



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE REGRIGERAÇÃO DO CICLO
FRIO E QUENTE**

**JULIANA AMORIM BARBOSA
STELLA MARES SANTOS DE MEDEIROS**

**Tucuruí - PA
2016**

**JULIANA AMORIM BARBOSA
STELLA MARES SANTOS DE MEDEIROS**

**CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE REGRIGERAÇÃO DO CICLO
FRIO E QUENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

**Orientador:
Prof. Me. Jessé Luís Padilha**

**Tucuruí - PA
2016**




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

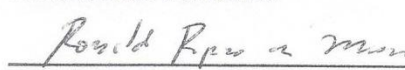
CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE REGRIGERAÇÃO DO CICLO
FRIO E QUENTE

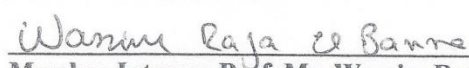
JULIANA AMORIM BARBOSA
STELLA MARES SANTOS DE MEDEIROS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de
Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

BANCA EXAMINADORA


Orientador: Prof. Me. Jessé Luís Padilha
FEM/CAMTUC/UFPA


Membro Interno: Prof. Me. Ronaldo Moura
FEM/CAMTUC/UFPA


Membro Interno: Prof. Me. Wassim Raja El Banna
FEM/CAMTUC/UFPA

Conceito Exc

Tucuruí, 25 de Novembro de 2016.

*A Deus, pais e professores que de alguma
forma contribuíram para a realização
deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus que além de autor, Ele tem sido o provedor de nossas vidas, sempre nos dando saúde e força para continuar correndo atrás dos nossos objetivos e sonhos.

Aos nossos pais Antônio Wilson Barbosa de Souza, Ana de Calda Amorim Barbosa, Ademildo Alves de Medeiros e Aldilucia Santos Medeiros, que contribuíram com a nossa formação, não somente acadêmica, mas também formaram o nosso caráter, através de amor, carinho e exemplo, o nosso muito obrigada, pois sem vocês nada disso seria possível.

Foram muitas pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho. Algumas indiretamente, prestando apoio e informações técnicas, outras, de forma direta, como os colegas Artur José Cunha da Silva e Danilo Silva Santos, disponibilizando seu tempo e conhecimento técnico no auxílio da construção da bancada.

Agradecemos ainda ao orientador Jesse Padilha a paciente e dedicada orientação, e pelo grande papel que desempenha como professor e amigo.

RESUMO

CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE REGRIGERAÇÃO DO CICLO FRIO E QUENTE

RESUMO: Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a construção de uma bancada didática para observar o ciclo reverso (Frio e Quente). Com propósito de auxiliar no processo de aprendizado e treinamento dos alunos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará UFPA CAMTUC, através do funcionamento bem como na compreensão dos fenômenos físicos envolvidos no sistema de refrigeração. Para isso foi necessário a aquisição de uma split (9.000 btus), além de matérias e componentes para a confecção da mesma, posteriormente foram realizados testes para o cálculo do Coeficiente de Performance COP para validação da bancada didática.

Palavras chave: Bancada didática, Ciclo reverso, Refrigeração.

ABSTRACT

ASSEMBLY OF A DIDACTIC REFRIGERATION WORKBENCH OF THE HOT AND COLD CYCLE

ABSTRACT: This workbench will help the Mechanical Engineering students of Pará Federal University (UFPA-CAMTUC) to better understanding how the Hot and Cold cycle works, as well as, to gain more knowledge about the physical phenomena involved in it. In order to make it possible, was need to acquire a split (9000 Btus), and many other materials and components to assemble the workbench. Tests were performed to calculate the COP Performance Coefficient for the workbench validation.

Key words: Didactic workbench, Reverse cycle, Refrigeration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Primeiras geladeiras que utilizavam gelo natural.....	16
Figura 2. Radiação, condução e convecção.....	17
Figura 3. (a) Sistema fechado, (b) Sistema aberto.....	19
Figura 4. Modelos de compressores para refrigeração.....	23
Figura 5. Evaporadores.....	24
Figura 6. Condensadores.....	24
Figura 7. Válvulas de expansão.....	25
Figura 8. Tubulações e conexões.....	26
Figura 9. Motores elétricos.....	27
Figura 10. Tipos de termômetros.....	28
Figura 11. Manômetros.....	29
Figura 12. Diagrama de Mollier.....	30
Figura 13. Sistema de refrigeração por compressão de vapor.....	31
Figura 14. Transformações que ocorrem com o refrigerante durante o ciclo de refrigeração.....	32
Figura 15. Operação de refrigeração.....	33
Figura 16. Operação de aquecimento.....	34
Figura 17. Válvula Reversora.....	34
Figura 18. Furadeira.....	39
Figura 19. Bomba de vácuo.....	39
Figura 20. Chave de boca.....	40
Figura 21. Alicates universal.....	40
Figura 22. Chave allen.....	40
Figura 23. Chave phillips.....	41
Figura 24. Ferramenta de corte e flangeamento de tubulação.....	41
Figura 25. Brocas e serra-copo.....	41
Figura 26. Nível.....	41
Figura 27. Monifold.....	42
Figura 28. Chave de boca regulável.....	42
Figura 29. Torno de bancada de mandíbula.....	43
Figura 30. Montagem da bancada.....	43
Figura 31. Furação da Bancada.....	44

Figura 32. (A)Implantação dos elementos na estrutura metálica (B)Implantação do disjuntor na lateral da estrutura.....	45
Figura 33. (A)Implantação das conexões na bancada (B) Implantação das tubulações de cobre.	45
Figura 34. Posicionamento dos manômetros.....	46
Figura 35. (A) Localização dos termômetros na parte de trás; (B) Localização dos termômetros na parte da frente.	47
Figura 36. Posicionamento do monômetro de alta.	48
Figura 37. Posicionamento dos termômetros no ciclo quente.....	49
Figura 38. Mudança de posicionamentos do termômetro 3.....	51
Figura 39. (A) Mudança de posicionamento do termômetro 4 (entrada do evaporador); (B) Mudança de posicionamento do termômetro 4 (saída do evaporador).....	51
Figura 40. Tela inicial do CATT.	55
Figura 41. Escolha do R-22	55
Figura 42. Dados obtidos.....	56
Figura 43. Dados fornecidos pelo CATT	56
Figura 1A. Posicionamento manômetro.	67
Figura 2A. Posicionamento termômetro.....	68
Figura 3A. Posicionamento manômetro.	69
Figura 4A. Posicionamento termômetro.....	69
Figura 5A. Mudança de posicionamento do termômetro 3.	70
Figura 6A. Mudança de posicionamento do termômetro 4.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Materiais usados na construção da bancada.	36
Tabela 2. Custo para a construção da bancada.	49
Tabela 3. Dados de ensaio para 16°C (Ciclo frio).....	57
Tabela 4. Dados de ensaio para 20°C (Ciclo frio).....	57
Tabela 5. Dados de ensaio para 24°C (Ciclo frio).....	58
Tabela 6. Dados de ensaio para 27°C (Ciclo quente).....	58
Tabela 7. Dados de ensaio para 29°C (Ciclo quente).....	58
Tabela 8. Dados de ensaio para 31°C (Ciclo quente).....	59
Tabela 9. Entalpias (Ciclo frio).	59
Tabela 10. Entalpias (Ciclo quente).	60
Tabela 11. Resultados dos cálculos (Ciclo frio).....	60
Tabela 12. Resultados dos cálculos (Ciclo quente).	60
Tabela 1A.Resultados de pressão e temperatura para o ciclo frio 16°C	70
Tabela 2A. Resultados de pressão e temperatura para o ciclo frio 20°C	71
Tabela 3A. Resultados de pressão e temperatura para o ciclo frio 24°C	71
Tabela 4A.Resultados de pressão e temperatura para o ciclo quente 27°C.....	72
Tabela 5A. Resultados de pressão e temperatura para o ciclo quente 29°C.....	72
Tabela 6A. Resultados de pressão e temperatura para o ciclo quente 31°C.....	72
Tabela 7A. Resultados de entalpias para o ciclo frio	73
Tabela 8A. Resultados de entalpias para o ciclo quente.....	73
Tabela 9A. Resultados dos cálculos para o ciclo frio.....	74
Tabela 10A. Resultados dos cálculos para o ciclo quente.....	75

LISTA DE SÍMBOLOS

X = Título

m_v = Massa de vapor

m_l = Massa de líquido

m_t = Massa total (líquido + vapor)

\dot{m}_f = Vazão mássica

W_c = Potência do compressor

h_{ecd} = Entalpia de Entrada do Condensador

h_{ecp} = Entalpia de Entrada do Compressor

h_{eev} = Entalpia de Entrada do Evaporador

Q_c = Calor rejeitado no condensador

COP = Coeficiente de performace

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO	16
3.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	17
3.3 TERMODINÂMICA	18
3.3.1 1ª Lei da Termodinâmica	18
3.4 DEFINIÇÕES FUNDAMENTAIS	19
3.4.1 Propriedades Termodinâmicas	19
3.4.2 Estado Termodinâmico	19
3.4.3 Processo	19
3.4.4 Ciclo	19
3.4.5 Substância Pura	20
3.4.6 Temperatura de Saturação	20
3.4.7 Líquido Saturado	20
3.4.8 Líquido Sub-resfriado	20
3.4.9 Vapor Saturado	20
3.4.10 Vapor Superaquecido	20
3.4.11 Título	21
3.4.12 Energia Interna	21
3.4.13 Entalpia (h)	21
3.4.14 Entropia (s)	21
3.5 REFRIGERAÇÃO	22
3.5.1 Componentes do Sistema de Refrigeração	22
3.5.1.1 <i>Compressor</i>	23
3.5.1.2 <i>Evaporador</i>	23
3.5.1.3 <i>Condensador</i>	24
3.5.1.4 <i>Válvula de Expansão</i>	25
3.5.1.5 <i>Tubulações</i>	25
3.5.1.6 <i>Fluído Refrigerante</i>	26
3.5.1.7 <i>Motor Elétrico</i>	26
3.5.2 Instrumentação	28
3.5.2.1 <i>Temperatura</i>	28
3.5.2.2 <i>Pressão</i>	28
3.6 DIAGRAMA DE MOLLIER	29
3.7 CICLOS DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR	30
3.8.1 Ar Condicionado Tipo Split	32
3.8.2 Princípio de Funcionamento	33
3.8.2.1 <i>Operação de Refrigeração</i>	33
3.8.2.2 <i>Operação de Aquecimento</i>	33
3.8.3 Válvula Reversora	34
4. METODOLOGIA	36
4.1 CONSTRUÇÃO DA BANCADA	36
4.1.1 Materiais	36
4.1.2 Máquinas	39

4.1.3 Ferramentas	39
4.1.4 Montagem	43
4.1.4.1 <i>Estrutura Metálica</i>	43
4.1.4.2 <i>Implantação dos Componentes</i>	44
4.1.4.3 <i>Instrumentação</i>	45
4.2 CUSTO	49
4.3 EXPERIMENTO	50
4.3.1 Ciclo Frio	50
4.3.2 Ciclo Quente	50
4.4 VALIDAÇÃO DA BANCADA	52
4.4.1 Vazão Mássica	52
4.4.2 Capacidade Frigorífica	53
4.4.3 Calor Rejeitado no Condensador	53
4.4.4 Dispositivo de Expansão	53
4.4.5 Coeficiente de Performance do Ciclo	54
4.5 ENTALPIA.....	54
5 RESULTADOS	57
5.1 PRESSÃO E TEMPERATURA.....	57
5.2 ENTALPIA.....	57
5.3 CÁLCULOS	60
5.4 ELABORAÇÃO DO ROTEIRO.....	61
6 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE A – ROTEIROS PARA ENSAIOS NA BANCADA (FRIO E QUENTE) ...	65

1 INTRODUÇÃO

O ciclo de refrigeração é um processo onde, em um circuito fechado, o fluido refrigerante consiga sucessivamente transformar-se em líquido e vapor, absorvendo calor pela evaporação e rejeitando calor pela condensação (JUNIOR,2003).

Segundo Stoeker e Jabardo (2002), a área de refrigeração e ar condicionado tem várias aplicações, embora que cada uma possua seu campo específico de atuação. A aplicação mais disseminada da refrigeração é sem dúvida o ar condicionado, embora outras áreas, por exemplo, a refrigeração industrial, no processamento e conservação de alimentos e remoção de calor em produtos as indústrias químicas, possuem equipamentos indispensáveis á refrigeração.

O sistema de ar condicionado apresenta outras aplicações distintas. O ar condicionado de conforto é definido como o passo de condicionamento, assim ajusta-se a temperatura do ambiente, umidade, pureza e distribuição de ar no sentido de promover o conforto térmico aos usuários do ambiente (STOECKER e JABARDO, 2002).

