

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

ANDERSON ADIERS
EVANDRO AUGUSTO REOLON
LUAN GREGORY MARCANTE

**BANCADA DIDÁTICA PARA COMPARAR OS EFEITOS DE DIFERENTES
COMPRESSORES E DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO EM UM SISTEMA DE
REFRIGERAÇÃO**

TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

MEDIANEIRA

2011

**ANDERSON ADIERS
EVANDRO AUGUSTO REOLON
LUAN GREGORY MARCANTE**

**BANCADA DIDÁTICA PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE COMPRESSORES E
DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO EM UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO**

Trabalho de Diplomação apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Paulo César Tonin.

MEDIANEIRA

2011



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

BANCADA DIDÁTICA PARA COMPARAR OS EFEITOS DE DIFERENTES COMPRESSORES E DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO EM UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Por

**ANDERSON ADIERS
EVANDRO AUGUSTO REOLON
LUAN GREGORY MARCANTE**

Este Trabalho de Diplomação foi apresentado às 07:45 h do dia 02 de dezembro de 2011 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Medianeira. Os acadêmicos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Msc. Paulo César Tonin
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Orientador)

Prof. Dra. Cristiane Lioncio Zeferino
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidada)

Prof. Msc. Almiro Weiss
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Giovano Mayer
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais e familiares que estiveram sempre dispostos a nos ajudar e sempre nos encorajaram seguir em frente.

Aos nossos professores, que contribuíram com os ensinamentos dos quais sempre lembraremos. Se hoje temos a fonte do saber e a motivação para aprender, devemos muito a eles.

Ao nosso professor orientador e amigo Paulo César Tonin, o qual teve importante participação na realização deste projeto, nos incentivando e motivando sempre.

A Refrigeração Reolon, que nos cedeu sua estrutura para que pudéssemos desenvolver o projeto.

“Se quiser por à prova o caráter
de um homem, dê-lhe poder.”
Abraham H. Maslow

RESUMO

Foi realizada neste trabalho a construção de uma bancada didática com o objetivo de auxiliar os alunos na realização de experiências práticas relativas às aulas de refrigeração e ar condicionado. A forma de montagem da bancada possibilita, através de simples chaves seletoras, a combinação dos componentes do sistema, podendo ser realizados até quatro combinações: compressor alternativo + tubo capilar; compressor alternativo + válvula de expansão; compressor rotativo + tubo capilar; compressor rotativo + válvula de expansão. Na saída de cada componente, foram instalados dois instrumentos de medida: um manômetro analógico e um termômetro digital. Estas medidas fornecem aos alunos que realizam a prática a compreensão de como as diferentes combinações dos sistemas interferem nestas medidas e conseqüentemente na eficiência do sistema. A bancada foi desenvolvida sobre uma estrutura tubular metálica, com rodízios para facilitar o deslocamento e com o reaproveitamento de alguns componentes usados. O custo final para se construir a bancada foi de R\$ 1.500,00. Ela ficará na UTFPR – Campus Medianeira, no laboratório J35 e servirá como uma ferramenta didática para o professor no ensino das áreas de refrigeração e ar condicionado.

Palavras chave: Bancada didática. Sistema de refrigeração. Dispositivos de expansão

ABSTRACT

We performed this study to build a bench with the didactic purpose of helping students practical experience in conducting classes on the refrigeration and air conditioning. The shape allows for bench mounting, with simple selector switches, the combination of system components and can be performed up to four combinations: reciprocating compressor and capillary tube, expansion valve and reciprocating compressor, rotary compressor and capillary tube, expansion valve and rotary compressor. At the exit of each component were installed two measurement instruments: an analog pressure gauge and a digital thermometer. These measures provide students to perform practical understanding of how different combinations of these systems interfere and therefore measures the efficiency of the system. The bench was built on a tubular metal structure with casters for easy moving and the reuse of some components used. The final cost to build the bench was R\$ 1.500.00. It will be in UTFPR - Campus Medianeira, in the laboratory J35 and serve as a teaching tool for the teacher in the areas of refrigeration and air conditioning.

Keywords: Bench didactic. System expansion. Refrigeration.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado da análise da experiência do item 6.1.1.	36
Tabela 2: Resultado da análise da experiência do item 6.1.2.	37
Tabela 3: Resultado da análise da experiência do item 6.1.3.	38
Tabela 4: Resultado da análise da experiência do item 6.1.4.	39
Tabela 5: Resultado da análise da experiência do item 6.2.1.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de refrigeração.	16
Figura 2: Compressor alternativo.	17
Figura 3: Compressor rotativo.	18
Figura 4: Tubo capilar.	19
Figura 5: Válvula expansão direta.	20
Figura 6: Condensador.	21
Figura 7: Evaporador.	22
Figura 8: Válvula solenoide.	23
Figura 9: Manômetros de alta e baixa e termômetros digitais.	25
Figura 10: Estrutura bancada.	26
Figura 11: Aplicação de tinta.	26
Figura 12: Antes e depois de reforma no compressor alternativo.	28
Figura 13: Compressor rotativo fixado na bancada.	28
Figura 14: Evaporador com seu respectivo ventilador fixado no suporte.	29
Figura 15: Condensador, ventilador e válvulas solenoides fixadas em seus lugares.	29
Figura 16: Bancada montada.	30
Figura 17: Diagrama de ligação dos componentes da bancada.	30
Figura 18: Diagrama de ligação dos compressores	31
Figura 19: Diagrama de ligação do ventilador do condensador.	32
Figura 20: Painel de comando.	33
Figura 21: Ligação dos manômetros.	34

