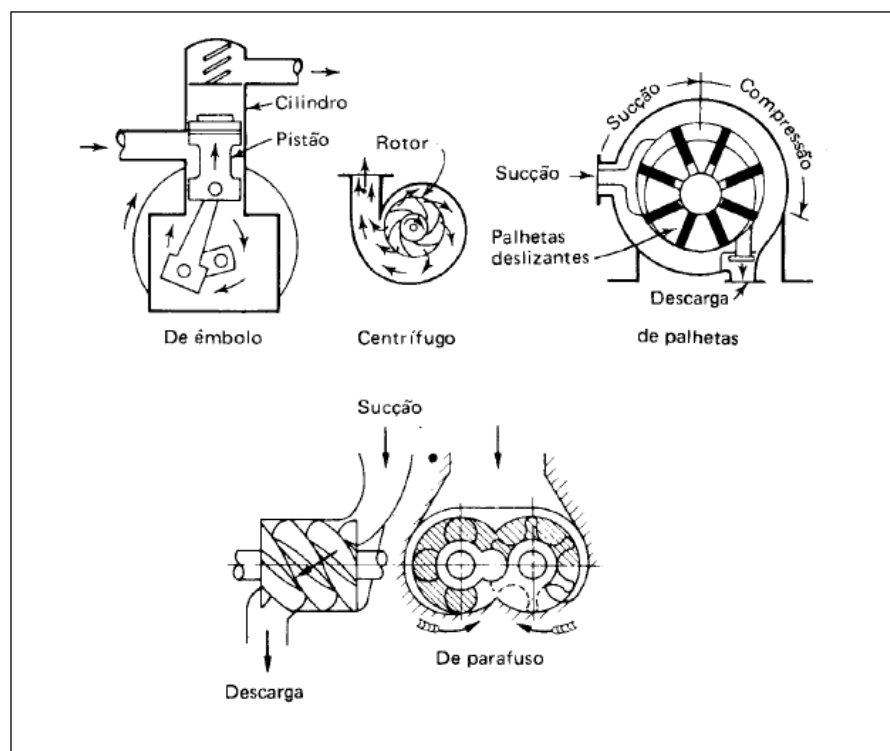
destinadas a aumentar a pressão de um gás com a finalidade de fazê-lo fluir entre dois pontos quaisquer. A elevação da pressão pode chegar desde 1 atm até milhares de atmosferas.

Para Diniz (2001), o compressor é o coração da instalação. É assim que muitos fabricantes se referem aos compressores para exemplificar o grau de importância que o equipamento possui.

Segundo Martinelli (2005), o compressor é utilizado por uma única razão: recuperar e comprimir o líquido expandido para que ele possa voltar a ser utilizado várias vezes no processo.

Dentro da área da refrigeração são usados cinco tipos de compressores, como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Tipos de Compressores



Fonte: <http://www.ref-wiki.com>.

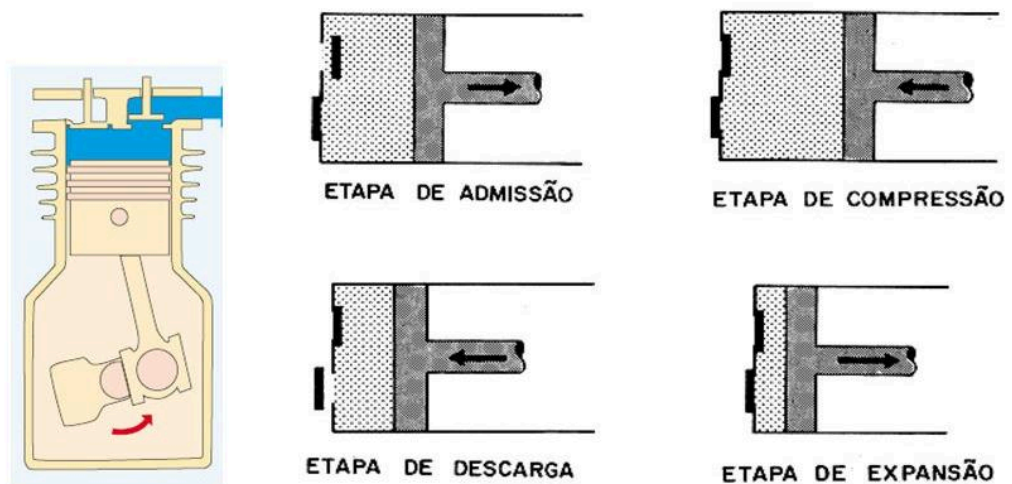
- Compressor alternativo;
- Compressor rotativo ou de palheta;
- Compressor rotativo de parafuso;

- Compressor centrífugo;
- Compressor scroll.

Tendo em vista que o compressor alternativo e o compressor rotativo ou de palheta são os mais utilizados no condicionador de ar de janela, temos:

Compressor alternativo – Os primeiros compressores a serem utilizados comercialmente na refrigeração industrial foram os compressores alternativos. Seu funcionamento é através de movimentos alternados de pistões e bielas, tendo mecanismo similar ao de um motor de combustão interna, devido a isso o seu nível de ruído é elevado. A figura 4 mostra um exemplo de motor a combustão interna.

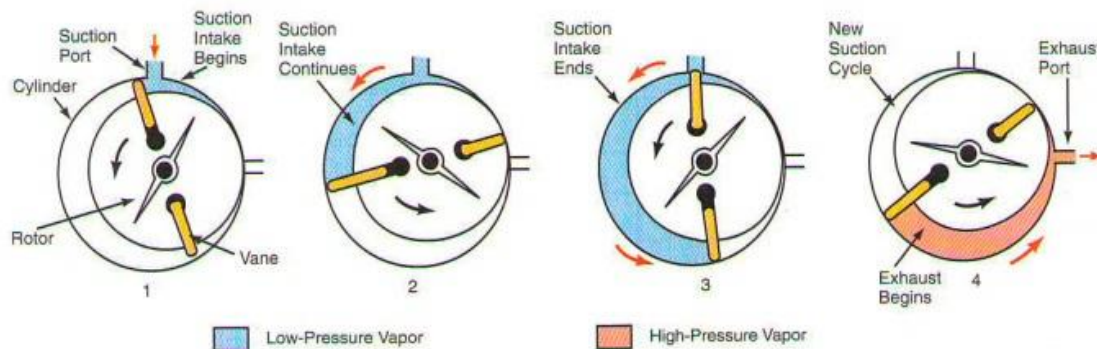
Figura 4: Exemplo de motor a combustão interna



Fonte: Lima, (2008).

Compressor rotativo de palheta – O compressor rotativo consiste em uma peça rolante que gira dentro do cilindro com palhetas deslizantes preso ao excêntrico do eixo fazendo com que o gás refrigerante venha a ser comprimido, como mostrado na Figura 5.