Em regiões onde a temperatura se mantém elevada durante o ano inteiro, empresas, restaurantes, bares, enfim todos os estabelecimentos instalam sistemas de resfrigeração, a fim de levarem conforto aos seus clientes. Já nas regiões que existe uma grande variação de temperatura e nas que são baixas constantemente , não é diferente, o sistema mais utilizado é o quente/frio, que é um sistema de refrigeração, que tanto refrigera como aquece. O ciclo de aquecimento funciona da mesma forma que o de refrigeração, a diferença é que existe uma válvula reversora que muda o caminho que o gás vai percorrer. Ao invés de ir primeiro para o condensador como no ciclo frio, o gás vai primeiro para o evaporador. Com isso, o condensador e o evaporador trocam de papel.

1.1 JUSTIFICATIVA

A constante interação teoria e prática tem possibilitado um melhor aprendizado aos estudantes universitários e de outros segmentos, onde a relação entre as duas possibilita melhor análise e reflexão crítica do assunto, uma vez que a teoria não dita a prática, porém, serve para manter a prática ao nosso alcance, de forma a mediar e compreender de maneira crítica o conhecimento que se almeja (JUNIOR, 2003).

Tendo em vista as matérias de refrigeração ministradas na Faculdade de Engenharia Mecânica – CAMTUC, e entendendo a importância da teoria caminhar junto com a prática, é

que o presente trabalho foi realizado, com o desejo de auxiliar na formação acadêmica, pois é a base para a construção das habilidades e competências que estruturam a qualidade do profissional. Neste aspecto, quando a universidade fornece infraestrutura suficiente ao estudante as condições de aprendizagem são aprimoradas.

Neste contexto, o presente trabalho evidencia a proposta de concepção e construção de uma bancada didática de laboratório, que deverá ser utilizada como suporte virtual instrumental nas aulas práticas de refrigeração, com a demonstração do ciclo termodinâmico por compressão a vapor.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma bancada didática para auxiliar no processo de aprendizado e treinamento dos alunos da UFPA CAMTUC, na qual se fará análise de pressões e do comportamento térmico do fluido refrigerante dentro de um ciclo reverso (frio e quente), e assim consequentemente facilitando o aprendizado dos mesmos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Demonstrar o funcionamento do ciclo de refrigeração reverso (frio e quente).
- Mensurar com auxílio de manômetros e termômetros, as pressões de alta e baixa e as temperaturas do R-22 no decorrer do sistema.
- Descrever as etapas do funcionamento do sistema ciclo reverso, e comparar as medições realizadas.
- Poder calcular o COP dos Sistemas (frio e quente).
- Criar um Roteiro para futuros ensaios na bancada.

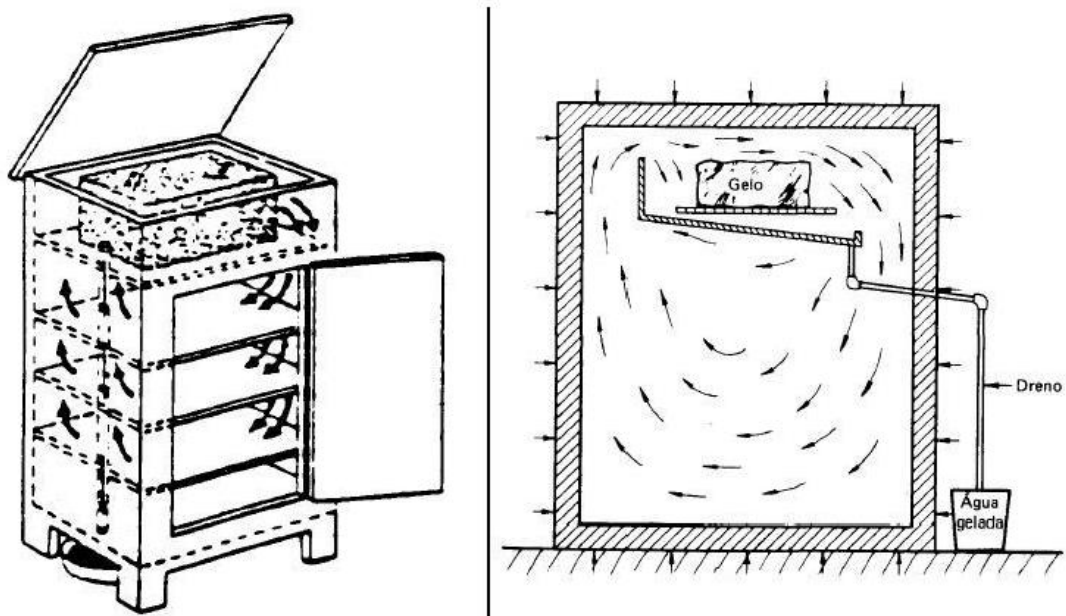
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

Desde a pré-história, o homem tem a necessidade, ou a vontade de obter formas de resfriamento que façam com que alimentos ou outras substâncias alcancem temperaturas inferiores às do ambiente. Registros anteriores a 2.000 A.C indicam que os efeitos exercidos por baixas temperaturas sobre a preservação de alimentos já eram conhecidos (PORTAL DA REFRIGERAÇÃO, 2014).

Em alguns países de clima frio haviam o costume de conservar os alimentos com a utilização da neve. Sendo muito utilizado antes e após do início da produção artificial de gelo. As primeiras geladeiras que utilizavam gelo natural surgiram no início do século XIX, sendo basicamente constituídas de placa de cortiça no formato de uma caixa vertical, como na Figura 1. Dentro era constituída por várias divisórias, onde na parte superior colocavam-se os blocos de gelo natural, logo na parte inferior eram depositados os alimentos a serem conservados. A fusão do gelo absorvia parte do calor dos alimentos e reduzia, de forma considerável, a temperatura no interior da geladeira (SOUZA E JUNIOR, 2014).

Figura 1. Primeiras geladeiras que utilizavam gelo natural.



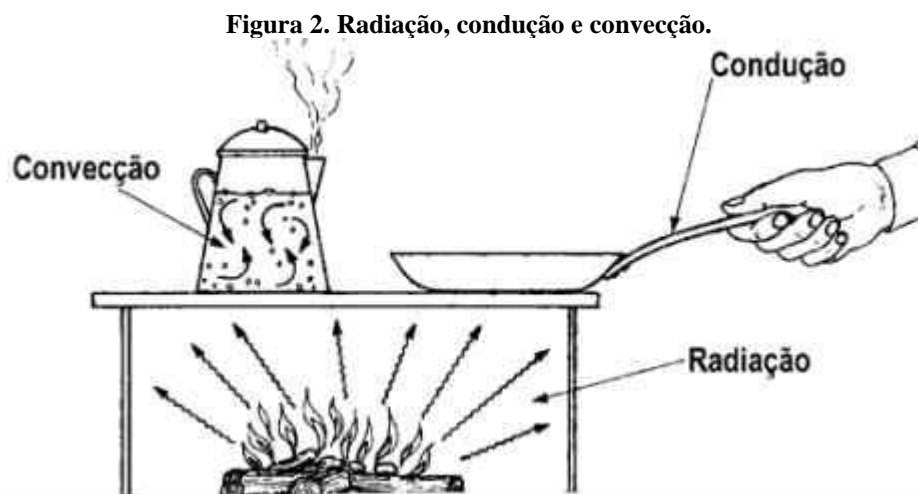
Fonte: Souza e Junior (2014).

Só em 1918 é que apareceu o primeiro refrigerador automático, movido a eletricidade, e que foi fabricado pela Kelvinator Company, dos Estados Unidos. A partir de 1920, a evolução foi tremenda, com uma produção sempre crescente de refrigeradores mecânicos (PORTAL DA REFRIGERAÇÃO, 2014).

3.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Segundo Bejan (1996) a transferência de calor é a energia transferida de um corpo para outro, devido à diferença de temperatura existente entre eles. O corpo de maior temperatura transfere o calor para o de menor temperatura, até que haja equivalência de temperatura entre eles, ou seja, um equilíbrio térmico.

Há três mecanismos conhecidos para transferência de calor: radiação, condução e convecção como ilustra a Figura 2.



Fonte: Crestani (2013).

Para Kreith e Bohn (1977), a condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio sólido, líquido ou gasoso, ou entre meios diferentes em contato físico direto. Dessa forma, pode-se dizer que a transmissão de calor por condução ocorre quando dois ou mais corpos, com temperaturas diferentes encontram-se encostadas uma a outra, onde ocorre a agitação de moléculas, a partir da energia do corpo de temperatura mais elevada, para o de temperatura mais baixa, fazendo com que a energia cinética das moléculas do corpo de baixa temperatura se eleve.

O processo de convecção, para Braga Filho (2004), são processos que envolvem a transferência de calor entre uma superfície sólida e um fluido, líquido ou gás. Nesse processo, a matéria aquecida se desloca, havendo assim, transporte de matéria. Em líquidos, onde existe

grande mobilidade das partículas aquecidas, devido ao contato direto com a superfície sólida, as partículas tendem a se deslocar para locais de temperaturas mais baixas, ocasionado transferência de energia de uma posição para outra, o que caracteriza a transmissão de calor por convecção.

A radiação é definida como sendo um processo pelo qual o calor é transmitido de um corpo a alta temperatura para um de menor temperatura quando os mesmos estão separados no espaço, ainda que entre eles, exista vácuo (KREITH e BOHN, 1977). Dessa forma, não é necessário que exista contato físico entre os corpos para que a energia em forma de calor seja transmitida entre eles, sendo denominado de calor radiante e é feita sob forma de ondas eletromagnéticas.

3.3 TERMODINÂMICA

Em termos gerais, a termodinâmica é a relação entre calor trocado e trabalho realizado em um determinado sistema, onde as variações de temperatura, pressão e volume serão responsáveis pelas transformações ocorridas (BEJAN, 1996).

Termodinâmica é a ciência que trata o calor, do trabalho e daquelas propriedades das substâncias relacionadas ao calor e ao trabalho. O calor é definido como sendo a forma de transferência de energia através da fronteira de um sistema, numa dada temperatura para outro sistema ou meio, com temperatura inferior, em virtude da diferença entre as temperaturas dos dois sistemas (CRESTANI, 2013).

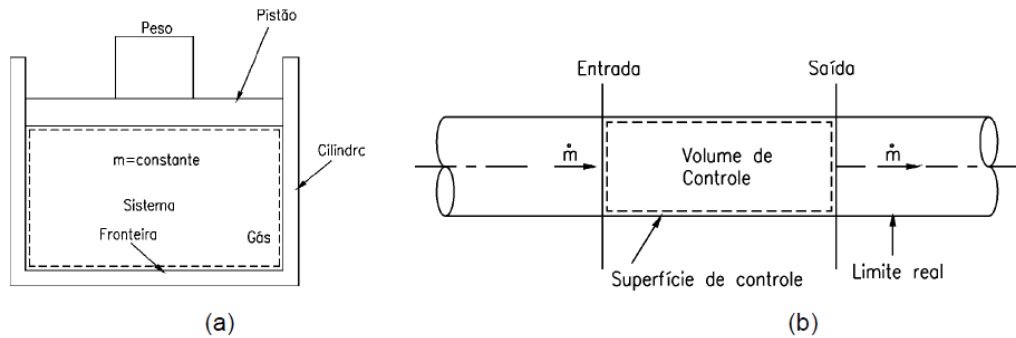
3.3.1 1ª Lei da Termodinâmica

Chama-se de 1ª Lei da Termodinâmica, o princípio da conservação de energia, aplicada à termodinâmica, o que torna possível prever o comportamento de um sistema gasoso ao sofrer uma transformação termodinâmica. Para se aplicar a primeira lei da termodinâmica, é necessário primeiro estabelecer o conceito de sistema termodinâmico. Assim, o sistema termodinâmico consiste em uma quantidade de matéria (massa), ou região, para a qual a atenção está voltada. Demarca-se um sistema termodinâmico em função daquilo que se deseja analisar, e tudo aquilo que se situa fora do sistema termodinâmico é chamado meio ou vizinhança (PIRANI, 2007).

O sistema termodinâmico é delimitado através de suas fronteiras, as quais podem ser móveis, fixas, reais ou imaginárias. O sistema pode ainda ser classificado em sistema fechado, como ilustra a Figura 3(a), correspondendo a uma região onde não ocorre fluxo de massa através de suas fronteiras (tem massa fixa), e sistema aberto como mostra a Figura 3(b), que

corresponde a uma região onde ocorre fluxo de massa através de suas fronteiras, sendo também conhecido por volume de controle (PIRANI, 2007).

Figura 3. (a) Sistema fechado, (b) Sistema aberto.



Fonte: Pirani (2007).

3.4 DEFINIÇÕES FUNDAMENTAIS

3.4.1 Propriedades Termodinâmicas

São características macroscópicas de um sistema, como: volume, massa, temperatura, pressão etc (PIRANI, 2007).