LISTA DE SIGLAS

°C	GRAUS CELCIUS
MM	MILÍMETRO
M	METRO
V	VOLT
CH	CHAVE
L1	FASE 1
L2	FASE 2
R22	FLUÍDO REFRIGERANTE
PSI	POUND PER SQUARE INCH (LIBRA POR POLEGADA QUADRADA)
A	AMPERES
ΔT	VARIAÇÃO DE TEMPERATURA
R\$	REAIS
MDF	MEDIUM-DENSITY FIBERBOARD (PLACA DE FIBRA DE MADEIRA DE MÉDIA DENSIDADE)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVO GERAL.....	15
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	O CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO	16
3.1	COMPRESSORES	16
3.1.1.	Compressor alternativo.....	16
3.2	COMPRESSOR ROTATIVO.....	17
3.3	DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO	18
3.3.1	Tubo capilar	18
3.3.2	Válvula de expansão termostática	19
3.4	CONDENSADOR	20
3.5	EVAPORADOR	21
3.6	VÁLVULA SOLENÓIDE.....	22
3.7	TERMÔMETRO.....	23
3.8	MANÔMETROS.....	24
4	DESENVOLVIMENTO DA BANCADA.....	25
4.1	ESTRUTURA.....	25
4.2	COMPONENTES UTILIZADOS.....	27
4.3	FIXAÇÃO DOS COMPONENTES	27
4.4	LIGAÇÃO ELÉTRICA	30
5	FUNCIONAMENTO DA BANCADA.....	33
5.1	PONTOS DE MEDIÇÃO	34
6	EXPERIÊNCIAS SOBRE A BANCADA	35
6.1	Experiência utilizando o compressor rotativo e tubo capilar	35

6.1.2	Experiência utilizando compressor rotativo e válvula de expansão	36
6.1.3	Experiência utilizando compressor alternativo e tubo capilar	37
6.1.4	Experiência utilizando compressor alternativo e válvula expansão	38
6.2	Experiência simulando falha no ventilador do condensador.	39
6	CONCLUSÃO	41
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

Desde a pré-história o homem procurava uma forma de manter alimentos e outras substâncias abaixo da temperatura ambiente, para conservá-los por mais tempo.

Os métodos mais antigos para a produção do frio foram o uso de gelo natural ou misturas de neve e sal, posteriormente usando nitrato de sódio em água.

No ano de 1755 já se conhecia o efeito de resfriamento causado pelo éter ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{CH}_3$) ao se evaporar sobre a pele. Naquele tempo, o professor de química, William Cullen, demonstrou a formação de gelo na água em contato com um recipiente contendo éter. Ao reduzir a pressão sobre o éter promoveu sua ebulição a uma temperatura baixa o suficiente para proporcionar a formação do gelo (Refrigeração, 2011).

A ideia de unir as técnicas de evaporação e condensação e criar um sistema cíclico foi sugerida pela primeira vez por Oliver Evans, mas a primeira máquina cíclica de refrigeração foi feita por Jacob Perkins.

O éter quando submetido à pressão de 1 atmosfera evapora à temperatura de $34,5^\circ\text{C}$. Quando o objetivo é produzir gelo, esta pressão deve ser bem mais baixa para que a evaporação ocorra em temperaturas inferiores a 0°C . A ocorrência de um vazamento permitiria então a passagem de ar para dentro do equipamento de refrigeração, constituindo um ambiente de enorme potencial explosivo.

Já o fluido refrigerante Dimetil Éter (CH_3OCH_3) com ponto de ebulição de $-23,6^\circ\text{C}$ introduzido por Caries Tellier em 1864 e o fluido refrigerante Dióxido de Enxofre (SO_2) com ponto de ebulição de -10°C introduzido em 1874, não incorriam neste problema (Refrigeração, 2011).

Estes dois fluidos refrigerantes possibilitavam a produção de gelo mantendo o sistema a uma pressão acima da atmosfera. O Dimetil Éter nunca chegou a ser usado de forma generalizada, entretanto, o Dióxido de Enxofre foi usado extensivamente por aproximadamente 60 anos (Refrigeração, 2011).

Cari Von Linde foi o primeiro a introduzir a Amônia como refrigerante em torno de 1870. Por ter um ponto de ebulição de $-33,3^{\circ}\text{C}$ proporcionava temperaturas bem mais baixas do que as disponíveis anteriormente, apesar de apresentar pressões em torno de dez atmosferas ou mais no condensador, requerendo assim construções mais robustas (Refrigeração, 2011).

Após o fim da Segunda Guerra Mundial o condicionamento de ar deixou de ser aplicado somente em indústrias e passou a ser aplicado para o conforto humano. Nos dias de hoje a refrigeração e o ar condicionado têm destaque na vida da sociedade, sendo utilizado para congelamento rápido, armazenamento de frutas, conforto automotivo entre outras aplicações.

Tanto no setor de refrigeração como no de ar condicionado tem sido crescente a preocupação com relação à conservação de energia. Neste sentido, é cada vez maior a adoção de equipamentos tecnologicamente mais avançados e de menor consumo de energia, com a utilização em massa da automação, possibilitando uma maior eficiência, economia e controle operacional dos equipamentos. Estas novas tecnologias exigem dos profissionais conceitos básicos de eletricidade e de eletrônica (SILVA 2004, p.24).

2. OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver uma bancada didática para auxiliar e melhorar os conhecimentos dos alunos na área de refrigeração e ar condicionado do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Medir a temperatura e pressão nas entradas e nas saídas do compressor, condensador, evaporador e dispositivo de expansão;

b) Comparar o desempenho do sistema utilizando dois dispositivos de expansão: o tubo capilar e a válvula de expansão e dois compressores: alternativo e rotativo.

3 O CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO

Um circuito de refrigeração é composto pela união de cinco componentes: compressor, condensador, dispositivo de expansão, evaporador e fluido refrigerante, Figura 1.

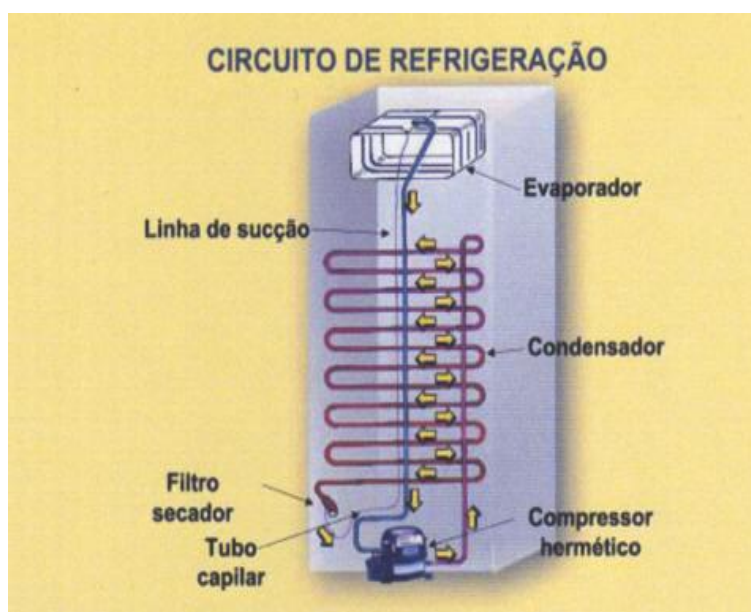


Figura 1: Sistema de refrigeração.
Fonte: Refrigeração, 2011.

3.1 COMPRESSORES

3.1.1. Compressor alternativo

Os compressores dessa categoria possuem um pistão que executa movimentos alternados de sobe e desce ou vai e vem. Quando o pistão desce faz a placa de válvula de sucção abrir e a placa de válvula de descarga fechar, a pressão no cilindro nesse momento é menor que na linha de sucção, então o fluido entra no cilindro. Quando o pistão sobe, faz a placa de válvula de descarga abrir e a placa de válvula de sucção fechar, a pressão no interior do

cilindro nesse momento é maior que na linha de descarga, então o fluido sai do interior do cilindro. O virabrequim gira, e com o auxílio da biela move o pistão com movimentos alternados, daí o nome de compressor alternativo, conforme Figura 2.

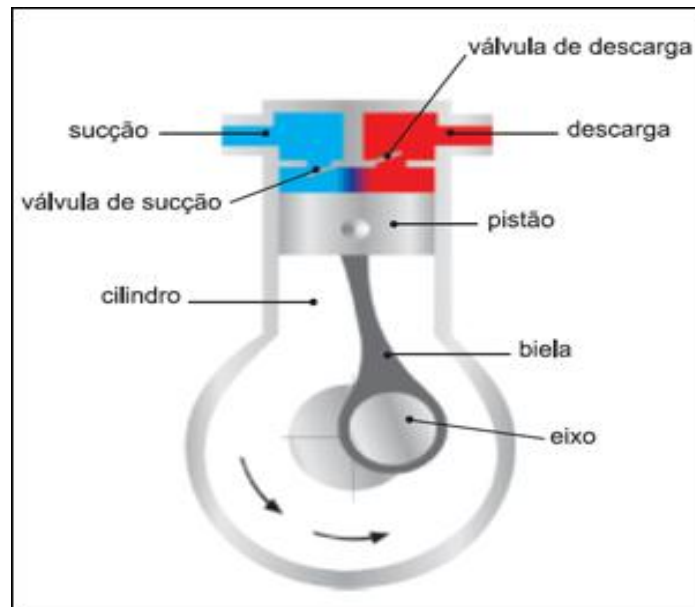


Figura 2: Compressor alternativo.
Fonte: DIAS, 2008.

3.2 COMPRESSOR ROTATIVO

O compressor rotativo pode ser do tipo de palhetas simples ou de múltiplas palhetas. No compressor de palheta simples ou de pistão rolante o eixo do motor é excêntrico ao rotor, de modo que a compressão se dá pela formação de duas câmaras, uma de sucção e outra de descarga, divididas por uma palheta simples atuada por uma mola. A compressão se dá com a redução do volume da câmara de descarga pelo rotor. Já o compressor rotativo de palhetas múltiplas tem o mesmo tipo de disposição do rotor em relação ao cilindro de compressão, porém nesse caso, as lâminas formam diversas câmaras de compressão, conforme ilustra a Figura 3.

Nesses compressores, quando o rotor gira, o espaço de compressão é gradualmente reduzido e o gás preso é comprimido. Quando o espaço atinge o ponto mínimo (a janela de descarga do cilindro), o fluido na fase de vapor é forçado para a tubulação de descarga. Os compressores rotativos apresentam menor vibração durante seu funcionamento e desta forma são mais utilizados em situações onde o baixo nível de ruído é fundamental (SILVA 2004, p.114).