Figura 5: Compressor rotativo de palheta

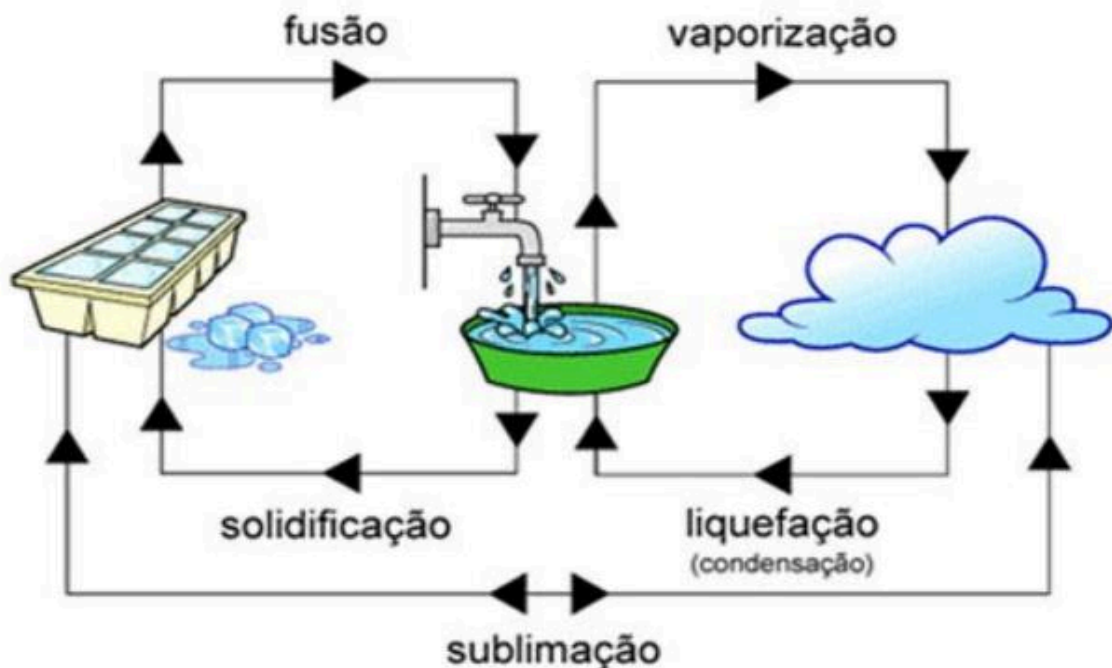


Fonte: <http://www.ref-wiki.com>.

2.5.2 Condensador

Para Fernandes (2011), o condensador é o equipamento responsável por promover uma mudança de estado. Na refrigeração um condensador é utilizado para resfriar o fluido refrigerante fazendo com que sua temperatura baixe e por fim condense novamente para forma líquida, como mostra a Figura 6.

Figura 6: Processo de condensação



Fonte: Fernandes, (2011).

Martinelli (2005), cita que o condensador tem a função de transformar o gás quente, que é descarregado em alta pressão, em líquido. Para isso acontecer é preciso que o fluido refrigerante rejeite calor para alguma fonte de resfriamento.

Como o objetivo da refrigeração é resfriar e remover calor de um certo ambiente, para que isso aconteça é preciso que o refrigerante que está no condensador diminua sua temperatura e condense para o estado líquido antes de voltar para o evaporador.

Martinelli (2005), cita que o processo de condensação do fluido refrigerante é dividido em três fases distintas, dessuperaquecimento, condensação e sub-resfriamento.

Dessuperaquecimento – Consiste em abaixar a temperatura do gás refrigerante removendo o seu calor sensível, até atingir a temperatura de condensação.

Condensação – Inicia a mudança de estado, através da remoção do calor latente do refrigerante, mantendo a sua temperatura constante durante todo o processo.

Sub-Resfriamento – O refrigerante se encontra no estado líquido saturado e ainda é resfriado por mais alguns graus.

Atualmente são encontrados diversos tipos de condensadores no mercado, onde cada modelo varia de acordo com a sua aplicação. Na Figura 7 apresenta um condensador do tipo resfriado a ar.

Figura 7: Exemplo de condensador



2.5.3 Válvula de Expansão

Luft (2014) comenta que a principal finalidade da Válvula de expansão é proporcionar a redução da pressão do fluido refrigerante e controlar o fluxo de massa na entrada do evaporador, mantendo um constante aquecimento, não dependendo das condições do sistema.

Dentre as válvulas de expansão, podemos destacar o tubo capilar, sendo ele um dispositivo de expansão que tem duas finalidades, reduzir a pressão do fluido e controlar a descarga (vazão) que irá adentrar no evaporador.

Já para Paz et. (2010) o tubo capilar é o elemento responsável pela expansão e regulação de fluxo refrigerante mais simples utilizado em sistema de refrigeração.

Segundo Martinelli (2005) a redução de pressão deve-se à fricção do gás no interior do capilar. Essa diferença de pressão desejada pode ser obtida combinando-se os valores de diâmetro interno e comprimento do capilar. A Figura 8 mostra um exemplo de um tubo capilar.

Figura 8: Tubo Capilar



Fonte: lookfordiagnosis.com.

2.5.4 Evaporador

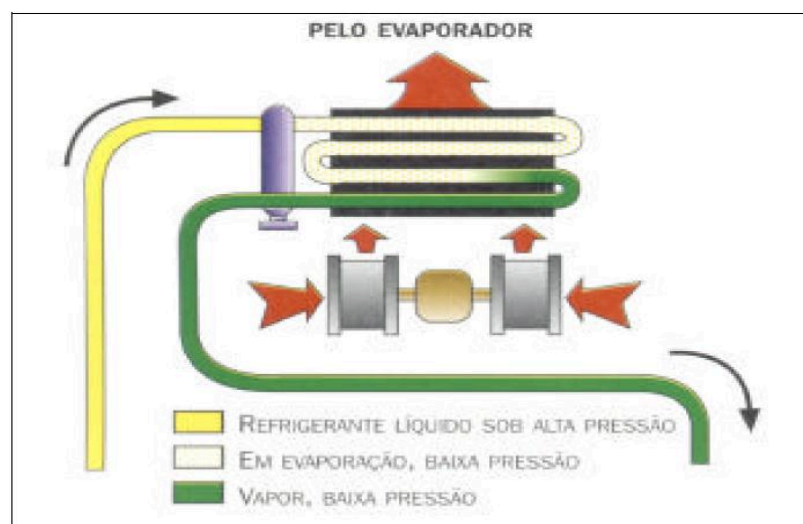
Martinelli (2005) fala que no evaporador o fluido refrigerante sofre uma mudança de estado, saindo da fase líquida para a fase gasosa. Muitas vezes o evaporador pode ser chamado de serpentina de resfriamento, resfriador da unidade, serpentina de congelamento, congelador, entre outros.

O evaporador é o dispositivo encarregado pela refrigeração do ambiente. Ele tem como objetivo remover o calor do meio, tornando-se o principal responsável pela eficiência do sistema. Martinelli (2015) também cita que a eficiência do evaporador vai depender de 3 principais fatores:

- O evaporador tem que ter uma superfície que possa absorver a carga de calor necessária, sem uma diferença demasiada de temperatura entre o fluido e a substância que será resfriada.
- O evaporador tem que dispor de espaço satisfatório para o refrigerante líquido e espaço adequado para que o vapor do refrigerante se separe do líquido.
- Apresentar espaço suficiente para a circulação do fluido refrigerante sem que ocorra queda de pressão excessiva entre a entrada e a saída.

O refrigerante entra no evaporador na forma líquida. Devido à pressão no evaporador ser mínima ele vai se evaporar a uma temperatura muito baixa e com isso remover o calor do ambiente desejado, como mostra a Figura 9.