3.4.2 Estado Termodinâmico

Pode ser entendido como sendo a condição em que se encontra a substância, sendo caracterizado pelas suas propriedades (PIRANI, 2007).

3.4.3 Processo

É uma mudança de estado de um sistema. O processo representa qualquer mudança nas propriedades da substância. Uma descrição de um processo típico envolve a especificações dos estados de equilíbrio inicial e final (SOUZA E JUNIOR, 2014).

3.4.4 Ciclo

É um processo, ou mais especificamente uma série de processos, onde o estado inicial e o estado final do sistema (substância) coincidem (PIRANI, 2007).

3.4.5 Substância Pura

É qualquer substância que tenha composição química invariável e homogênea. Ela pode existir em mais de uma fase (sólida, líquida e gasosa), mas a sua composição química é a mesma em qualquer das fases (PIRANI, 2007).

3.4.6 Temperatura de Saturação

A temperatura à qual um fluido mudará da fase líquida para a fase de vapor ou, reciprocamente, da fase de vapor para fase líquida, é chamada de temperatura de saturação. Um líquido à temperatura de saturação é chamado de vapor saturado (DOSSAT, 2004).

3.4.7 Líquido Saturado

Se uma substância se encontra como líquido à temperatura e pressão de saturação, diz-se que ela está no estado de líquido saturado (PIRANI, 2007).

3.4.8 Líquido Sub-resfriado

Se, depois da condensação, o líquido resultante é resfriado de modo que sua temperatura seja reduzida abaixo da temperatura de saturação, o líquido é chamado sub-resfriado (DOSSAT, 2004).

3.4.9 Vapor Saturado

Se uma substância se encontra completamente como vapor na temperatura de saturação, é chamada de “vapor saturado”, e neste caso o título é igual a 1 ou 100%, pois a massa total (mt) é igual à massa de vapor (mv) (SOUZA E JUNIOR, 2014).

3.4.10 Vapor Superaquecido

Quando o vapor está a uma temperatura maior que a temperatura de saturação é chamada “vapor superaquecido”. A pressão e a temperatura do vapor superaquecido são propriedades independentes, e neste caso, a temperatura pode ser aumentada para uma pressão constante. Em verdade, as substâncias que chamamos de gases são vapores altamente superaquecidos (PIRANI, 2007).

3.4.11 Título

Quando uma substância se encontra parte líquida e parte vapor, na temperatura de saturação (isto ocorre, em particular, nos sistemas de refrigeração, no condensador e no evaporador), a relação entre a massa de vapor e a massa total, isto é, massa de líquido mais a massa de vapor, são chamadas de título (x), expressa pela eq. (1) (PIRANI, 2007).

$$X = \frac{m_v}{m_l - m_v} = \frac{m_v}{m_t} \quad (1)$$

Onde:

X = Título

m_v = Massa de vapor

m_l = Massa de líquido

m_t = Massa total (líquido + vapor)

3.4.12 Energia Interna

É a energia que a matéria possui devido ao movimento e/ou forças intermoleculares. Segundo (PIRANI, 2007), esta forma de energia pode ser decomposta em duas partes:

- Energia cinética interna \Rightarrow relacionada à velocidade das moléculas;
- Energia potencial interna \Rightarrow relacionada às forças de atração entre as moléculas.

3.4.13 Entalpia (h)

Entalpia é a quantidade de energia contida em uma determinada substância que sofre reação, com ela calcula-se o calor de um sistema, é a forma mais usada de expressar o conteúdo calorífico de um componente em uma reação química. A variação da Entalpia está na diferença entre a entalpia dos produtos e a dos reagentes, sendo assim, o calor de uma reação corresponde ao calor liberado ou absorvido em uma reação (SOUZA, 2010).

3.4.14 Entropia (s)

Esta propriedade termodinâmica é representada segundo alguns autores, como uma medida da desordem molecular da substância ou, segundo outros, a medida da probabilidade de ocorrência de um dado estado da substância. Cada propriedade de uma substância, em um

dado estado, tem somente um valor finito. Essa propriedade sempre tem o mesmo valor para um estado dado, independentemente de como foi atingido tal estado (PIRANI, 2007).

3.5 REFRIGERAÇÃO

Segundo Miller (1929) “A refrigeração é o processo de remoção de calor de onde ele não é desejado”. O calor é removido do ar ambiente para estabelecer o conforto humano. Ainda para Miller (1929) durante a refrigeração, o calor indesejado é transferido mecanicamente para uma área onde não seja prejudicial.

É preciso entender também que a refrigeração está ligada à remoção do calor de um corpo, transferindo-o para outro. Nesse processo, o calor sempre flui do objeto ou substância com temperatura mais alta para aquele que tem temperatura mais baixa. (CLUBE DE REFRIGERAÇÃO, 2013).

Costa (1982) define refrigeração como sendo a retirada de calor de um corpo, onde pode-se fazer as seguintes distinções:

- 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.

3.5.1 Componentes do Sistema de Refrigeração

Um sistema de refrigeração tem sua variação principalmente em função dos componentes que compõem o sistema (projeto, desempenho dos componentes, dimensionamento, etc), e dos regimes de trabalho do sistema (GARCIA,1997). A seguir, apresenta-se os principais componentes que fazem parte do sistema de refrigeração e suas definições.

3.5.1.1 Compressor

Segundo Silva (2005), o compressor é um dos principais componentes do sistema de refrigeração. Sua função é aumentar a pressão do fluido refrigerante e promover a circulação desse fluido no sistema. Este autor define os principais tipos de 13 compressores utilizados são: alternativo, centrífugo, parafusos, palhetas e scroll.

A escolha do tipo de compressor depende, essencialmente, da capacidade da instalação, que pode ser dividida, em termos de temperatura de vaporização e do fluido frigorífico utilizado em: pequena capacidade, média capacidade e grande capacidade (COSTA, 1982). Na Figura 4, têm-se exemplos de modelos de compressores de refrigeração existentes no mercado.

Figura 4. Modelos de compressores para refrigeração.



Fonte: Clube da refrigeração (2013).

3.5.1.2 Evaporador

Costa (1982) define evaporadores como sendo os dispositivos das instalações de refrigeração onde o calor é retirado do meio. Nessa fase, o fluido refrigerante sofre uma mudança de estado, saindo da fase líquida para a gasosa. Esse processo de retirada de calor pode ser realizado diretamente pelo fluido frigorífero ou indiretamente, por meio de fluidos intermediários, normalmente água ou salmoura. Os evaporadores também são conhecidos como: serpentina de resfriamento, resfriador da umidade, serpentina de congelamento, congelador, etc.

Existem vários tipos de evaporadores, conforme a Figura 5, onde são classificados conforme o método utilizado para controlar o refrigerante e sua interface com o meio a ser refrigerado (evaporadores de expansão seca, inundados, de tubo liso, do tipo tubo com aletas (estáticos e forçados) Roll-Bond).

Figura 5. Evaporadores.

Fonte: Crestani (2013).

3.5.1.3 Condensador

O condensador tem a finalidade de esfriar e condensar o vapor superaquecido proveniente da compressão, nas instalações de refrigeração mecânica por meio de vapores (CRESTANI, 2013). Esse processo é realizado transferindo-se o calor do fluido aquecido para o meio, usando para isso uma fonte de resfriamento, que pode ser a água, ar ou até mesmo ar e água em contato, conforme exemplos de condensadores da Figura 6. Quando o condensador transfere uma quantidade de ar menor do que a necessária, eleva-se a pressão de descarga, sendo ela a causa principal de falha em compressores.

O processo de transmissão de calor em um condensador é verificado em três fases distintas: de superaquecimento; condensação; sub-resfriamento (COSTA,1982).

Figura 6. Condensadores.

Fonte: Clube da refrigeração (2013).

3.5.1.4 Válvula de Expansão

Conforme Costa (1982) as válvulas de expansão são componentes utilizadas nos sistemas de refrigeração mecânicos por meio de vapores, onde provocam a expansão do fluido frigorífero liquefeito, desde a pressão de condensação até a pressão de vaporização do ciclo. Sua principal característica é a capacidade de controlar a quantidade de refrigerante que penetra no evaporador e a alimentação de reservatórios de líquidos a baixa pressão. Na Figura 7, pode-se observar exemplos de modelos de válvulas de expansão utilizados em sistemas de refrigeração.

Figura 7. Válvulas de expansão.



Fonte: Costa (1982).

3.5.1.5 Tubulações

As tubulações ou mangueiras de refrigeração são componentes comuns em instalações frigoríficas que apresentam como função principal o transporte do refrigerante entre os distintos componentes do sistema. Esse transporte do refrigerante normalmente ocorre em condições variadas e está diretamente relacionado ao estado do equipamento e de seus componentes, assim como, do estado do próprio refrigerante (STOECKER e JABARDO, 2002).

Outro fator considerável é quanto à seleção correta de mangueiras, tubulações e das conexões que fazem parte do sistema, pois as mesmas devem ser compatíveis com o fluido refrigerante que será usado. Além disso, o material empregado para confecção das mesmas deve suportar as pressões e as temperaturas de trabalho na qual o sistema estará exposto. Os dimensionamentos das mangueiras e das tubulações não necessitam serem calculadas, uma vez que sua função básica é transportar o refrigerante entre os distintos componentes da

instalação, devendo assim, atender as necessidades do sistema, limitando ao máximo as perdas de carga (PARKER, 1999).

Na Figura 8, visualizam-se modelos de tubulações e conexões aplicados em sistemas de refrigeração.

Figura 8. Tubulações e conexões.



Fonte: Clube da refrigeração (2013).

3.5.1.6 *Fluído Refrigerante*

Segundo Ferraz e Gomes (2008) os fluídos refrigerantes têm como principal função absorver calor de uma substância do ambiente a ser resfriado. Normalmente, os fluidos existentes no mercado não atendem todas as necessidades e propriedades desejáveis, pois para determinados aplicações podem ou não, ser considerados ideais. O ideal, conforme o autor, é que atendam o maior número de qualidades relativas a um determinado fim ou aplicação.

Os fluidos refrigerantes com qualidade comprovada, em sua maioria, caracterizam-se por possuírem propriedades como:

- Anticorrosivos;
- Baixo volume específico, exigindo menor trabalho do compressor;
- Condensação a pressões moderadas;
- Não ser tóxico e inflamável;
- Permitir evaporação acima da pressão atmosférica, etc.

Vários são os tipos de fluidos refrigerantes disponíveis no mercado, dependendo de suas composições e aplicações. Entre eles podemos citar o R-134a, que caracteriza-se por ser um refrigerante que substitui o CFC -12 em sistemas automotivos e sistemas de refrigeração industriais, não sendo agressivo a camada de ozônio (FERRAZ e GOMES, 2008).

3.5.1.7 *Motor Elétrico*

Os motores elétricos são máquinas de trabalho que convertem energia elétrica em energia mecânica de rotação. São considerados os mais utilizados de todos os tipos

de motores existentes, apresentando grandes 17 vantagens, como: baixo custo de manutenção, fácil manuseio e transporte, apresentam bom desempenho e rendimento, além de serem movidos por energia elétrica. Basicamente, seu princípio de funcionamento é a partir da interação entre campos eletromagnéticos, onde há forças mecânicas conduzindo a corrente elétrica em um determinado campo magnético (WEG, 2013).

Ainda conforme Weg (2013), basicamente, os motores elétricos são classificados em:

- Motores de corrente contínua;
- Motores de corrente alternada;
- Motores especiais.

Segundo Ferraz e Gomes (2008) para um bom aproveitamento e desempenho dos motores elétricos, alguns cuidados são necessários, tanto na sua instalação, quanto na manutenção:

- Devem ser instalados em locais de fácil acesso para inspeção e manutenção;
- Sua fixação deve ser em local plano, isento de vibrações;
- Deve haver um perfeito alinhamento com a máquina acionada;
- Deve haver inspeções regulares, quanto a lubrificação dos rolamentos, níveis de isolamento, desgaste e elevação da temperatura.

Na Figura 9, têm-se exemplos de motores elétricos, em vista externa e vista em corte, ilustrando os componentes internos.

Figura 9. Motores elétricos.



Fonte: Crestani (2013).