Conforme Silva (2007), estes compressores apresentam maior temperatura que os alternativos, devido ao seu sistema de compressão excêntrico.

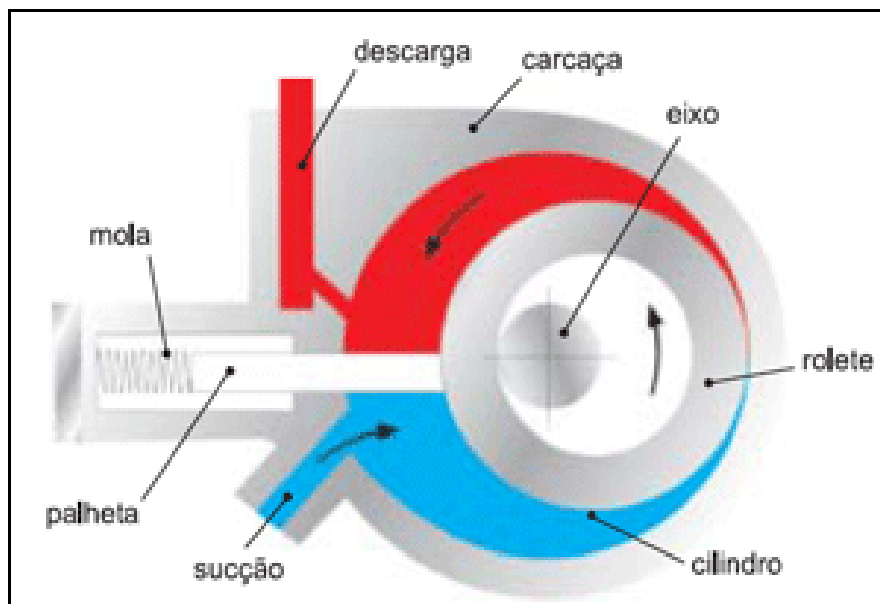


Figura 3: Compressor rotativo.
Fonte: DIAS, 2008.

3.3 DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO

3.3.1 Tubo capilar

Este é o mais simples dispositivo de expansão, pois o fluido refrigerante perde pressão quando entra em atrito com sua parede interna que em geral

apresenta 0,6 mm de diâmetro interno. Seu comprimento é determinado pelo tipo de refrigerante e da relação de compressão do sistema, Figura 4.

A grande vantagem do tubo capilar é necessitar de um torque menor durante a partida do compressor, pois quando o sistema desliga há uma equalização de pressão (SILVA 2004, p.129).



Figura 4: Tubo capilar.

3.3.2 Válvula de expansão termostática

Estas válvulas, figura 5, regulam a entrada do fluido refrigerante no evaporador e o controlam em função do superaquecimento do refrigerante.

A válvula é formada de um elemento termostático separado do corpo por uma membrana. O elemento está em contacto com um bulbo através de um tubo capilar, um corpo de válvula e uma mola.

O funcionamento de uma válvula de expansão termostática é determinado por 3 pressões fundamentais:

P1: A pressão do bulbo que atua na parte superior da membrana e no sentido da abertura da válvula. P2: A pressão do evaporador, que atua na parte inferior da membrana e no sentido do fechamento da válvula. P3: A pressão da mola, que igualmente atua na parte inferior da membrana e no sentido do fechamento da válvula (SILVA 2004, p.130,131).



Figura 5: Válvula expansão direta.

3.4 CONDENSADOR

Os condensadores são equipamentos que tem a função de liberar o calor absorvido pelo fluido refrigerante no evaporador e no compressor. Desta forma o fluido refrigerante que se encontra no estado gasoso se transforma em líquido. Nesta bancada será utilizado um condensador a ar com convecção forçada, Figura 6.

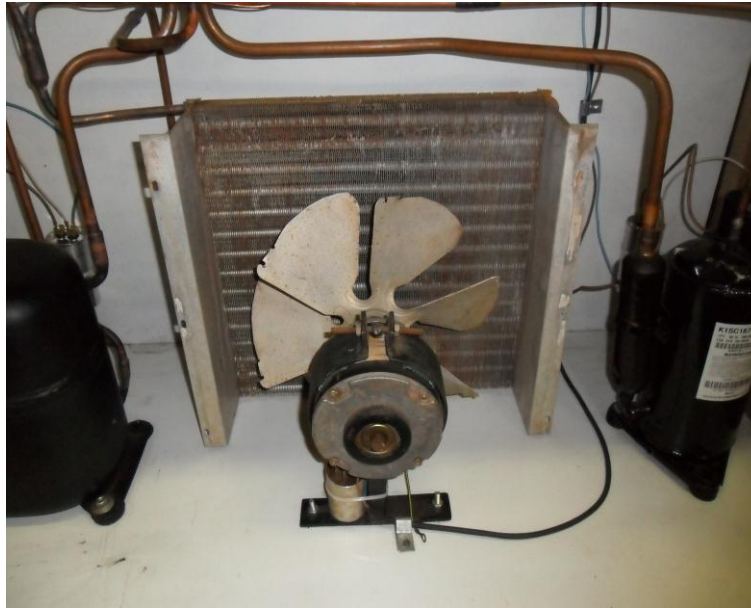


Figura 6: Condensador.