Figura 9: Funcionamento do evaporador



Fonte: Martinelli (2005).

2.6 FLUIDOS REFRIGERANTES

O fluido refrigerante serve para resfriar um certo ambiente, absorvendo o calor presente no mesmo. O fluido vai ser escolhido de acordo com a aplicação do refrigerador ou do condicionador de ar. Infelizmente ainda não há um refrigerante que possa atender todas as necessidades possíveis. Devido a isso deve-se levar em consideração as principais propriedades de cada um para poder achar um que se encaixe melhor na aplicação.

Segundo Matinelli (2005), as principais características de um bom refrigerante são:

- Condensar-se a pressões moderadas;
- Evaporar-se a pressões acima da atmosférica;
- Ter pequeno volume específico;
- Ter elevado calor latente de vaporização;
- Ser quimicamente estável;
- Não ser corrosivo;
- Não ser inflamável;
- Não ser tóxico.

2.7 COEFICIENTE DE PERFORMANCE

Um parâmetro importante para analisar as instalações frigoríficas é o coeficiente de performance (COP). Em situações reais o COP do refrigerador é inferior ao do ciclo teórico para as mesmas condições de trabalho. Mas, com o ciclo teórico é possível verificar parâmetros que influenciam no desempenho do sistema.

Segundo Pirani (2012), para o ciclo teórico, o COP é função somente das propriedades do refrigerante, conseqüentemente, depende das temperaturas de condensação e vaporização. Para o ciclo real, o desempenho dependerá das propriedades na sucção do compressor, do próprio compressor e dos demais equipamentos do sistema, como será visto adiante.

A equação do coeficiente de performance é definida pela equação 1.

$$COP = \frac{Q_f}{W_{liq}} \quad (1)$$

COP = Coeficiente de performance;

Q_f = Quantidade de calor cedida pela fonte fria;

W_{liq} = Trabalho líquido.

3 METODOLOGIA

O curso de engenharia mecânica da Universidade federal Rural do Semi Árido (UFERSA) tem um grande déficit em relação a laboratórios, para auxiliar os alunos com aulas práticas que envolvem os assuntos abordados em sala de aula. Tendo em vista esta problemática, desenvolveu-se uma bancada didática de ensaios de refrigeração para auxiliar nas aulas práticas de algumas disciplinas do curso, contribuindo para a melhor compreensão do funcionamento do ar condicionado.

Para realizar o trabalho, foi necessário fazer um estudo para entender os princípios de refrigeração e de cada componente constituinte de um condicionador de ar de janela. O projeto foi desenvolvido a partir de um aparelho da marca Consul de 7.500 BTU (British Thermal Unit) o qual foi adquirido por meio de doação.

Está referida bancada foi construída com um sistema de isolamento externamente ao condicionador de ar, onde teve a unidade condensadora e a evaporadora, cada uma, em um ambiente isolado termicamente a fim de verificar-se as variações de temperaturas causadas pelo equipamento, e dessa forma calcular todos os coeficientes do condicionador de ar sobre diferentes regimes de trabalho.

Foi realizado um levantamento de custo com objetivo de repor possíveis peças defeituosas e a partir disso realizar manutenção corretiva, após o equipamento estar funcionando perfeitamente teve o início da construção da bancada didática de ensaios de refrigeração.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento da bancada didática de ensaios de refrigeração, foi necessário a utilização de alguns materiais. A Tabela 1 mostra o levantamento dos materiais utilizados na construção.

Tabela 1: Materiais utilizados na construção da bancada

Item	Descrição	Qtd/ Peças	Valor Total
1	Capacitor CBB65	1	R\$ 22,50
2	MDF e Compensado	6	R\$ 230,00
3	Fio 1,5mm	1 metro	R\$ 0,60
4	Fio 2,5mm	3 metros	R\$ 2,40
5	Fita isolante 20m	1	R\$ 4,50
6	Tinta preta	1	R\$ 12,50
7	Tinta branca	1	R\$ 14,00
8	Termopar tipo K	7	R\$ 105,00
9	Acrílico	1	R\$ 40,00
10	Silicone 50g	2	R\$ 9,00
11	Adaptador de tomada	2	R\$ 7,00
12	Pincel	2	R\$ 7,80
13	Isopor	1	R\$ 4,50
14	Conectores elétricos	12	R\$ 7,20
15	Plug tomada	1	R\$ 5,00
Total			R\$ 472,00

Fonte: Autoria Própria.

3.2 ANÁLISE DO CONDICIONADOR DE AR

O aparelho usado no desenvolvimento da bancada já estava parado há mais de um ano e em um péssimo estado de conservação como mostra na Figura 10. Devido às suas condições foi necessário realizar uma manutenção.

Figura 10: Estado inicial do ar condicionado



Fonte: Autoria própria.

Ao ligar o aparelho foi constatado que o mesmo não estava refrigerando. Após estudo na literatura foi observado que um dos fatores possíveis para o aparelho não estar gelando poderia ser problema no compressor, ou no capacitor.

3.3 DESENVOLVIMENTO

A bancada teve início com a manutenção do ar condicionado, onde foi necessário realizar alguns reparos, dentre eles a troca do capacitor que estava danificado, como podemos ver na Figura 11. Após a troca do capacitor o equipamento voltou a refrigerar. Desta forma seguiu-se com o processo de manutenção

Figura 11: Degradação do capacitor



Fonte: Autoria própria.

Como mostra a Figura 10, o aparelho estava com vários pontos de oxidações. A fim de remover e evitar possíveis oxidações futuras à máquina, as peças foram devidamente lixadas e pintadas, com o intuito de aumentar a resistência contra oxidações, como mostra a Figura 12 abaixo.

Figura 12: Aparelho após a manutenção



Fonte: Autoria própria.

Com o condicionador de ar refrigerando e funcionando em perfeito estado, foi iniciada a montagem da bancada em madeira, devido a mesma possuir propriedades de isolante térmica. A princípio foi determinada a geometria da bancada. Foi feita em forma de baú para poder ter um controle do volume refrigerado e assim poder realizar ensaios na bancada. A mesma foi montada com MDF (Fibra de Média Densidade) e o compensando que foi especificado na Tabela 1, para servir de apoio para a montagem do ar condicionado. Pode-se ver na Figura 13 a bancada já montada.

Figura 13: Bancada de apoio para montagem do ar condicionado



Fonte: Autoria própria.

Com a bancada já montada em forma de baú teve início a distribuição dos componentes do equipamento. Na Figura 14, mostra como foi feito o arranjo.