3.5.2 Instrumentação

Soisson (2002) define instrumentos, como sendo ferramentas indispensáveis utilizadas para estabelecer e manter os padrões de qualidade, sendo usadas para controlar as variáveis em um processo ou sistema a fim de alcançar as especificações do produto. Eles podem ser de vários tipos e segmentos. Na sequência, serão abordados os principais instrumentos utilizados no processo de refrigeração, sendo eles:

3.5.2.1 Temperatura

Para Soisson (2002), a temperatura é uma medida industrial importante, sendo exigida em locais que a aplicação de calor ou frio é necessária para o controle de operações ou processos de fabricação. Sua aplicação indica se é necessário um simples visualizador ou um controlador de temperatura. Normalmente, para esses casos, são indicados termômetros, que podem ou não ser usados com registradores e dispositivos de controle. Atualmente, vários são os tipos de termômetros disponíveis no mercado, conforme mostra a Figura 10, variando sua aplicabilidade e função. Os tipos mais usuais são: termômetro bimetálico; termômetro de gás; termômetro de infravermelho; termômetro de máxima; termômetro de mínima e termômetro de mercúrio.

Figura 10. Tipos de termômetros.



Fonte: Crestani (2013).

3.5.2.2 Pressão

Medições de pressão são consideradas uma das mais importantes realizadas na indústria, principalmente em processos contínuos, como em indústrias químicas e de fabricação (CRESTANI, 2013). Para o autor, o número de instrumentos usados para a

medição de pressão, é o maior comparado a outros tipos de instrumentos. A pressão, que é uma força exercida sobre uma determinada área, pode ser aplicada em apenas um ponto de uma superfície qualquer, ou distribuída sobre a mesma. Podem ser representadas pelas unidades de: psi, bar, atmosfera, Pascal, etc. Essas medidas de pressão podem ser de valores considerados baixos (vácuo) até milhares de toneladas. Para isso, se destacam os manômetros, que podem ser observados na Figura 11, como sendo os instrumentos que realizam essas medições.

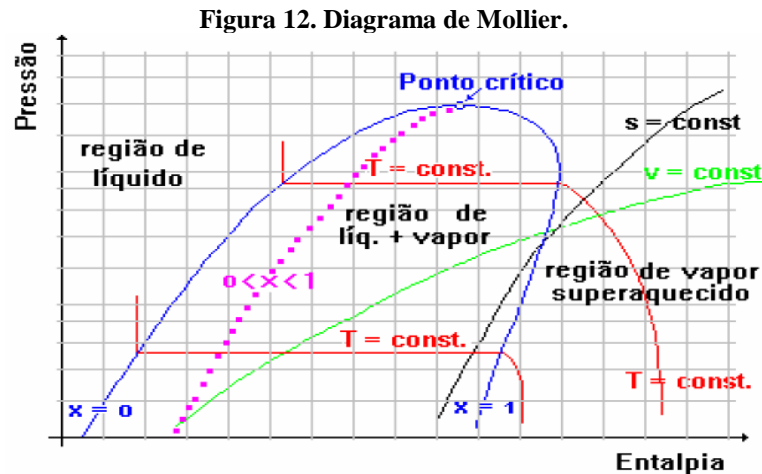
Figura 11. Manômetros.



Fonte: Souza e Junior (2014).

3.6 DIAGRAMA DE MOLLIER

O diagrama é construído com a ordenada pressão absoluta (p) e como abcissa a entalpia (h), este modelo é mais frequente nos fluidos frigoríficos, pois nessa estrutura é mais adequado à representação do ciclo termodinâmico de refrigeração. Chamamos estes diagramas de Diagrama de Mollier. Na Figura 12, está representado este diagrama, onde mostra os elementos essenciais, como pressão-entalpia ($p-h$) para o refrigerante 22. As características gerais de tais diagramas são as mesmas para todas as substâncias puras (PIRANI, 2007).



Fonte: Pirani (2007).

Esses diagramas são utilizados para representar a relação entre as propriedades termodinâmicas, também possibilitam a visualização dos processos que ocorrem em cada parte do sistema (MARTINELLI, 2008).

No diagrama de Mollier, pode-se destacar três regiões características, que são:

- A região à esquerda linha de líquido saturado ($X=0$) é chamada de região de líquido sub-resfriado.
- A região compreendida entre as linhas de líquido saturado ($X=0$) e vapor saturado ($X=1$), é chamada de região de vapor úmido ou região de líquido mais vapor.
- A região à direita da linha de vapor saturado ($X=1$), chamada de região de vapor superaquecido.

3.7 CICLOS DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

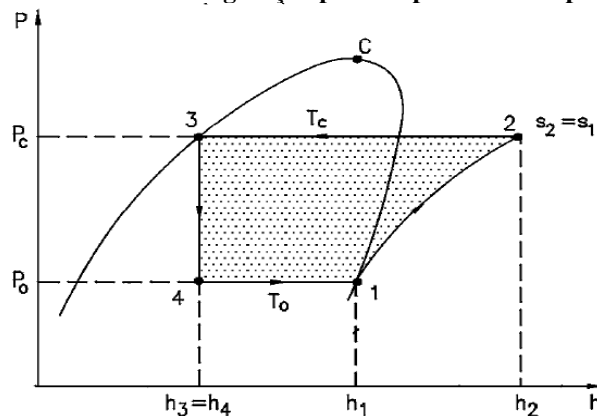
Junior (2003) define ciclo de refrigeração, como sendo o processo onde, em um circuito fechado, o fluido refrigerante consiga sucessivamente transformar-se em líquido e vapor, absorvendo calor pela evaporação e rejeitando calor pela condensação.

Um ciclo térmico real qualquer deveria ter para comparação o ciclo de CARNOT, por ser este o ciclo de maior rendimento térmico possível. Entretanto, dado as peculiaridades do ciclo de refrigeração por compressão de vapor, define-se um outro ciclo que é chamado de ciclo teórico, no qual os processos são mais próximos aos do ciclo real e, portanto, torna-se mais fácil comparar o ciclo real com este ciclo teórico (existem vários ciclos termodinâmicos ideais, diferentes do ciclo de Carnot, como o ciclo ideal de Rankine, dos sistemas de potência a vapor, o ciclo padrão ar Otto, para os motores de combustão interna a gasolina e álcool, o ciclo padrão ar Brayton, das turbinas a gás, etc). Este ciclo teórico ideal é aquele que terá melhor performance operando nas mesmas condições do ciclo real (PIRANI, 2007).

Para Stoecker e Jabardo (2002), o estudo dos ciclos termodinâmicos envolve um procedimento para obtenção de refrigeração de modo contínuo. Este procedimento consiste em fazer com que o fluido refrigerante passe por uma série de processos e retorne ao seu estado inicial.

A Figura 13 mostra um esquema básico de um sistema de refrigeração por compressão de vapor com seus principais componentes e o seu respectivo ciclo teórico construído sobre um diagrama de Mollier, no plano P-h.

Figura 13. Sistema de refrigeração por compressão de vapor.



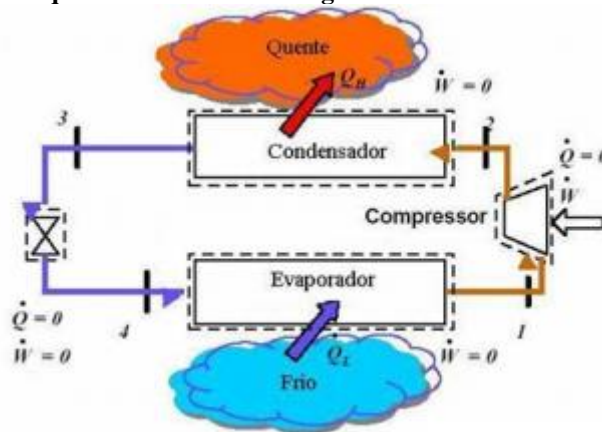
Fonte: Souza (2014).

Para os autores Stoecker e Jabardo (2002), o ciclo de refrigeração é composto por quatro transformações, conforme descrito abaixo:

- Compressão: 1-2 Compressão isentrópica, na qual o vapor saturado ou superaquecido passa da pressão P_1 , para a pressão P_2 , até a pressão de condensação.
- Condensação: 2-3 Passando pelo condensador, o vapor superaquecido, proveniente da compressão, é resfriado isobaricamente até a temperatura de saturação, sendo condensado isobárica-isotermicamente, perdendo calor à pressão constante.
- Expansão: 3-4 Neste processo, ocorre a expansão isoentálpica do vapor condensado até a pressão de evaporação, passando da pressão P_2 para a pressão P_1 .
- Evaporação: 4-1 Passando pelo evaporador, o líquido refrigerante evapora até o estado de vapor saturado a pressão constante, retirando calor do meio a refrigerar.

Na Figura 14, podem-se visualizar as quatro transformações que ocorrem com o refrigerante durante o ciclo de refrigeração.

Figura 14. Transformações que ocorrem com o refrigerante durante o ciclo de refrigeração.



Fonte: Cestani (2013).

3.8 CICLO REVERSO

O ciclo reverso está presente nos aparelhos que tem o poder de aquecimento, também conhecido como quente e frio.

O condicionador de ar tem como seu principal objetivo deixar ambientes em temperaturas agradáveis criando uma sensação de conforto térmico (aquecendo ou refrigerando) ou até mesmo em determinados ambientes em que o seu uso é indispensável como por exemplo: CDP, Laboratórios, Hospitais, etc (PORTAL DA REFRIGERAÇÃO, 2014).

3.8.1 Ar Condicionado Tipo Split

Segundo Portal Da Refrigeração (2014) o ar condicionado split possui evaporador e condensador separados e interligados através de tubulações de cobre que nos permite uma grande distância entre as unidades e flexibilidade de instalação, assim proporcionando menor nível de ruído e uma melhor distribuição do ar devido à grande área de insuflamento do ar, tornando-se mais econômico.

Existem variações de split que tem suas funcionalidades similares ao descrito acima. Os modelos comerciais conhecidos são: Multi-split, split piso teto, split built-in (embutido), split teto quadrado, split cassete, etc. São modelos splits com configurações diferentes.

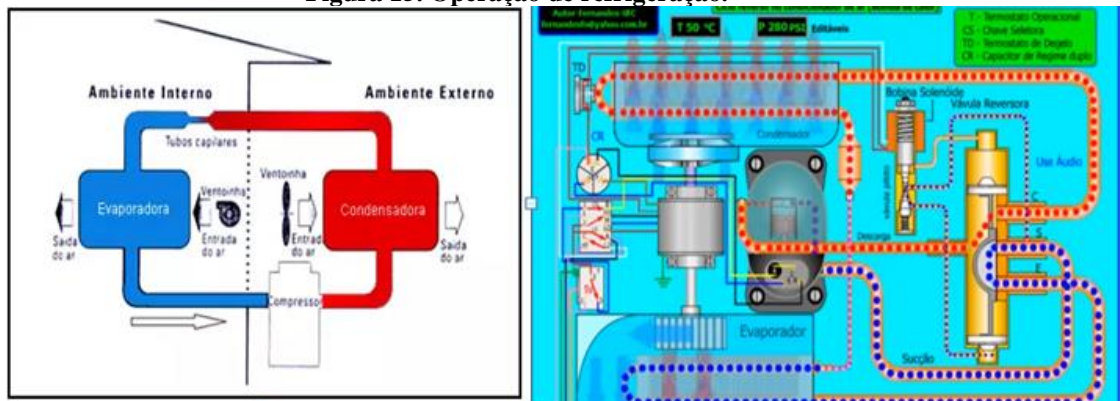
3.8.2 Princípio de Funcionamento

O princípio de funcionamento dos condicionadores de ar, nada mais é do que a troca de temperatura do ambiente, através da passagem do ar pela serpentina do evaporador que por contato sofre queda ou aumento de temperatura, dependendo do ciclo utilizado, baixando a umidade relativa do ar (CLUBE DA REFRIGERAÇÃO, 2013).

3.8.2.1 Operação de Refrigeração

Para Junior, (2013) no caso da operação de refrigeração o gás sai do compressor em alta pressão e alta temperatura. No caminho que percorre no condensador ele perde calor e continua perdendo no “elemento de expansão” (tubo capilar e filtro secador). No evaporador, o gás já chega frio, pronto para refrigerar o ambiente interno e carregando o calor para o ambiente externo. A figura 15 ilustra o ciclo de refrigeração.

Figura 15. Operação de refrigeração.



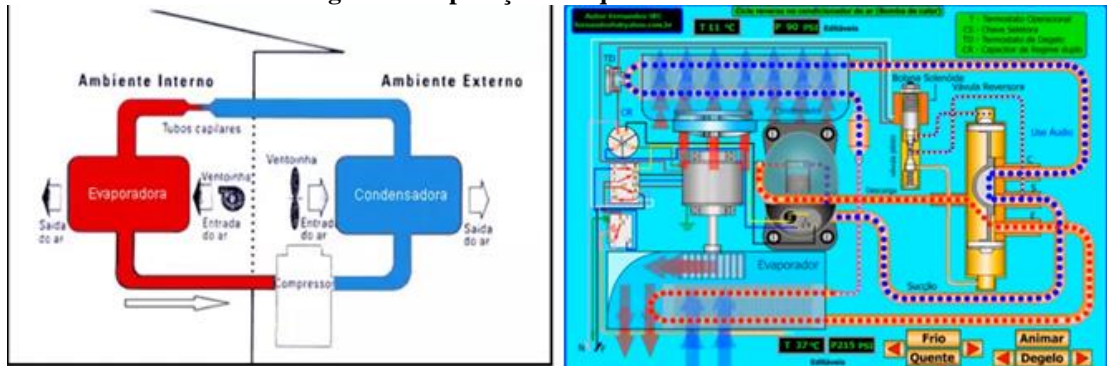
Fonte: Junior (2013).