Na linha residencial a grande maioria dos refrigerantes utilizam condensadores com circulação natural de ar (convecção natural), já na linha de refrigeração e climatização comercial, câmaras frigoríficas, centrais de ar condicionado e centrais de água gelada, os condensadores recebem a circulação forçada do ar por meio de um moto ventilador (convecção forçada), Os condensadores utilizam aletas para melhorar a transferência de calor entre o fluido refrigerante e o ar , (SILVA 2007, p.76).

3.5 EVAPORADOR

O evaporador, figura 7, tem como função a absorção do calor interno de um ambiente ou de um alimento. O fluido refrigerante que sai do dispositivo de expansão e entra no evaporador se encontra no estado líquido a baixa temperatura. Quando entra em contato com o calor do ambiente muda de estado físico e evapora.

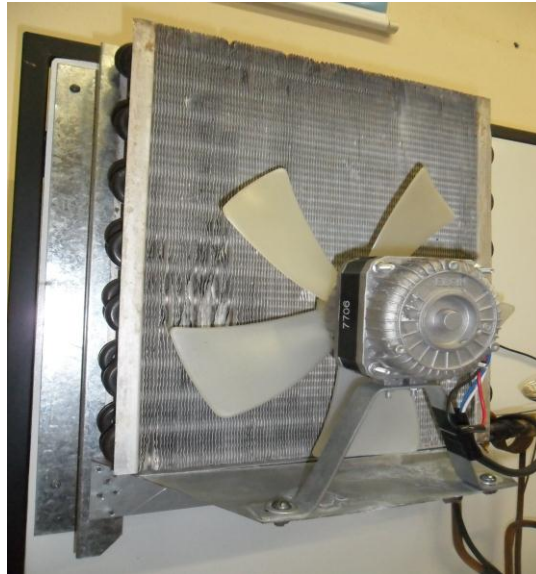


Figura 7: Evaporador.

3.6 VÁLVULA SOLENÓIDE

A válvula solenóide, figura 8, é uma válvula eletromagnética servocomandada. Se a bobina recebe corrente, a válvula abre o orifício de passagem do fluido refrigerante. Este orifício tem uma seção de passagem superior ao conjunto de todos os orifícios de equalização de pressão. A pressão sobre o diafragma é reduzida por escape através do orifício piloto para a saída da válvula, e o diafragma é levantado pelo aumento da pressão de entrada no lado inferior. Quando a bobina não recebe corrente, o orifício piloto está fechado, e o diafragma é empurrado de encontro a sede da válvula, porque a pressão sobre o diafragma aumenta dos orifícios de equalização de pressão (SILVA 2007, p.93,94).

Cita Silva (2004), que a válvula solenoide tem como aplicação na refrigeração o bloqueio da linha de líquido antes da válvula de expansão, tendo como objetivo evitar a migração de fluido refrigerante no desligamento do aparelho, parada do compressor ou falha no ciclo.



Figura 8: Válvula solenoide.

3.7 TERMÔMETRO

O instrumento usado para medir a temperatura de um corpo é chamado termômetro. Geralmente estes instrumentos baseiam-se no fenômeno da dilatação sofrida pelos corpos quando submetidos ao aquecimento. Como os sólidos são os que menos se dilatam, são usados para medidas de altas temperaturas; os gases dilatam-se relativamente mais e são usados para medidas de pequenas variações de temperatura; os líquidos são usados nas aplicações gerais destacando-se o álcool e o mercúrio (SILVA 2007, p.15).

Cita ainda Silva (2007) que para uma maior precisão nas leituras usam-se os termômetros eletrônicos digitais, figura 9.

3.8 MANÔMETROS

Conforme Halliday (1996), manômetro é um instrumento utilizado para medir a pressão de fluidos contidos em recipientes fechados. Existem, basicamente, dois tipos: os de líquidos e os de gases.

Salienta Silva (2007) que manômetros medem pressões acima da pressão da atmosfera, e que pressões abaixo da atmosfera são conhecidas como vácuo.

Um sistema de refrigeração divide-se em duas partes, de acordo com a pressão exercida. A parte de baixa pressão consiste do evaporador e tubo de sucção. A pressão que exerce o fluido refrigerante nestas partes é a pressão de vaporização ou evaporação. Esta expressão também pode ser chamada de “pressão de sucção” ou “pressão do evaporador”, geralmente é medida na válvula de entrada (sucção) do compressor através da instalação de um manômetro adequado.

O lado de alta pressão, ou o “lado de alta” do sistema, consiste de linha de descarga, condensador e linha de líquido. A linha de líquido liga o condensador ao dispositivo de expansão. A pressão que exerce o fluido refrigerante nesta parte do sistema é alta pressão sob o qual se condensa no condensador. Essa pressão denomina-se “pressão de condensação” ou “pressão de descarga”

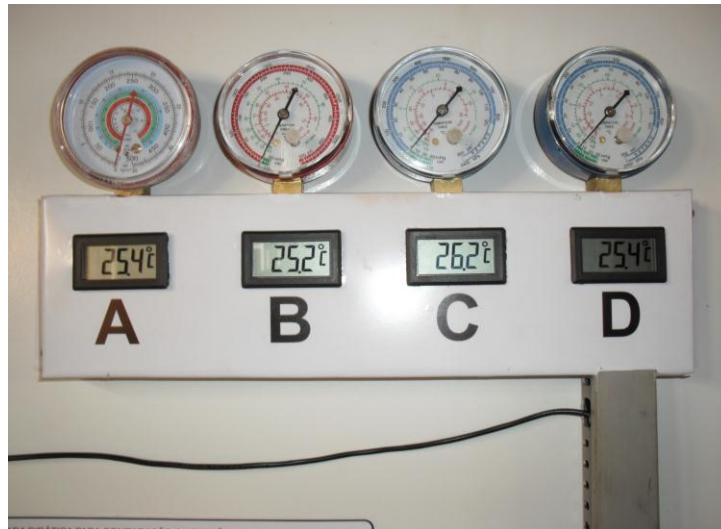


Figura 9: Manômetros de alta e baixa e termômetros digitais.