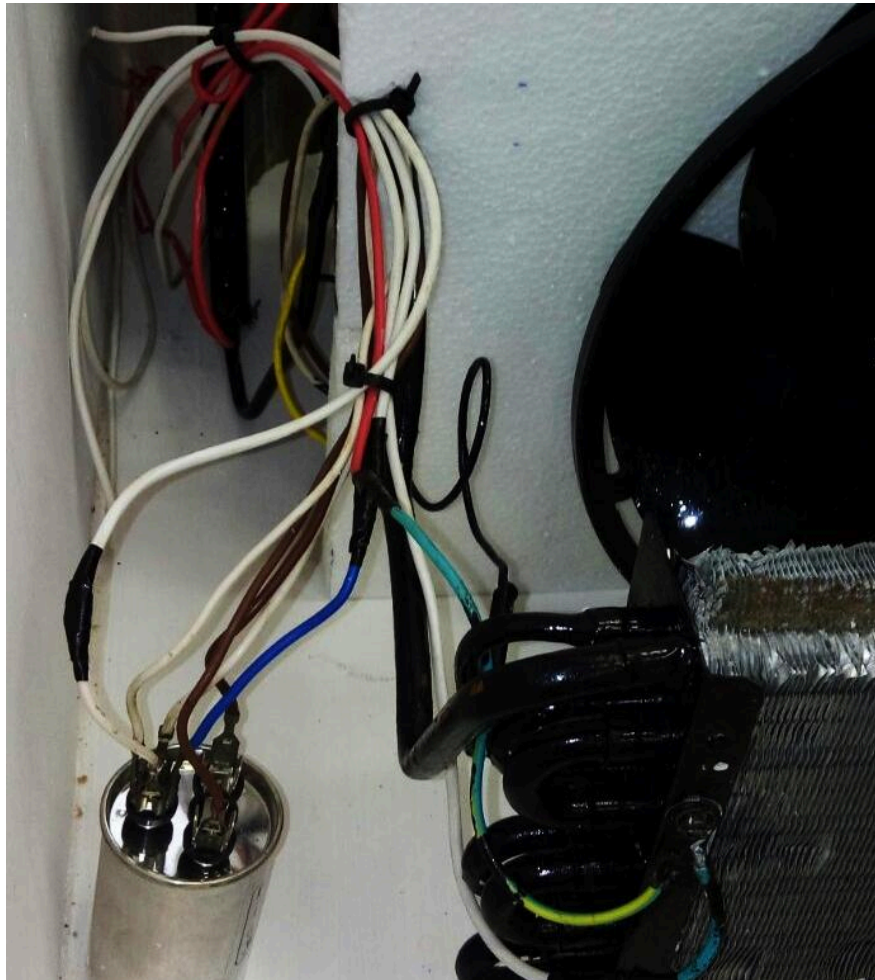
Figura 14: Arranjo dos componentes do ar condicionado.



Fonte: Autoria própria.

Para se tornar possível a montagem do condicionador de ar dentro da bancada foi necessário remanejar alguns acessórios de lugar, como o prolongamento de todos os fios que ligam o ventilador e o compressor ao capacitor, e os do capacitor para o controlador, como podemos verificar na Figura 15.

Figura 15: Arranjo dos fios.



Fonte: Autoria própria.

Depois de ter montado todos os componentes dentro da bancada foi colocado uma parede de isopor (EPS) para estabelecer uma barreira de passagem do ar dentro da mesma com intuito de separar termicamente o evaporador do condensador, como podemos observar na Figura 16. Antes de colocar a tampa da bancada todas as juntas internas foram vedadas com silicone.

Figura 16: Parede de isopor para separar termicamente o evaporador do compressor



Fonte: Autoria própria.

Para poder proporcionar melhores ensaios de refrigeração, foram adicionados dentro da bancada 6 termopares do tipo K. Pode-se observar na Figura 17 o posicionamento dos termopares

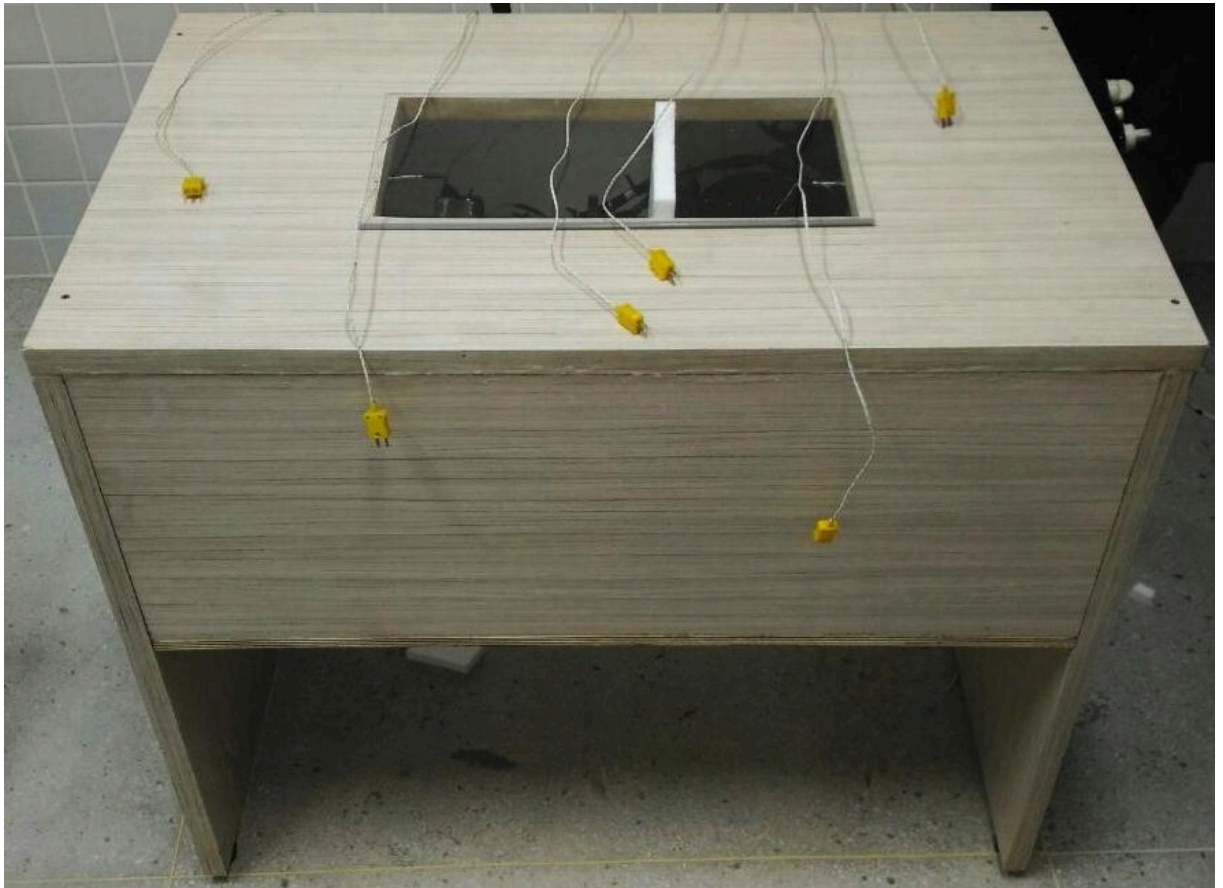
Figura 17: Posicionamento dos termopares.



Fonte: Autoria própria.

Para finalizar a montagem da bancada, foi colocado um tampo de fechamento em MDF com uma abertura no centro de formato retangular, o qual foi fechado por uma pequena tampa de acrílico, com o objetivo de permitir a interação dos alunos com os componentes do aparelho e facilitar o entendimento de todo o processo. A tampa de acrílico também serve como uma parede de divisão entre a bancada e o meio ambiente, quando aberta ela gera uma troca de calor que resulta no esfriamento mais rápido dentro da bancada diminuindo assim o tempo de espera entre um ensaio e outro. A Figura 18 mostra a bancada finalizada.