3.8.2.2 Operação de Aquecimento

Para operação de aquecimento o princípio é o mesmo. A diferença é que existe uma válvula reversora que muda o caminho que o gás vai percorrer. Ao invés de ir primeiro para o condensador como no ciclo frio, o gás vai primeiro para o evaporador. Com isso, o condensador e a evaporadora trocam de papel. Tudo funciona da mesma forma, só que inversa. Quem fica quente é o evaporador (ambiente interno) e o condensador fica frio (ambiente externo) (JUNIOR, 2013).

Na figura 16 mostra o ciclo de aquecimento.

Figura 16. Operação de aquecimento.

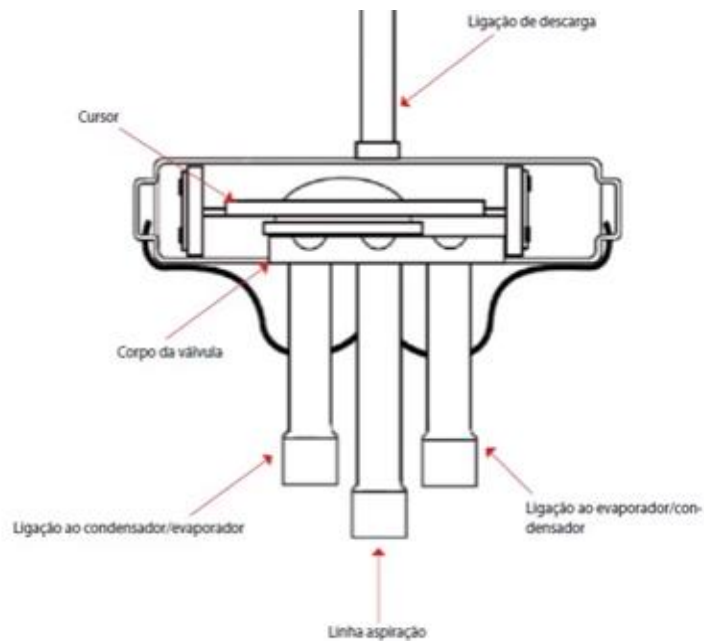


Fonte: Junior (2013).

3.8.3 Válvula Reversora

A válvula reversora em um sistema de ar condicionado tem a função de fazer as mudanças do ciclo refrigeração/aquecimento. Na Figura 17 pode-se observar a válvula reversora.

Figura 17. Válvula Reversora.



Fonte: Martinelli (2013).

Para Junior, (2013) a mesma se comporta da seguinte forma:

- O tubo isolado, ou seja, o que se encontra sozinho é o tubo que vem do compressor da linha de descarga do tubo de alta. Do outro lado da válvula têm-se três tubos, sendo o central sempre o tubo da linha de aspiração ou linha de sucção.
- Os tubos que ficam do lado do tubo central, são os que vão para o evaporador ou compressor dependendo do ciclo que estará funcionando sendo eles refrigeração ou aquecimento.
- No corpo da válvula existe um pino aonde vai um solenoide e este solenoide é quem puxa o pino ou cursor para o interior da válvula ocasionando assim a mudança do ciclo





4. METODOLOGIA






4.1 CONSTRUÇÃO DA BANCADA

4.1.1 Materiais

Os materiais usados na construção da bancada estão listados e descritos respectivamente na Tabela 1.

Tabela 1. Materiais usados na construção da bancada.

DESCRIÇÃO	FUNÇÃO	QTD	UND	IMAGEM
Split 9000 btus	Sistema de refrigeração	1	Pç	
Chapa de aço NA 18 (200X120)	Sustentação dos componentes da bancada	1	m ²	
Metalon (30x20)	Estrutura da Bancada	1	m	
Manômetro de Alta	Medição na região de alta pressão	1	Pç	

Manômetro de Baixa	Medição na região de baixa pressão	1	Pç	
Termômetros	Medir temperatura	4	Pç's	
T's	Utilizado para fazer a implantação dos manômetros no sistema e fazer ligações entre as tubulações	2	Pç's	
Niple	Utilizado para fazer a ligação entre um tubo e outro de cobre	3	Pç's	
Porca	Auxiliar na ligação entre o niple/T's e o tubo	10	Pç's	

Rodizio fixo	Para facilitar no manuseio da bancada	4	Pç's	
Abraçadeira	Fixar os componetes	2	Und	
Tubo de Cobre 1/4, 3/8, 5/16	União dos componentes para passagem do fluido refrigerante	3,2	M	
Tinta para metal veloz brilhosa	Utilizada para pintar a estrutura metálica	3,6	L	

Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Máquinas

Uma furadeira (Figura 18), foi usada para abrir furos, com a finalidade de fixação de componentes.

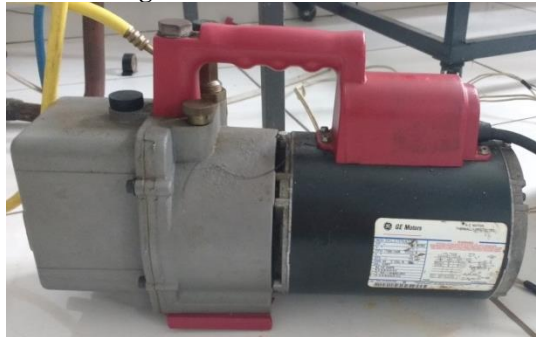
Figura 18. Furadeira.



Fonte: Autoria própria

Uma bomba de vácuo (Figura 19) usado para a criação de um vácuo a fim de mover líquidos e outros materiais antes da aplicação do fluido refrigerante.

Figura 19. Bomba de vácuo.



Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Ferramentas

Como ferramentas, foi utilizado chaves de boca (Figura 20) de vários tamanhos, para apertar parafusos utilizados para fixar alguns componentes na bancada.

Figura 20. Chave de boca.



Fonte: Autoria própria.

Um alicate universal (Figura 21), utilizado para cortar fios e ajudar a segurar com firmeza algumas superfícies.

Figura 21. Alicate universal.



Fonte: Autoria própria.

Chave Allen (Figura 22), com função de ser introduzida nos parafusos para girá-lo, apertando-o, afrouxando-o ou ajustando-o.

Figura 22. Chave allen.



Fonte: Autoria própria.

Chave phillips (Figura 23), foi utilizada para apertar e afrouxar parafusos do tipo fenda cruzada.

Figura 23. Chave phillips.



Fonte: Autoria própria.

Ferramenta para corte e flangeamento de tubulação (Figura 24), foi utilizado para cortar as tubulações de cobre.

Figura 24. Ferramenta de corte e flangeamento de tubulação.



Fonte: Autoria própria.

Usou-se Serra-copo e Brocas de aço (Figura 25), para furar a estrutura metálica e assim facilitar o suporte dos equipamentos de refrigeração e medições.

Figura 25. Brocas e serra-copo.



Fonte: Autoria própria.

Usou-se o nível (Figura 26) para medir e observar se havia alguma inclinação, antes de fixar a unidade evaporadora na estrutura metálica.

Figura 26. Nível.



Fonte: Autoria própria.

Foi utilizado o manifold para fazer o vácuo e liberar o gás de forma correta na split (Figura 27).

Figura 27. Manifold.



Fonte: Autoria própria.

Chave inglesa 6" (Figura 28), foi usada para facilitar mecanicamente a aplicação do toque para girar os parafusos e porcas utilizados para fixar alguns acessórios na bancada.

Figura 28. Chave de boca regulável.



Fonte: Autoria própria.

Torno de bancada de mandíbula de 4" (Figura 29), serviu para auxiliar no aperto dos T's nas tubulações.

Figura 29. Torno de bancada de mandibula.

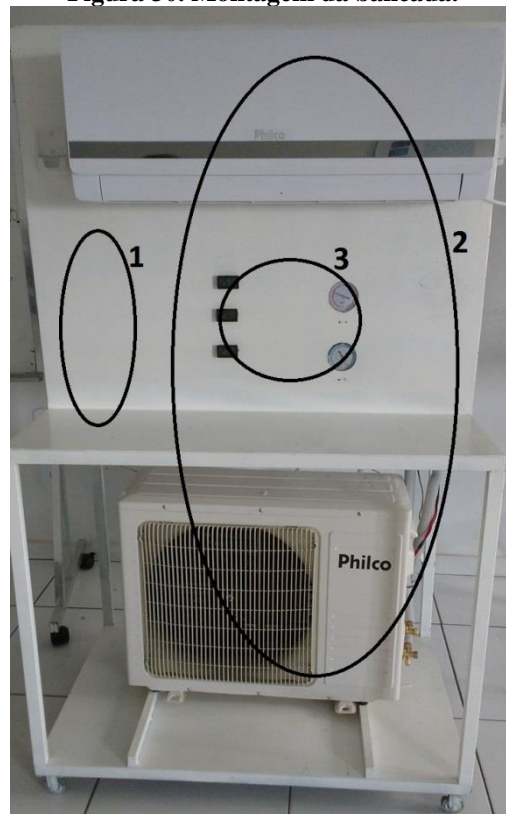


Fonte: Autoria própria.

4.1.4 Montagem

A montagem da bancada de refrigeração aconteceu em tres momentos: construção da estrutura metálica (1); implantação dos componentes na estrutura (2); instrumentação (3) (Figura 30).

Figura 30. Montagem da bancada.



Fonte: Autoria própria.

4.1.4.1 Estrutura Metálica

A estrutura metálica tem como principal função a sustentação e a locomoção da bancada de refrigeração. Ela foi construída com chapas de aço 18, barras metálicas de

metalon e rodinhas para facilitar a locomoção. A união dessa estrutura foi realizada em uma serralheria.

4.1.4.2 Implantação dos Componentes

O primeiro passo consistiu na furação da estrutura metálica para suporte da evaporadora, saídas dos sensores de temperatura e para os manômetros, utilizando uma serra-copos e brocas acoplados em um furadeira (Figura 31).

Figura 31. Furação da Bancada.



Fonte: Autoria própria.

Em seguida o suporte e a evaporadora foram fixados na parte superior da bancada, e a condensadora na parte inferior (Figura 32 (A)). Com os principais componentes em posição na bancada, a ligação elétrica entre as duas foi feita utilizando cabos específicos para as fases bivolt, neutro e válvula solenoide (*válvula da reversão*); além da fixação de um disjuntor na lateral da bancada e sua ligação com o cabo de alimentação da bancada, o disjuntor foi fixado com o auxílio de araldite (Figura 32 (B)).

Figura 32. (A) Implantação dos elementos na estrutura metálica (B) Implantação do disjuntor na lateral da estrutura.



Fonte: Autoria própria.

O próximo passo consistiu na preparação (conexão dos adaptadores e flanges) das tubulações de cobre de 1/4, 3/8 e 5/16 polegadas; na conexão de manômetros na tubulação da saída do compressor, localizado na condensadora e na saída da evaporadora (para medição de alta e baixa pressão, respectivamente); além da fixação dos sensores de temperatura nos pontos específicos das tubulações (Figura 33).

Figura 33. (A) Implantação das conexões na bancada (B) Implantação das tubulações de cobre.



Fonte: Autoria própria.

4.1.4.3 Instrumentação

Para uma melhor visualização e comprovação dos fenômenos, foram utilizados na bancada os instrumentos de medições, sendo que as posições mudam de acordo com o ciclo.

É possível observar o posicionamento dos sensores de medições de pressão e temperatura pra o ciclo frio:

- Manômetro de Alta

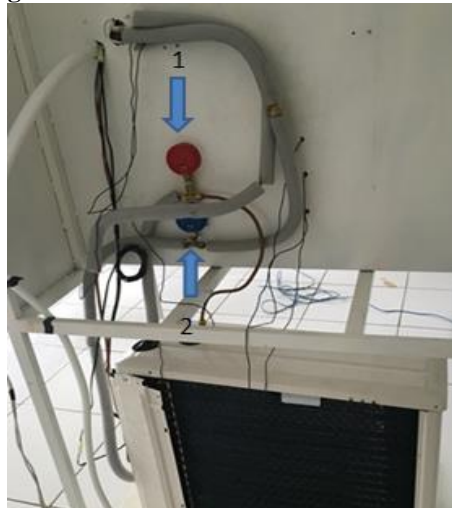
O manômetro de alta, com medição de até 3500kPa (500 psi). Foi instalado na saída do compressor, por ser um dos pontos de maior pressão do sistema.