4 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA

4.1 ESTRUTURA

Conforme a figura 10, a estrutura foi confeccionada por tubos metálicos de seção quadrada de 20x20mm com dimensões de:

ALTURA (m)	1,80
LARGURA (m)	0,50
COMPRIMENTO (m)	1,10



Figura 10: Estrutura bancada.

Após a confecção da estrutura, foram fixadas placas de madeira de 15 mm de espessura a fim de proteger e fixar os componentes na respectiva bancada. Quatro rodízios giratórios foram fixados para dar a bancada uma maior mobilidade.

Para finalizar, a estrutura recebeu uma camada de tinta preta fosca na parte metálica, conforme a Figura 11.



Figura 11: Aplicação de tinta.

4.2 COMPONENTES UTILIZADOS

Os componentes utilizados na bancada são:

COMPONENTE	QUANTIDADE
Compressor alternativo	01
Compressor rotativo	01
Condensador	01
Evaporador	01
Ventilador	02
Válvulas solenóide	02
Válvula de expansão	01
Tubo capilar	01
Manômetros de baixa pressão	02
Manômetros de alta pressão	02
Termômetros digitais com faixa de -50°C a 50°C	04

4.3 FIXAÇÃO DOS COMPONENTES

O compressor alternativo foi reaproveitado de um ar condicionado antigo e uma pintura completa precisou ser realizada, pois o mesmo estava com pontos sem pintura e com início de ferrugem, conforme figura 12. Após isto os compressor alternativo e o compressor rotativo, figura 13 foram posicionados na bancada e fixados com parafusos.



Figura 12: Antes e depois de reforma no compressor alternativo.



Figura 13: Compressor rotativo fixado na bancada.

Para fixar o evaporador e o ventilador precisou-se confeccionar um suporte feito com chapa zincada, figura 14.



Figura 14: Evaporador com seu respectivo ventilador fixado no suporte.

Após a fixação dos componentes, a tubulação de cobre foi soldada junto com as válvulas solenóides e os dispositivos de expansão.

As válvulas solenóides foram fixadas na saída do condensador para que a seleção dos dispositivos de expansão, conforme figura 15.

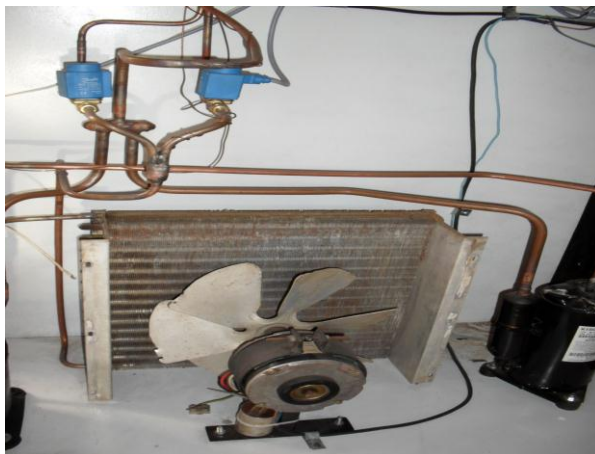


Figura 15: Condensador, ventilador e válvulas solenoides fixadas em seus lugares.

Os manômetros e os termômetros foram fixados na bancada juntamente com sua base, feita com metal para apoiar os mesmos, figura 9.

A figura 16 mostra a bancada montada.



Figura 16: Bancada montada.

4.4 LIGAÇÃO ELÉTRICA

Foi escolhida a tensão 220V na bancada pois todos os componentes da mesma trabalham nessa tensão, conforme Figura 17.