Figura 18: Bancada Finalizada



Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos através de ensaios realizados na bancada didática de refrigeração, com o auxílio de uma placa de aquisição de dados modelo agilent 34792A e 7 termopares. Além dos cálculos que foram feitos para encontrar o coeficiente de performance (COP) do refrigerador que nesse trabalho se dá através da relação entre a transformação das temperaturas. Na Figura 19 pode-se observar o modelo da placa.

Figura 19: Placa de aquisição de dados



Fonte: Autoria própria.

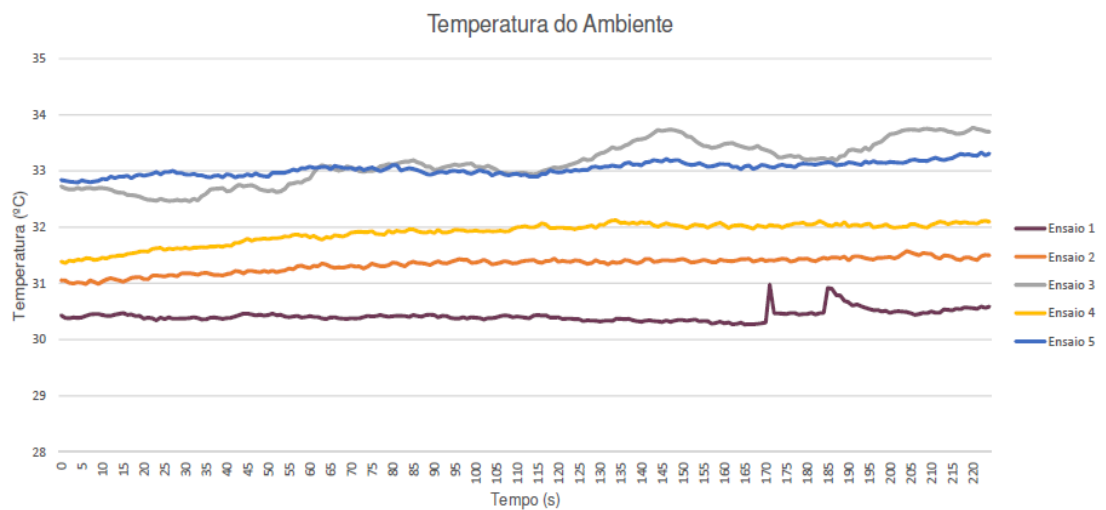
Para calcular o COP do refrigerador, foram realizados 5 ensaios na bancada didática de refrigeração a fim de obter uma média aritmética dos valores das temperaturas de entrada e saída do evaporador e do condensador, do ambiente onde eles estão localizados e do ambiente externo da bancada. Assim pode se aproximar o máximo possível das condições reais.

O primeiro ensaio foi realizado as 10h, e entre cada ensaio foi dado um intervalo de 90 minutos, a placa de aquisição de dados fez a captura da temperatura a cada 1s, com essas informações adquirida foram montadas 8 planilhas com auxílio

do Excel, um programa computacional. A partir de cada planilha foi desenvolvido um gráfico. Totalizando assim 8 gráficos com a intuito de facilitar o entendimento do processo.

O gráfico da Figura 20 mostra o comportamento da temperatura do ambiente externo nos 5 ensaios realizado na bancada.

Figura 20: Temperatura do ambiente

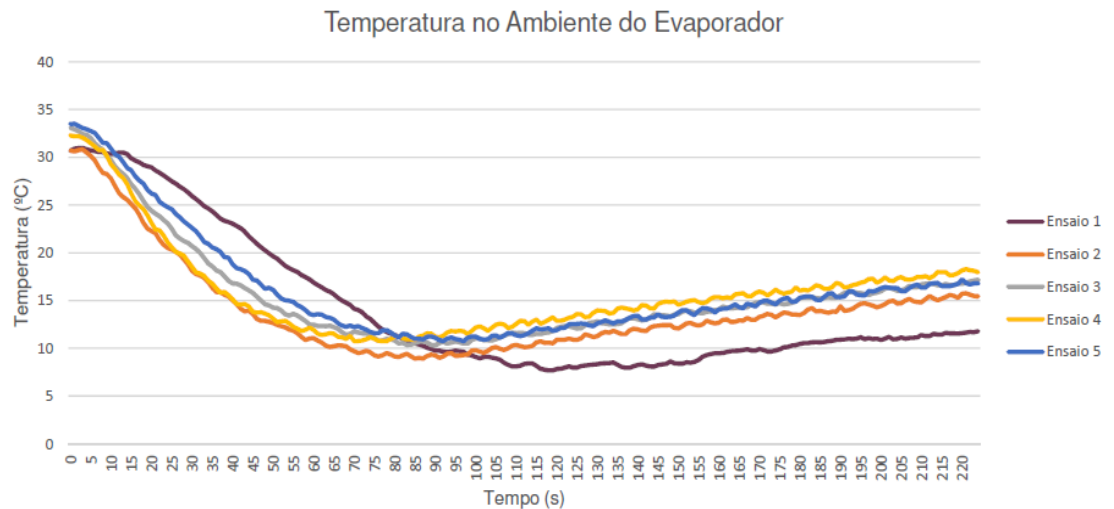


Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar uma pequena variação de temperatura, sabendo que os ensaios começaram por volta das 10h na cidade de Caraúbas e finalizaram-se por volta das 16h, essa alteração é normal devido ao clima ficar mais quente ao decorrer do dia e que a sala de testes não possuía um ambiente termicamente controlado.

O gráfico da Figura 21 mostra o comportamento da temperatura do ambiente onde está localizado o evaporador, nos 5 ensaios realizados.

Figura 21: Temperatura no ambiente do evaporador

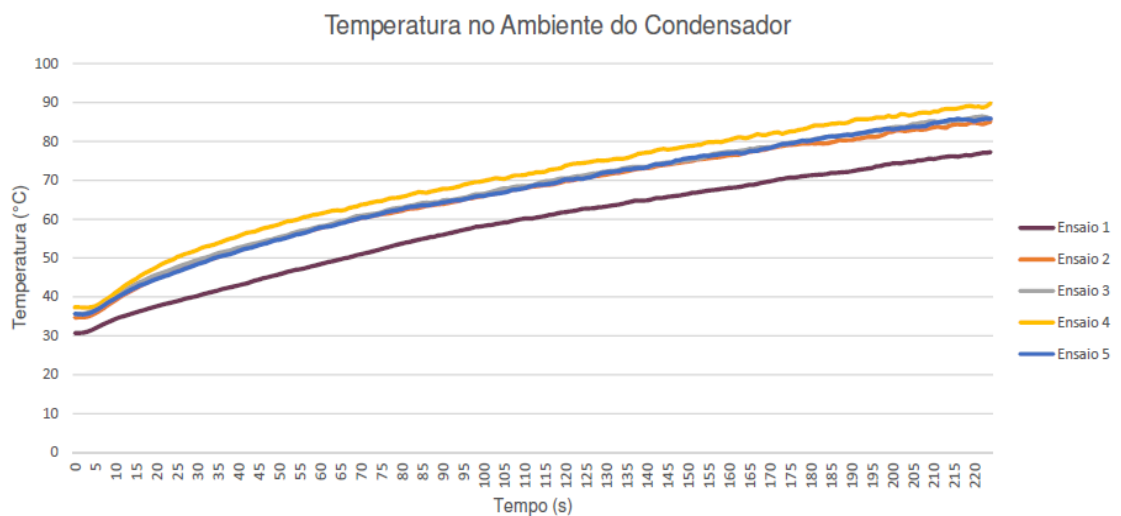


Fonte: Autoria própria.