- Manômetro de Baixa

O manômetro de baixa, com medição de até 2400 kPa (350 psi). Foi instalado na saída do evaporador, por ser um dos pontos de menor pressão.

A Figura 34 mostra o posicionamento dos manômetros.

Figura 34. Posicionamento dos manômetros.



Fonte: Autoria própria.

1- Manômetro de Alta

2- Manômetro de Baixa

- Termômetros

Com faixa de medição de temperatura de -50°C á 110°C , instalados da seguinte maneira (Figura 35):

Figura 35. (A) Localização dos termômetros na parte de trás; (B) Localização dos termômetros na parte da frente.



Fonte: Autoria própria.

- 1- Saída do Condensador
- 2- Saída do Compressor
- 3- Saída do Evaporador
- 4- Entrada do Evaporador

Posicionamento dos sensores de medições de pressão e temperatura pra o ciclo quente:

- Manômetro de Alta

O manômetro de alta, com medição de até 3500 kPa (500 psi). Continuou na saída do compressor, por ser um dos pontos de maior pressão do sistema tanto no sistema frio quanto no quente. A Figura 36 mostra o posicionamento do manômetro.

Figura 36. Posicionamento do monômetro de alta.



Fonte: Autoria própria.

1- Manômetro de Alta

Vale ressaltar, que para o experimento quente não foi usado manômetro de baixa, visto que só seria possível verificar a pressão de baixa, se colocasse um manômetro de baixa na saída do dispositivo de expansão do ciclo quente.

- Termômetros

Com faixa de medição de temperatura de -50°C á 110°C , instalados da seguinte maneira (Figura 37). Vale ressaltar, que para o ciclo quente, o condensador e o evaporador trocam de papel, quem era evaporador vira condensador e quem era condensador vira evaporador.

Figura 37. Posicionamento dos termômetros no ciclo quente.



Fonte: Autoria própria.

- 1- Entrada do Evaporador
- 2- Saída do Compressor
- 3- Saída do Condensador
- 4- Saída do Evaporador

4.2 CUSTO

A Tabela 2 apresenta o custo detalhado do valor gasto para a construção da bancada.

Tabela 2. Custo para a construção da bancada.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR TOTAL (R\$)
Split 9000 btus	1	Pç	1100,00
Manômetro de alta	1	Pç	44,98
Manômetro de baixa	1	Pç	44,98
Metalon (30x20)	5	m	111,50
Chapa de aço lisa NA 18 (200x120)	1	Pç	130,46
Termômetros	4	Pç's	209,94
Tubo de cobre ¼	1	m	23,00
Tubo de cobre 3/8	1	m	21,00
Tubo de cobre 5/16	1,2	m	27,00
Niple	3	Pç's	48,00
T's	2	Pç's	36,00
Porca	10	Pç's	86,00
Araudite	1	Und	20,00

Serra copo 64mm	1	Pç's	38,00
Anilha Bronze	2	Pç's	0,84
Gás refrigerante R-22	0,750	Kg	66,00
Abraçadeiras	2	Und	0,50
Tinta para metal veloz brilhosa	3,6	L	55,00
Disco de corte 12"	2	Und	20,00
Eletrodo 2,5	1	Und	13,50
Rodizio fixo	4	Und	35,60
TOTAL			2132,30

Fonte: Autoria própria.

4.3 EXPERIMENTO

4.3.1 Ciclo Frio

Inicialmente o sistema foi posto em funcionamento na temperatura mínima de 16°C, após 40 minutos, tempo médio para estabilizar o experimento fez-se a leitura dos valores de temperatura com auxílio dos termômetros e das pressões de alta e de baixa com auxílio dos manômetros. Após o ensaio a bancada foi desligada e aguardou-se 40 minutos até que ocorresse a estabilização das temperaturas com o ambiente, em seguida o sistema foi posto novamente em funcionamento agora para uma temperatura de 20°C, após 40 minutos, tempo médio para estabilizar o experimento fez-se a leitura dos valores de temperatura com auxílio dos termômetros e das pressões de alta e de baixa com auxílio dos manômetros. Após o ensaio a bancada foi desligada e aguardou-se 40 minutos até que ocorresse a estabilização das temperaturas com o ambiente, seguiu-se fazendo um novo experimento agora com a temperatura de 24°C, novamente foi utilizado o tempo de 40 minutos para estabilizar a bancada e assim fazer as leituras das pressões de alta e baixa e temperaturas, para uma melhor confiabilidade dos resultados foram realizadas três repetições para cada temperatura.

Todos os testes foram realizados dentro de uma sala fechada e sem climatização, para assim minimizar a influência dos meios Externos.

4.3.2 Ciclo Quente

Inicialmente mudou-se o termômetro 3 de posição, para o ciclo frio ele ficava na saída do evaporador, o mesmo mudou-se para a entrada do evaporador, já que para o ciclo quente

será a saída do condensador, ou seja, o sensor mudou da posição B para a posição A, como mostra a Figura 38.

Figura 38. Mudança de posicionamentos do termômetro 3.



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, também mudou-se o termômetro 4 de posição, antes o mesmo era na entrada do evaporador para o ciclo frio, já para o ciclo quente foi colocado na saída do evaporador, lembrando que o evaporador do ciclo quente é o condensador do sistema de refrigeração, ou seja, mudou-se da posição A para a posição B, como ilustra a Fig. 39.

Figura 39. (A) Mudança de posicionamento do termômetro 4 (entrada do evaporador); (B) Mudança de posicionamento do termômetro 4 (saída do evaporador).



Fonte: Autoria própria.

O sistema foi posto em funcionamento na temperatura máxima de 31°C, após 40 minutos, tempo médio para estabilizar o experimento, fez-se a leitura dos valores das temperaturas com auxílio dos termômetros e da pressão de alta com auxílio do manômetro. Após o ensaio a bancada foi desligada e aguardou-se 40 minutos até que ocorresse a estabilização das temperaturas com o ambiente, em seguida o sistema foi posto novamente em funcionamento agora para uma temperatura de 29°C, após 40 minutos, tempo médio para estabilizar o experimento fez-se a leitura dos valores de temperatura com auxílio dos termômetros e da pressão de alta com auxílio do manômetro. Após o ensaio a bancada foi desligada e aguardou-se 40 minutos até que ocorresse a estabilização das temperaturas com o ambiente, seguiu-se fazendo um novo experimento agora com a temperatura de 27°C, novamente foi utilizado o tempo de 40 minutos para estabilizar a bancada e assim fazer as leituras da pressão de alta e das temperaturas, para uma melhor confiabilidade dos resultados foram realizadas três repetições para cada temperatura.

Todos os testes foram realizados dentro de uma sala fechada e sem climatização, para assim minimizar a influencia dos meios internos.

4.4 VALIDAÇÃO DA BANCADA

Na refrigeração, inúmeros cálculos são necessários para obter-se um bom dimensionamento dos componentes e eficiências satisfatórias do sistema, evitando ao máximo as perdas durante seus ciclos. Portanto, para validar a bancada é de suma importância se encontrar a vazão mássica, a capacidade frigorífica, encontrada no trocador de calor de baixa pressão também conhecido como evaporador, calor rejeitado no trocador de calor de alta pressão também conhecido como condensador e a eficiência do ciclo, também conhecido como coeficiente de performance (COP).

4.4.1 Vazão Mássica

É a quantidade em massa de um fluído que escoar através da seção transversal da tubulação em determinado tempo, sendo representada pela Eq.(2):

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{W}}{(h_{ecd} - h_{ecp})} \quad (2)$$

Onde:

\dot{m}_f = Vazão Mássica

\dot{W} = Potência do Compressor

h_{ecd} = Entalpia de Entrada no Condensador

h_{ecp} = Entalpia de Entrada no Compressor

A potência de entrada do compressor, ou seja, a Potência do Compressor é de 830 W.

4.4.2 Capacidade Frigorífica

É a quantidade de calor Eq.(3), por unidade de tempo, retirada do meio que se quer resfriar, através do trocador de baixa pressão (evaporador) do sistema frigorífico.

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_f(h_{ecp} - h_{eev}) \quad (3)$$

Onde:

\dot{Q}_e = Capacidade Frigorífica

\dot{m}_f = Vazão Mássica

h_{ecp} = Entalpia de Entrada no Compressor

h_{eev} = Entalpia de Entrada no Evaporador

4.4.3 Calor Rejeitado no Condensador

A função do condensador é transferir calor do fluido frigorífico para o meio de resfriamento do condensador, como mostra a Eq.(4).

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_f(h_{ecd} - h_{ede}) \quad (4)$$

Onde:

\dot{Q}_c = Calor rejeitado no Condensador

\dot{m}_f = Vazão Mássica

h_{ecd} = Entalpia de Entrada no Condensador

h_{ede} = Entalpia de Entrada no Dispositivo de Expansão

4.4.4 Dispositivo de Expansão

No dispositivo de expansão, que pode ser de vários tipos, o processo é Isentálpico, considerado apenas a queda de pressão Eq.(5)

$$h_{ede} = h_{eev} \quad (5)$$

Onde:

h_{ede} = Entalpia de Entrada no Dispositivo de Expansão

h_{eev} = Entalpia de Entrada no Evaporador

Em todo o processo considerou-se que o sistema opera em regime permanente, desprezando-se as variações de energia cinética e potencial, pela primeira lei da termodinâmica.

4.4.5 Coeficiente de Performance do Ciclo

O COP Eq.(6), é um parâmetro adimensional importante na análise das instalações frigoríficas, e mede a eficiência dos ciclos de refrigeração definido pela equação:

$$COP = \frac{\text{Energia Util}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_c} = \frac{h_{ecp} - h_{eev}}{h_{ecd} - h_{ecp}} \quad (6)$$

Onde:

h_{ecp} = Entalpia de Entrada no Compressor

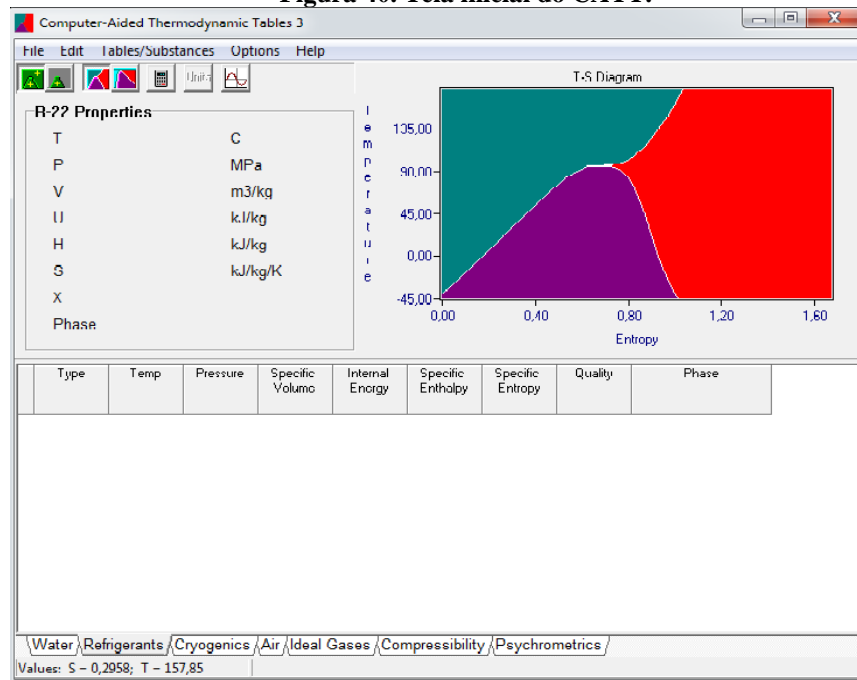
h_{eev} = Entalpia de Entrada no Evaporador

h_{ecd} = Entalpia de Entrada no Condensador

4.5 ENTALPIA

Para encontrar as entalpias dos componentes do ciclo foi utilizado o Software CATT (Computer-Aided Thermodynamic Tables) mostrada na Figura 40, distribuído gratuitamente, onde fornece acesso a várias tabelas termodinâmicas encontradas no livro do Van Wylen (1995). Este software pode ser utilizado para consulta de propriedades termodinâmicas que são apresentadas na forma de gráficos e planilhas que podem ser transferidas para o Excel. As tabelas contidas neste programa são da água (líquido e vapor), fluidos refrigerantes e criogênicos, ar, gases considerados ideais, tabelas de compressibilidade e psicrometria (SOUZA, 2013).