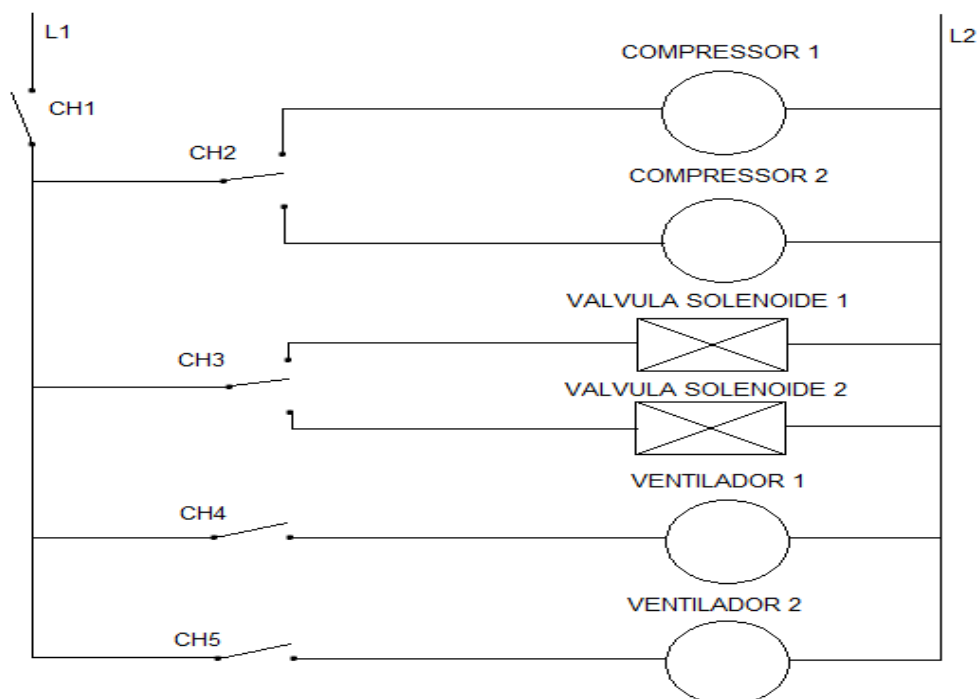


Figura 17: Diagrama de ligação dos componentes da bancada.

A ligação elétrica dos compressores foi executada conforme a Figura 18.

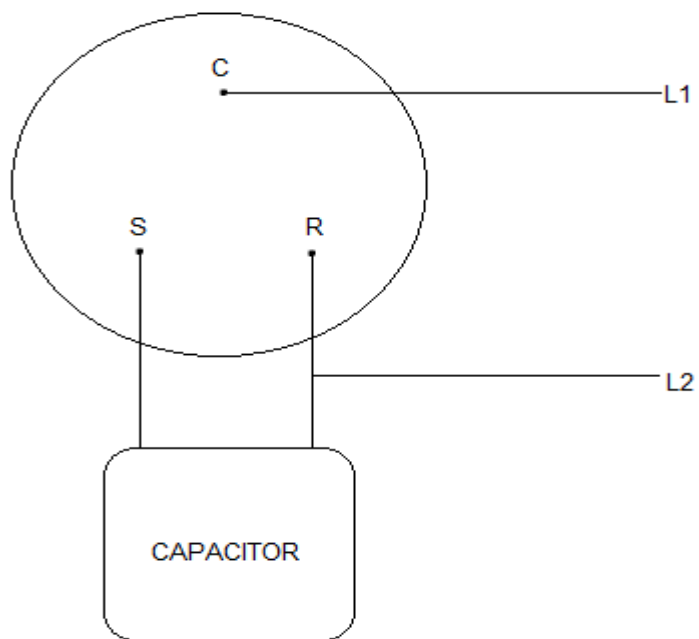


Figura 18: Diagrama de ligação dos compressores

As válvulas solenóides e o ventilador do evaporador foram ligadas diretamente, sendo que nas válvulas foi conectada a energia em suas bobinas.

O ventilador do condensador foi ligado com o auxílio de um capacitor. Este ventilador possui duas rotações sendo que a escolhida para este trabalho foi a baixa.

Para seleccionar a baixa rotação é ligado o fio preto, e a alta o fio vermelho, conforme ilustra a Figura 19.

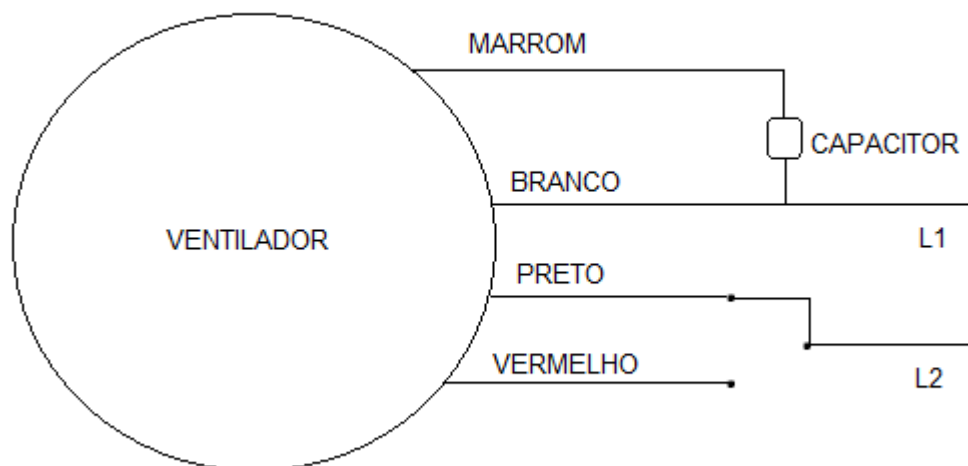


Figura 19: Diagrama de ligação do ventilador do condensador.

5 FUNCIONAMENTO DA BANCADA

Para colocar a bancada em funcionamento foi aplicada uma carga de fluido refrigerante comercialmente conhecido como HCFC R22.

Conforme ilustra a Figura 20, para colocar a bancada em funcionamento é necessário acionar a chave geral (CH1) energizando assim a bancada.



Figura 20: Painel de comando.

A chave de seleção do compressor (CH2) tem a função de selecionar o compressor. Na posição 1 seleciona-se o alternativo e na posição 2 seleciona-se o rotativo.

A chave de seleção do dispositivo de expansão (CH3) tem a função de selecionar a válvula solenóide. Na posição 1 seleciona-se o tubo capilar e na posição 2 seleciona-se o dispositivo de expansão.