Podemos observar que no primeiro ensaio a temperatura do ambiente do evaporador chegou a um menor valor quando comparado aos demais.

O gráfico da Figura 22 mostra o comportamento da temperatura do ambiente onde está localizado o condensador, nos 5 ensaios realizados.

Figura 22: Temperatura no ambiente do condensador

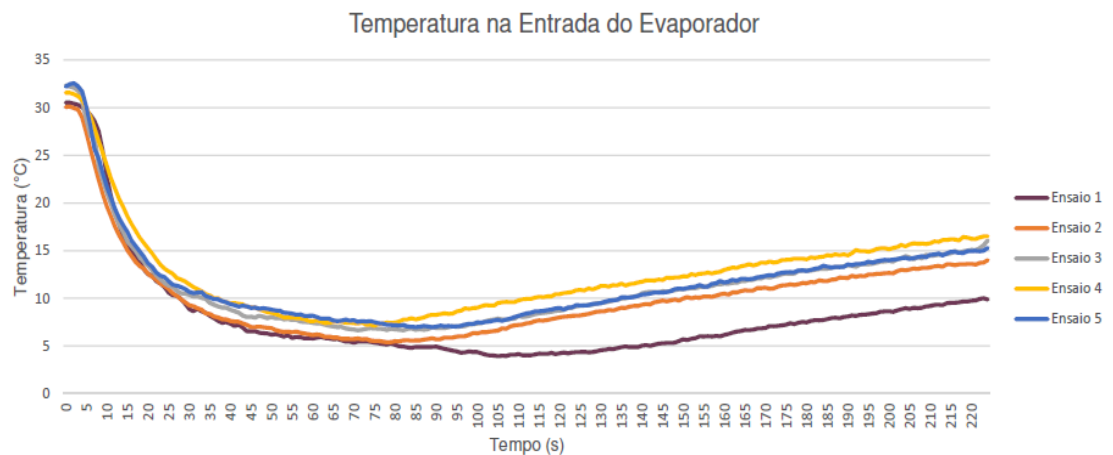


Fonte: Autoria própria.

No primeiro ensaio a temperatura no ambiente do condensador não foi tão elevada devido ela ter começado o ensaio com uma temperatura inferior ao dos demais.

O gráfico da Figura 23 mostra o comportamento da temperatura na entrada do evaporador, nos 5 ensaios realizados.

Figura 23: Temperatura na entrada do evaporador

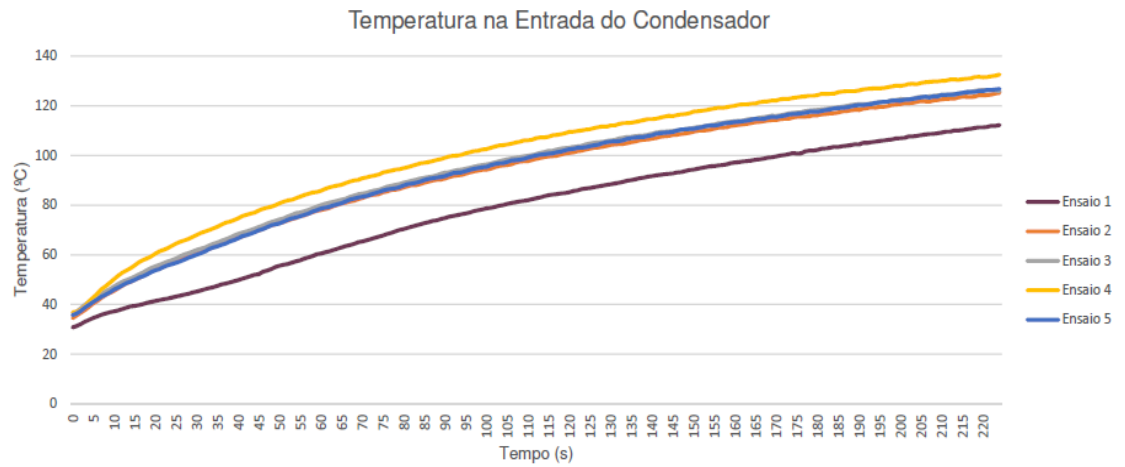


Fonte: Autoria própria.

Como no primeiro ensaio a temperatura no ambiente do condensador estava baixa e a do compressor também, foi realizado uma melhor troca de calor condensador, fazendo com que o gás voltasse ao evaporador a uma temperatura baixa por mais tempo.

O gráfico da Figura 24 mostra o comportamento da temperatura na entrada do condensador, nos 5 ensaios realizados.

Figura 24: Temperatura na entrada do condensador

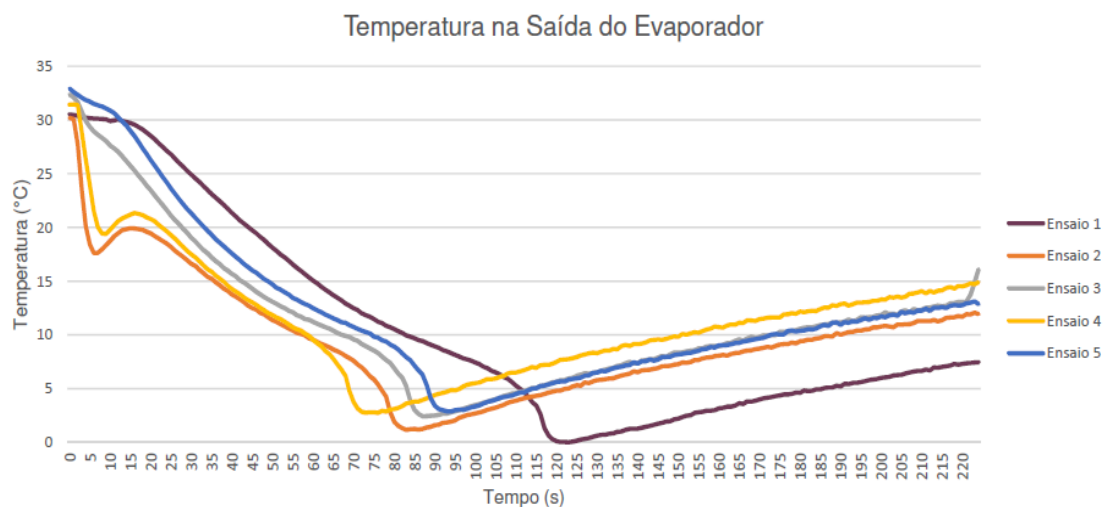


Fonte: Autoria própria.

O primeiro ensaio começou em uma temperatura inferior aos demais, devido essa variação de temperatura inicial, podemos observar que a temperatura na entrada do condensador foi inferior.

O gráfico da Figura 25 mostra o comportamento da temperatura na saída do evaporador, nos 5 ensaios realizados.