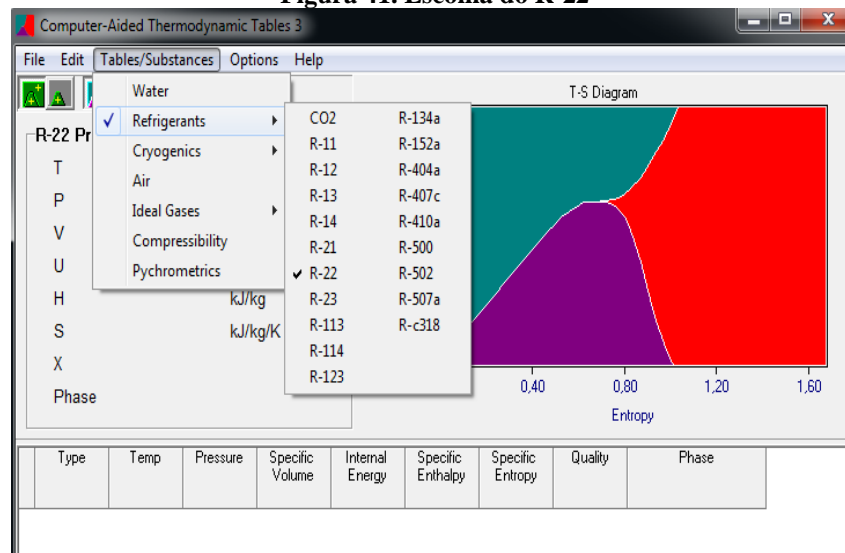
Figura 40. Tela inicial do CATT.



Fonte: Autoria própria.

O manuseio do programa se dá de forma bem simples. Como mostra a figura 41, inicialmente clica-se na opção Tables/Substances, onde aparecerá as opções de fluidos refrigerantes, criogênicos, ar, gases considerados ideais. Em seguida seleciona-se a opção Refrigerants e escolhe o R-22.

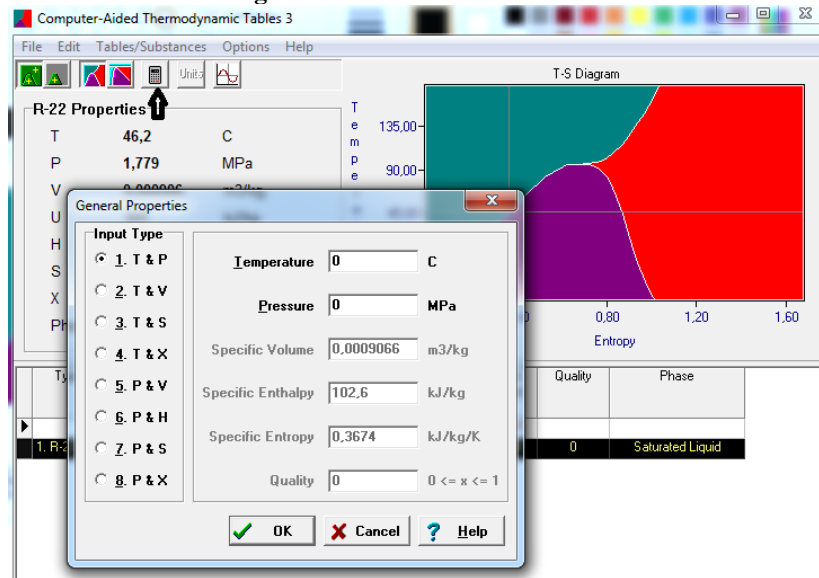
Figura 41. Escolha do R-22



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, clica-se onde a seta está indicando na Figura 42. Dependendo dos dados que se tem, escolhe-se a opção 1 para pressão e temperatura ou a opção 4 caso se tenha apenas a temperatura.

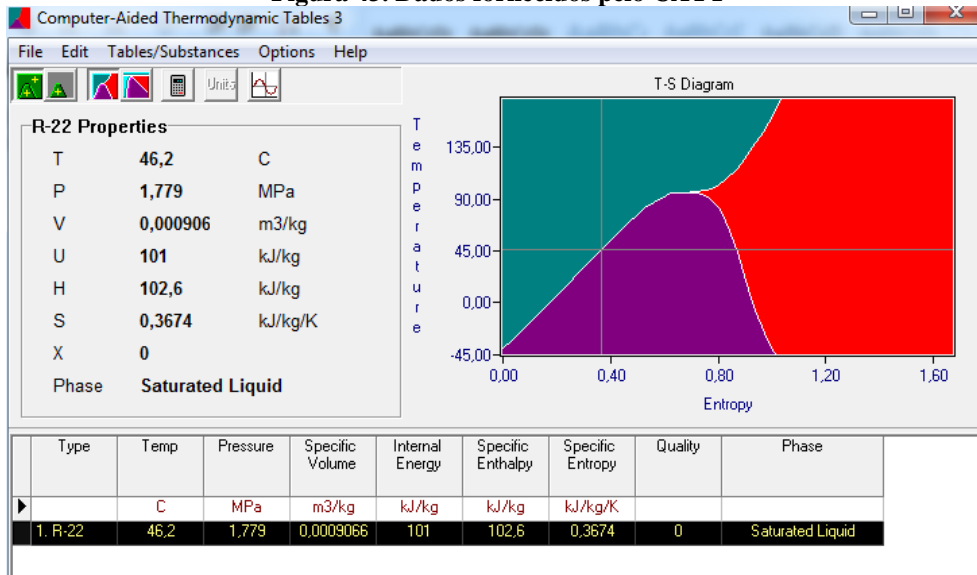
Figura 42. Dados obtidos



Fonte: Autoria própria.

Colocam-se os dados que se tem e o programa fornecerá as informações buscadas, como se pode visualizar na figura 43.

Figura 43. Dados fornecidos pelo CATT



Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS

5.1 PRESSÃO E TEMPERATURA

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados de pressão e temperatura das entradas e saídas do evaporador, condensador e compressor, para cada faixa de temperatura escolhida para a realização do experimento do ciclo frio.

Tabela 3. Dados de ensaio para 16°C (Ciclo frio).

EVAPORADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	1550	46,2
Saída	500	33,4
CONDENSADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	1550	46,2
Saída	500	33,4
COMPRESSOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	500	22,5
Saída	1550	46,2

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4. Dados de ensaio para 20°C (Ciclo frio).

EVAPORADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	510	11
Saída	510	22,5
CONDENSADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	1625	47,8
Saída	1625	34,6
COMPRESSOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	510	21
Saída	1625	47,8

Fonte: Autoria própria.

Tabela 5. Dados de ensaio para 24°C (Ciclo frio).

EVAPORADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	505	11
Saída	505	22,5
CONDENSADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	1600	46,2
Saída	1600	33,4
COMPRESSOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	505	21,1
Saída	1600	47

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que as temperaturas não apresentam muitas diferenças entre si, chegando a serem bem próximas uma das outras.

As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam os resultados de pressão e temperatura das entradas e saídas do evaporador, condensador e compressor, para cada faixa de temperatura escolhida para a realização do experimento do ciclo quente. Vale ressaltar que para o experimento do ciclo quente, foi utilizado apenas um manômetro de alta.

Tabela 6. Dados de ensaio para 27°C (Ciclo quente).

EVAPORADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	-	25,2
Saída	-	23,8
CONDENSADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	2000	53,9
Saída	2000	40
COMPRESSOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	-	23,8
Saída	2000	53,9

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7. Dados de ensaio para 29°C (Ciclo quente).

EVAPORADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	-	25,5
Saída	-	23
CONDENSADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	2000	54,1
Saída	2000	40

COMPRESSOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	-	23
Saída	2000	54,1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8. Dados de ensaio para 31°C (Ciclo quente).

EVAPORADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	-	26
Saída	-	25
CONDENSADOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	2000	54
Saída	2000	40
COMPRESSOR	Média	
	P (kPa)	T (°C)
Entrada	-	25
Saída	2000	54

Fonte: Autoria própria.

Nas tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 se podem identificar os conceitos de cada componente comprovando na prática o que ocorre em cada um tanto para o ciclo frio quanto para o quente. Observa-se que as temperaturas não apresentam muitas diferenças entre si, chegando a serem bem próximas.

5.2 ENTALPIA

Através das médias obtidas nos dados de ensaio, tanto para pressão quanto para temperatura, podem-se encontrar as entalpias de entrada e saída dos componentes. A Tabela 9 apresenta as entalpias para o ciclo frio.

Tabela 9. Entalpias (Ciclo frio).

	Entalpias kJ/kg		
	16°C	20°C	24°C
h_{ecd}	266,41	267,01	266,66
h_{de}	85,94	87,29	87,10
h_{ev}	85,94	87,29	87,10
h_{cp}	257,04	256,64	256,66

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 10 mostra os resultados encontrados para as entalpias do ciclo quente.

Tabela 10. Entalpias (Ciclo quente).

	Entalpias kJ/kg		
	27°C	29°C	31°C
h_{eccd}	264,83	264,94	264,94
h_{de}	94,53	94,53	94,53
h_{ev}	94,53	94,53	94,53
h_{cp}	257,39	257,17	257,94

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que as entalpias não apresentaram grandes diferenças entre um teste e outro, chegando até ser igual em alguns pontos.

5.3 CÁLCULOS

Com o auxílio do software Excel realizou-se os cálculos necessários, através das entalpias encontradas. As Tabelas 11 e 12 apresentam os resultados dos cálculos de: vazão mássica, calor rejeitado no condensador, capacidade frigorífica e COP para o ciclo frio e ciclo quente respectivamente.

Tabela 11. Resultados dos cálculos (Ciclo frio).

	Resultado dos cálculos		
	16°C	20°C	24°C
\dot{m}_f (kg/s)	0,089	0,080	0,083
\dot{Q}_c (kW)	15,99	14,38	14,90
\dot{Q}_e (kW)	15,16	13,55	14,07
COP	18,26	16,33	16,96

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12. Resultados dos cálculos (Ciclo quente).

	Resultado dos cálculos		
	27°C	29°C	31°C
\dot{m}_f (kg/s)	0,111	0,107	0,119
\dot{Q}_c (kW)	18,99	18,23	20,21
\dot{Q}_e (kW)	18,17	17,37	19,38
COP	21,89	20,93	23,34

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que os valores do COP para o ciclo quente são superiores aos valores do ciclo frio, isso acontece devido os valores de temperaturas e pressões serem maiores.

Vale ressaltar que o coeficiente de performance é o único rendimento que pode ser maior a um, no caso do ciclo quente para 27°C onde esse valor chega a aproximadamente 22, pode-se dizer que o sistema tem um rendimento de 24 vezes.

5.4 ELABORAÇÃO DO ROTEIRO

Foi elaborado um Roteiro seguindo os passos apresentados na metodologia, de maneira prática para auxiliar os alunos e professores nas disciplinas, que se encontra no **Apêndice A** deste trabalho.

6 CONCLUSÃO

Conforme apresentou-se no presente trabalho, a área de refrigeração industrial possui inúmeras aplicações nos mais diversos ramos de atuação. Entendendo a importância desta área para sociedade e conseqüentemente para formação profissional, é que este trabalho foi realizado trazendo uma explicação sucinta sobre a funcionalidade do equipamento e do sistema, possibilitando o entendimento e a visualização dos principais componentes da bancada, sua construção e as equações para os cálculos dos ciclos de refrigeração.

Observando os objetivos apresentados, construiu-se uma bancada para testes, contemplando o ciclo de refrigeração e aquecimento, a partir de componentes do sistema de refrigeração de uma Split 9000btu. Após ser construída a bancada foi colocada em funcionamento, e o objetivo de demonstrar o funcionamento do ciclo de refrigeração reverso (frio e quente) foi alcançado.

Com a bancada funcionando, foi possível mensurar pressões de alta e baixa dos pontos de maior e menor pressão no sistema, e a temperatura do fluido refrigerante em determinados pontos, com o auxílio de manômetros e termômetros, respectivamente. Assim possibilitando a descrição do sistema e a comparação das medições realizadas em cada temperatura escolhida.

Após as medições e as comparações foi necessário fazer os cálculos do COP e assim validar a bancada, seguindo os objetivos do trabalho os cálculos foram realizados e assim a bancada foi validada com sucesso, alcançando todos os objetivos propostos para auxiliar no processo de aprendizado dos alunos da UFPA CAMTUC.

6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de futuros trabalhos, aconselha-se colocar um manômetro de baixa na saída do dispositivo de expansão, ou seja, entrada do condensador do ciclo quente para que possa ser visualizada a pressão de baixa do ciclo com maior precisão.