Figura 25: Temperatura na saída do evaporador

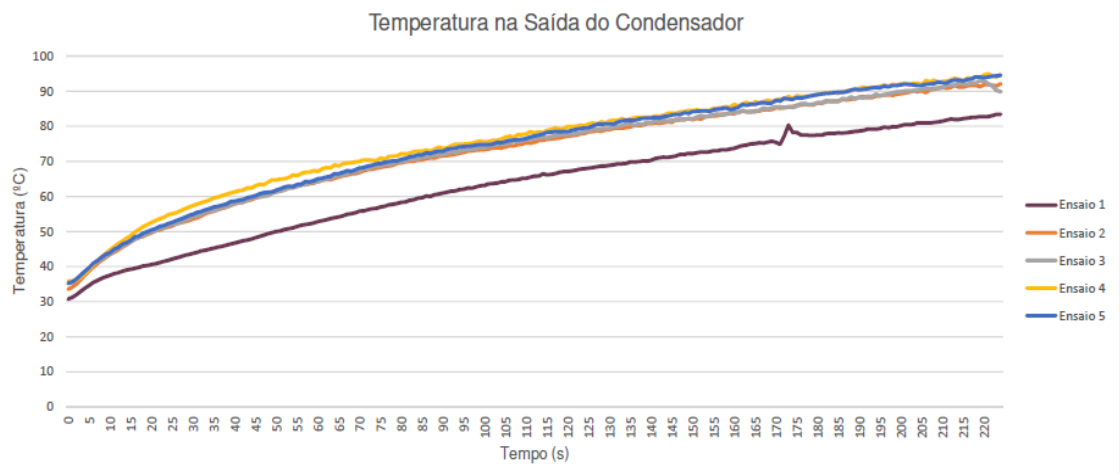


Fonte: Autoria própria.

O ensaio 2 e 4 teve uma variação nos primeiros 20 segundos, quando comparado aos ensaios 1, 3 e 5. Pode ser relacionado com alguma falha do equipamento eletrônico.

O gráfico da Figura 26 mostra o comportamento da temperatura na saída do condensador, nos 5 ensaios realizados.

Figura 26: Temperatura na saída do condensador

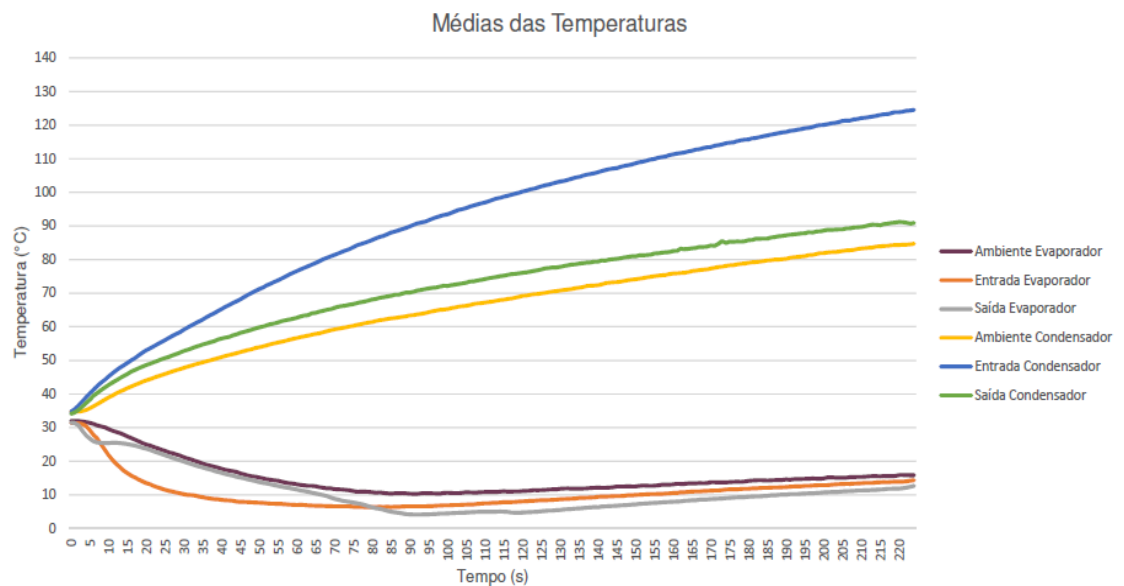


Fonte: Autoria própria

Como no primeiro ensaio a temperatura do condensador estava a uma temperatura ambiente, a sua eficiência em retirar calor do fluido refrigerante foi superior aos demais ensaios. Podemos observar essa variação na Figura 26.

E por fim o gráfico da Figura 27, mostra a média aritmética das 6 temperaturas que foram registadas dentro da bancada didática nos 5 ensaios realizados.

Figura 27: Médias das temperaturas



Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar nos gráficos que o ensaio que mais variou dos demais, foi o primeiro. Como ele foi o primeiro ensaio a ser realizado, os componentes do condicionador de ar se encontravam a uma temperatura baixa, devido o mesmo ter passado a noite toda desligado, já para os demais ensaios foram dado um intervalo de 90 minutos e foi usado um ventilador com proposito de aumentar a circulação de ar dentro da bancada, com o intuito de diminuir a temperatura dos componentes, mesmo assim não foi suficiente para fazer com que os componentes do sistema voltassem para a temperatura em que foi realizado o primeiro ensaio.

Foi observado também que a temperatura na entrada do evaporador vai diminuindo até um certo ponto, depois disso ela começa a aumentar levemente. Isso ocorre devido à temperatura no ambiente do condensador já estar muito elevada. Assim o condensador não consegue mais resfriar o gás refrigerante como deveria, fazendo com que o gás refrigerante volte ao evaporador com uma temperatura mais elevada que o normal.

Para realizar o cálculo do COP foi utilizado a média dos cinco ensaios. O ponto que foi escolhido para fazer o estudo, foi o ponto onde a temperatura na entrada do evaporador obteve o seu menor valor.

Tabela 2: Valores de referência para o COP (°C)

A. Evap.	E. Evap.	S. Evap.	A. Cond.	E. Cond.	S. Cond.	Tempo
32,0296	31,3382	31,4828	34,7812	34,7512	34,1074	0
10,6442	6,367	6,0322	61,7078	86,319	68,2708	81

Fonte: Autoria própria.

Calculando o COP do condicionador de ar,

$$COP = \frac{Q_f}{W_{liq}} \quad (2)$$

$$COP = \frac{Q_f}{Q_Q - Q_f} \quad (3)$$

$$COP = \frac{C_p \cdot \Delta t_f \cdot M_f}{C_p \cdot \Delta t_Q \cdot M_Q - C_p \cdot \Delta t_f \cdot M_f} \quad (4)$$

$$COP = \frac{C_p \cdot \Delta t_f \cdot M_f}{C_p (\Delta t_Q \cdot M_Q - \Delta t_f \cdot M_f)} \quad (5)$$

$$COP = \frac{\Delta t_f \cdot M_f}{\Delta t_Q \cdot M_Q - \Delta t_f \cdot M_f} \quad (6)$$

Para calcular o COP é necessário se calcular a massa do ar em cada ambiente da bancada,

$$M = \rho \cdot V \quad (7)$$

Sabendo as dimensões de cada ambiente, podemos calcular o volume,

$$V_E = 0,56 \text{ m} \cdot 0,505 \text{ m} \cdot 0,325 \text{ m}$$

$$V_E = 0,09191 \text{ m}^3 \quad (8)$$

$$V_C = 0,56 \text{ m} \cdot 0,415 \text{ m} \cdot 0,325 \text{ m}$$

$$V_C = 0,07553 \text{ m}^3 \quad (9)$$

Para auxiliar o cálculo da densidade do ar, foi usado a tabela A-16 do Çengel,

Tabela 3: Densidade do ar

Altitude, m	Densidade, kg/m ³
0	1,225
200	1,202
400	1,179

Fonte: Çengel (2013).

De acordo com o site DBcity.com, a cidade de Caraúbas tem uma altitude de 133 metros, com esse dado foi feita uma interpolação para encontrar o valor da densidade do ar.

$$\frac{133 - 0}{200 - 0} = \frac{x - 1,225}{1,202 - 1,225}$$

$$x = \frac{1,209705 \text{ kg}}{\text{m}^3} \quad (10)$$

Com a densidade definida, podemos calcular a massa de cada ambiente da bancada didática.

$$M_F = \rho \cdot V_E$$

$$M_F = 1,209705kg/m^3 \cdot 0,09191m^3$$

$$M_F = 0,111184kg \quad (11)$$

$$M_Q = \rho \cdot V_c$$

$$M_Q = 1,209705kg/m^3 \cdot 0,07553m^3$$

$$M_Q = 0,0914kg \quad (12)$$

Com todos os parâmetros definidos, podemos voltar para equação 6 e definir o valor do COP. A variação de temperatura usada no cálculo foi feita levando em consideração a temperatura ambiente e a temperatura no tempo 81, como mostrado na Tabela 2, ao invés da inicial e final do processo. O ponto do tempo 81 foi onde a temperatura na entrada do evaporador atingiu o seu mínimo valor. Foi feita essa consideração devido a bancada não ser perfeitamente isolada, mesmo sendo de madeira a mesma ainda troca calor com o ambiente.

$$COP = \frac{20,3558 \cdot 0,111184}{30,7078 \cdot 0,0914 - 20,3558 \cdot 0,111184}$$

$$COP = \frac{2,263239}{2,806693 - 2,263239}$$

$$COP = 4,16455 \quad (13)$$

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstra o funcionamento de uma bancada didática de um condicionador de ar, com intuito de ser um facilitador para estudos futuros na UFERSA, já que estará localizado no laboratório da mesma, disponível para todos os discentes.

O condicionador de ar da marca Consul mostrou-se adequado aos objetivos do trabalho, pois através dele e da bancada de madeira montada foi possível a realização de experimentos que puderam apresentar o comportamento da temperatura no ciclo completo de refrigeração.

Com a adição de novos equipamentos foi possível à coleta de dados em vários pontos, e em diferentes períodos, o que possibilitou a análise do ciclo de refrigeração, possibilitando o cálculo do COP.

O COP calculado não condiz totalmente com o real devido o ambiente da bancada não ser 100% isolado, proporcionando assim perdas de cargas para o ambiente que não foram estimadas no cálculo.

A bancada mostrou-se ser um equipamento de fácil manuseio para a realização de ensaios práticos na mesma, podemos assim concluir que a bancada didática feita atendeu a proposta inicial do trabalho.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Remover o compressor de dentro da bancada, fazendo com que possa realizar experimentos mais longos.

Colocar aberturas na bancada com coolers quem possam ser fechados para realizar experimentos.

Adicionar Manômetros de alta e de baixa pressão no sistema.

Isolar melhor os sistemas, a fim de aproximar cada vez mais os resultados do ideal.

REFERÊNCIAS

ANTONOVICZ, D.; WEBER, R. G. B. **PMOC - Plano de Manutenção Operação e Controle nos condicionadores de ar do Campus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. TCC – Curso de graduação de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira.

CARVALHO, C. M.; **PROJETO DE GRADUAÇÃO, DETECÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHA EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO**, 2005, disponível em: http://www.laar.unb.br/Relatorios_PG/Relatorio_final_Celso_Carvalho.pdf > acesso em 02/05/2015.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**, 5. Ed. Porto Alegre: McGraw Hill, 2007. 740p.

CREDER, H.; **Instalações de ar condicionado**. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

DINIZ, A. J.; **Compressores**. Ilha Solteira, 2001.

FERNANDES, B.; **Vantagens na utilização de motores eletrônicos em condensadores**, 2011, Disponível em http://www.ebmpapst.com.br/media/content/technical_support/technical_data/Boletim_Tecnico-ebm-papst_04-11.pdf > **Acesso em: 13/05/2016**.

GEORGE, R. M. Freezing Processes Used in the Food Industry. **Trends in Food & Technology**, vol 4, 1993.

LIMA, B.; **Máquinas Térmicas**, 2008, Disponível em: http://crv.sistti.com.br/sistema_crv_dotnet/index.aspx?ID_OBJETO=58363&tipo=ob&cp=780031&cb=&n1=&n2=M%C3%B3dulos%20Did%C3%A1ticos&n3=Ensino%20M%C3%A9dio&n4=F%C3%ADsica&b=s **Acesso em: 15/05/2016**

LUFT, D. J.; **Estudo De Uma Bancada Didática De Refrigeração**, Horizontina, 2014.

MARTINELLI JR, L. C.; **Refrigeração e ar Condicionado** 2005. Monografia – Unijui, 2005. Disponível em: http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/b/b4/RAC_III.pdf

MARTINELLI JR, L. C.; **Sistema de Ar Condicionado por absorção para ônibus.** (2008), Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

MILLER, R.; **Ar-condicionado e Refrigeração** - 2ª ed- Rio de Janeiro, 2014

NARANJO, A.; **Desempenho Térmico De Edificações.** - 6ª edição, Florianópolis, 2011.

PAZ. et al.; **Efeito das dimensões do tubo capilar como elemento de expansão num sistema de refrigeração doméstico.** Paraíba: Campina Grande, 2010.

PENA, S. M. **Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração.** Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 1ª Ed. Julho/2002.

REY, A.; Transmissão de calor, 2014, Disponível em: <<http://refrimaq.org/como-acontece-transmissao-de-calor/>> Acesso em: 10/05/2016

RUAS, Á. C. **Conforto Térmico nos ambientes de trabalho.** São Paulo: FUNDACENTRO, 1999.

SARKIS, S. R. M.; **Compressores para processo industrial.** Apostila. Centro Federal de Educação Tecnológica- 2002.

SILVA, J. G.; **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização.** São Paulo: Artliber, 2003.

STOECKER, W. F.; SAIZ JABARDO J. M. **Refrigeração Industrial.** 1ª Edição. São Paulo: Blucher, 1985.

VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica.** São Paulo, Edgard Blucher, 1995. (Quarta Edição e Sexta reimpressão).

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A... Física II: **Termodinâmica e ondas.** 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

“**Compressores rotativos**”, Disponível em: <<http://www.ref-wiki.com/pt/content/view/31445/28/>>. Acessado em: 12 de Maio de 2016.

“Manutenção preventiva e corretiva em aparelho de refrigeração e climatização”, 2014, Disponível em: <<http://tfsfrio.blogspot.com.br/>> Acesso em: 10 de Maio de 2016.

“Condicionadores”, 2015. Disponível em: <<http://climaeciaarcondicionado.com.br/dicas/condensadores/>> Acesso em 14 de Maio de 2016.