REFERÊNCIAS

- BEJAN, A. **Transferência de Calor**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1996.
- BRAGA FILHO, W. **Transmissão de calor**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- COSTA, E. C. D. **Refrigeração**. 3ª Edição. São Paulo: Blucher, 1982.
- CRESTANI, E. S.; VALLÉRIUS, M. C. **Desenvolvimento de Bancada para Verificação dos Ciclos de Refrigeração**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina-RS. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2013/Mec_Elizier_Mauri.pdf>. Acesso em: 26 out. 2016.
- DOSSAT, R. J. **Princípios De Refrigeração**. Trad. Engº Raul Peragallo Torreira. Editora Hemus, 2004.
- FERRAZ, F.; GOMES, M. **Fluídos Refrigerantes**. 2008. Apostila. Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, CEFET, Santo Amaro-BA. Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/08/ref1.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2016.
- GARCIA, C. **Modelagem de Sistemas Eletromecânicos e Processos Industriais**. São Paulo, EDUSP, 1997.
- JUNIOR, L. C. M., **Refrigeração**. 2003. Disponível em: <www.ebah.com.br/content/ABAAAHeoAI/apostila-refrigeracao>. Acesso em: 20 de out. 2016.
- KREITH, F.; BOHN, M. S. **Princípios de Transferência de Calor**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, p. 1 a 21, 1977.
- MARTINELLI, L. C. **Refrigeração e Ar-Condicionado: Compressores**. 2013. Panambi. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, UFRS, Panambi. Disponível em: <http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/b/b4/RAC_III.pdf>. Acesso em: 27 out. 2016.
- MILLER, R.; MILLER, M. R. **Refrigeração e Ar Condicionado**. 2008. Trad. Francesco S. Neto, Rodrigo Otávio C. Guedes. Rio de Janeiro-RJ.
- PARKER. **Tecnologia Hidráulica Industrial**. 1999. Apostila M2001-1 BR. Disponível em: <http://unedserra-ehp.tripod.com/m_2001_1.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.
- PIRANI, M. J. **Refrigeração e Ar Condicionado: Parte 1 Refrigeração**. 2007. Universidade Federal da Bahia, UFBA. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAWhkAI/apostila-refrigeracao-ar-condicionado>> Acesso em: 22 out. 2016.
- PORTAL DA REFRIGERAÇÃO. **Ar condicionado quente/ frio- ciclo reverso**. 2014. Disponível em: <<http://www.arcondicionado.refrigeracao.net/tag/ciclo-reverso/>>. Acesso em: 21 de out. 2016.

REFRIGERAÇÃO, **Clube de. Entendendo o Conceito de Refrigeração**. 2013. São Paulo-SP. Disponível em: <http://www.clubedarefrigeracao.com.br/wp-content/blogs.dir/1/files_mf/1374245509ClubedaRefrigeracao113_pg17_18.pdf> Acesso em: 22 out. 2016.

SILVA, M. N. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS / PROCEL, 2005.

SOUZA, E. A.; JÚNIOR, N. M. S. **Construção de uma bancada didática de refrigeração para o laboratório de engenharia mecânica**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, UFPA, Tucuruí-PA.

SOUZA, L. A. **Entalpia**. 2010. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/quimica/entalpia.htm>> Acesso em: 16 out. 2016

SOISSON, H. E. **Instrumentação Industrial**. 2. ed. São Paulo, SP. Ed: Helmus, 2002.

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

WEG. **Motores Elétricos-Guia de especificação**. 2013. Grupo WEG - Unidade Motores, Jaraguá do Sul-SC. Disponível em:<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motoreseletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2016.

APÊNDICE A – ROTEIROS PARA ENSAIOS NA BANCADA (FRIO E QUENTE)

Os ensaios devem ser realizados no Laboratório de Térmicas e Fluidos para minimizar as influências do ambiente externo. A temperatura do local deve estar em temperatura ambiente, para isso desligar o ar condicionado e abrir as janelas para aumentar a troca de calor e minimizar o tempo de equilíbrio da temperatura do laboratório com o ambiente externo.

Para uma melhor visualização e comprovação dos fenômenos, foram utilizados na bancada os instrumentos de medições, sendo que as posições mudam de acordo com o ciclo.

A seguir é possível observar o posicionamento dos sensores de medições de pressão e temperatura para o ciclo frio:

- Manômetro de Alta

O manômetro de alta, com medição de até 3500kPa (500 psi). Foi instalado na saída do compressor, por ser um dos pontos de maior pressão do sistema.

- Manômetro de Baixa

O manômetro de baixa, com medição de até 2400 kPa (350 psi). Foi instalado na saída do evaporador, por ser um dos pontos de menor pressão.

A Figura 1A mostra o posicionamento dos manômetros.

Figura 1A. Posicionamento dos manômetros.



Fonte: Autoria própria.

3- Manômetro de Alta

4- Manômetro de Baixa

- Termômetros

Com faixa de medição de temperatura de -50°C á 110°C , instalados da seguinte maneira como mostra a Figura 2A.

Figura 2A : Posicionamentodos termômetros.



Fonte: Autoria própria.

1- Saída do Condensador

2- Saída do Compressor

3- Saída do Evaporador

4- Entrada do Evaporador

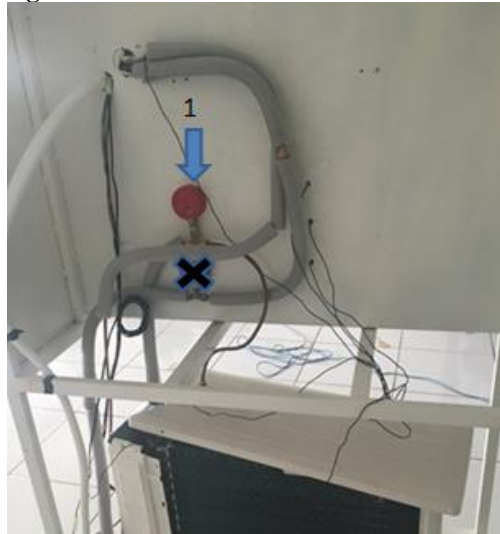
Posicionamento dos sensores de medições de pressão e temperatura pra o ciclo quente:

- Manômetro de Alta

O manômetro de alta, com medição de até 3500kPa (500 psi). Continuou na saída do compressor, por ser um dos pontos de maior pressão do sistema tanto no sistema frio quanto no quente.

A Figura 3A mostra o posicionamento do manômetro

Figura 3A : Posicionamentodos manômetros.



Fonte: Autoria própria.

5- Manômetro de Alta

Vale ressaltar, que para o experimeto quente não foi usado manômetro de baixa.

- Termômetros

Com faixa de medição de temperatura de -50°C á 110°C , instalados da seguinte maneira Figura 4A. Vale ressaltar, que para o ciclo quente, o condensador e o evaporador trocam de papel, quem era evaporador vira condensador e quem era condensador vira evaporador.

Figura 4A : Posicionamentodos termômetros.



Fonte: Autoria própria.

1- Entrada do Evaporador

2- Saída do Compressor

3- Saída do Condensador

4- Saída do Evaporador

Experimento para o ciclo frio:

Colocando o sistema em funcionamento na sua maior potência, frio máximo (temperatura de 16°) por tempo médio de 30 minutos para estabilizar o experimento.

Leitura dos dados de pressão de alta, pressão de baixa, temperatura na saída do compressor, temperatura na entrada do evaporador e temperatura na saída do evaporador.

Após primeiro ensaio desligar a bancada e aguardar 30 minutos para estabilização das temperaturas com o ambiente.

Para uma melhor confiabilidade dos resultados, serão realizados 3 (três) repetições. Em seguida realizam-se os mesmos procedimentos para as temperaturas de 20°C e 24°C

Experimento para o ciclo quente:

Inicialmente muda-se o termômetro 3 de posição, para o ciclo frio ele ficava na saída do evaporador, o mesmo mudou-se para a entrada do evaporador, já que para o ciclo quente será a saída do condensador, ou seja, o sensor mudou da posição B para a posição A, como mostra a Figura 5A.

Figura 5A : Mudança de posicionamentos do termômetro 3.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 4A. Resultado de pressões e temperaturas para o ciclo quente 27°C.

Dados de ensaio para o ciclo quente 27°C								
Evaporador	1° ensaio		2° ensaio		3° ensaio		Média	
	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)
Entrada								
Saída								
Condensador	1° ensaio		2° ensaio		3° ensaio		Média	
	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)
Entrada								
Saída								
Compressor	1° ensaio		2° ensaio		3° ensaio		Média	
	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)
Entrada								
Saída								

Tabela 5A. Resultado de pressões e temperaturas para o ciclo quente 29°C.

Dados de ensaio para o ciclo quente 29°C								
Evaporador	1° ensaio		2° ensaio		3° ensaio		Média	
	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)
Entrada								
Saída								
Condensador	1° ensaio		2° ensaio		3° ensaio		Média	
	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)
Entrada								
Saída								
Compressor	1° ensaio		2° ensaio		3° ensaio		Média	
	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)
Entrada								
Saída								

Tabela 6A. Resultado de pressões e temperaturas para o ciclo quente 31°C.

Dados de ensaio para o ciclo quente 31°C								
Evaporador	1° ensaio		2° ensaio		3° ensaio		Média	
	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)
Entrada								
Saída								
Condensador	1° ensaio		2° ensaio		3° ensaio		Média	

	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)
Entrada								
Saída								

Compressor	1° ensaio		2° ensaio		3° ensaio		Média	
	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)	T (°C)
Entrada								
Saída								

Com os dados da pressão e temperatura, utilizar o Software CATT (Computer-Aided Thermodynamic Tables) para encontrar os valores das entalpias nos pontos específicos para o fluido refrigerante R-22.

Devem-se colocar os valores nas Tabelas 7A e 8A.

Tabela 7A. Resultado de entalpias para o ciclo frio.

Entalpias para ciclo frio		
16°C	20°C	24°C
$h_{ecd} =$	$h_{ecd} =$	$h_{ecd} =$
$h_{de} =$	$h_{de} =$	$h_{de} =$
$h_{ev} =$	$h_{ev} =$	$h_{ev} =$
$h_{cp} =$	$h_{cp} =$	$h_{cp} =$

Tabela 8A. Resultado de entalpias para o ciclo quente.

Entalpias para ciclo quente		
27°C	29°C	31°C
$h_{ecd} =$	$h_{ecd} =$	$h_{ecd} =$
$h_{de} =$	$h_{de} =$	$h_{de} =$
$h_{ev} =$	$h_{ev} =$	$h_{ev} =$
$h_{cp} =$	$h_{cp} =$	$h_{cp} =$

Tendo os valores das entalpias para os dois ciclos, a partir do programa no *Excel*, são possíveis calcular os seguintes dados:

Vazão Mássica:

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{W}}{(h_{ecd} - h_{ecp})}$$

Onde:

\dot{m}_f = Vazão Mássica

\dot{W} = Potência do Compressor

h_{ecd} = Entalpia de Entrada no Condensador

h_{ecp} = Entalpia de Entrada no Compressor

A potência de entrada do compressor, ou seja, a potência do Compressor é de **830 W**.

Capacidade Frigorífica:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_f(h_{ecp} - h_{eev})$$

Onde:

\dot{Q}_e = Capacidade Frigorífica

\dot{m}_f = Vazão Mássica

h_{ecp} = Entalpia de Entrada no Compressor

h_{eev} = Entalpia de Entrada no Evaporador

Calor Rejeitado no condensador:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_f(h_{ecd} - h_{ede})$$

Onde:

\dot{Q}_c = Calor rejeitado no Condensador

\dot{m}_f = Vazão Mássica

h_{ecd} = Entalpia de Entrada no Condensador

h_{ede} = Entalpia de Entrada no Dispositivo de Expansão

COP

$$COP = \frac{\text{Energia Util}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_c} = \frac{h_{ecp} - h_{eev}}{h_{ecd} - h_{ecp}}$$

Onde:

h_{ecp} = Entalpia de Entrada no Compressor

h_{eev} = Entalpia de Entrada no Evaporador

h_{ecd} = Entalpia de Entrada no Condensador

Devem-se colocar os valores dos cálculos encontrados nas tabelas 9A e 10A.

Tabela 9A. Resultado dos cálculos para o ciclo frio

Resultado dos cálculos para 16°, 20° e 24°C		
16°C	20°C	24°C
$\dot{m}_f =$	$\dot{m}_f =$	$\dot{m}_f =$
$\dot{Q}_c =$	$\dot{Q}_c =$	$\dot{Q}_c =$
$\dot{Q}_e =$	$\dot{Q}_e =$	$\dot{Q}_e =$
$COP =$	$COP =$	$COP =$

Tabela 10A. Resultado dos cálculos para o ciclo quente

Resultado dos cálculos para 27°, 29° e 31°C		
16°C	20°C	24°C
$\dot{m}_f=$	$\dot{m}_f=$	$\dot{m}_f=$
$\dot{Q}_c=$	$\dot{Q}_c=$	$\dot{Q}_c=$
$\dot{Q}_e=$	$\dot{Q}_e=$	$\dot{Q}_e=$
$COP=$	$COP=$	$COP=$

Devem-se fazer as considerações finais sob os testes realizados na bancada através da interpretação dos dados das tabelas supracitadas e conhecimentos teóricos sobre o sistema.