A chave de seleção do ventilador do condensador (CH4) tem a função de ligar ou desligar o ventilador do condensador.

A chave de seleção do ventilador do evaporador (CH5) tem a função de ligar ou desligar o ventilador do evaporador.

As chaves CH2 e CH3 são interruptores unipolares de três posições e as chaves CH1, CH4 e CH5 são interruptores unipolares de duas posições.

5.1 PONTOS DE MEDIÇÃO

A figura 21, indica os pontos aonde os manômetros e os termômetros estão instalados na bancada.

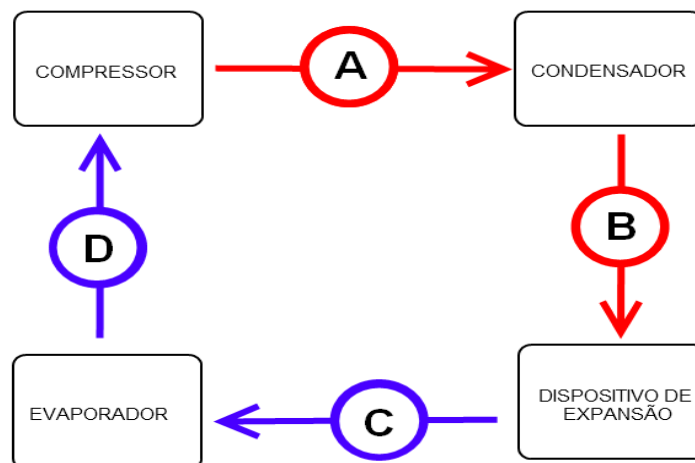


Figura 21: Ligação dos manômetros.

Os manômetros A e B são os de alta pressão, e os C e D são os de baixa pressão. Os termômetros serão ligados nos mesmos pontos dos manômetros.

A corrente elétrica deve ser medida com o auxílio de um alicate amperímetro e seu acesso é na parte traseira da bancada.

6 EXPERIÊNCIAS SOBRE A BANCADA

A seguir serão apresentadas as experiências e suas respectivas etapas de realização sobre a bancada.

6.1 Experiência utilizando o compressor rotativo e tubo capilar

Objetivo: Visualizar as pressões e temperaturas na entrada e na saída dos componentes do sistema utilizando a combinação compressor rotativo e tubo capilar.

Etapas:

1º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

2º) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.

3º) Ligar a chave geral.

4º) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.

5º) Selecionar o dispositivo de expansão 1 (tubo capilar).

6º) Selecionar o compressor 2 (compressor rotativo).

7º) Executar a leitura dos instrumentos.

8º) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.

9º) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Tabela 1: Resultado da análise da experiência do item 6.1.1.

	PONTOS DE MEDIÇÃO			
	A	B	C	D
PRESSÃO (PSI)	200	200	23	23
TEMPERATURA (°C)	47,2	35,2	3,4	23
CORRENTE (A)	3,6			
	A - B		D - C	
ΔT (°C)	12		19,6	

6.1.2 Experiência utilizando compressor rotativo e válvula de expansão

Objetivo: Visualizar as pressões e temperaturas na entrada e na saída dos componentes do sistema utilizando a combinação compressor rotativo e válvula de expansão.

Etapas:

- 1º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.
- 2º) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.
- 3º) Ligar a chave geral.
- 4º) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.
- 5º) Selecionar o dispositivo de expansão 2 (válvula de expansão).
- 6º) Selecionar o compressor 2 (compressor rotativo).
- 7º) Executar a leitura dos instrumentos.
- 8º) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.

9º) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Tabela 2: Resultado da análise da experiência do item 6.1.2.

	PONTOS DE MEDIÇÃO			
	A	B	C	D
PRESSÃO (PSI)	290	280	79	62
TEMPERATURA (°C)	56,7	37,2	10,2	24
CORRENTE (A)	7			
	A - B		D - C	
ΔT (°C)	19,5		13,8	

6.1.3 Experiência utilizando compressor alternativo e tubo capilar

Objetivo: Visualizar as pressões e temperaturas na entrada e na saída dos componentes do sistema utilizando a combinação compressor alternativo e tubo capilar.

1º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

2º) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas

3º) Ligar a chave geral.

4º) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.

5º) Selecionar o dispositivo de expansão 1 (tubo capilar).

6º) Selecionar o compressor 1 (compressor alternativo).

7º) Executar a leitura dos instrumentos.

8º) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.

9º) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Tabela 3: Resultado da análise da experiência do item 6.1.3.

	PONTOS DE MEDIÇÃO			
	A	B	C	D
PRESSÃO (PSI)	320	315	79	70
TEMPERATURA (°C)	46,8	46,8	11,6	22,2
CORRENTE (A)	5,7			
	A - B		D - C	
ΔT (°C)	0		10,6	

6.1.4 Experiência utilizando compressor alternativo e válvula expansão

Objetivo: Visualizar as pressões e temperaturas na entrada e na saída dos componentes do sistema utilizando a combinação compressor alternativo e válvula expansão.

1º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

2º) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas

3º) Ligar a chave geral.

4º) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.

5º) Selecionar o dispositivo de expansão 2 (válvula de expansão).

6º) Selecionar o compressor 1 (compressor alternativo).

7º) Executar a leitura dos instrumentos.

8º) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.

9º) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Tabela 4: Resultado da análise da experiência do item 6.1.4.

	PONTOS DE MEDIÇÃO			
	A	B	C	D
PRESSÃO (PSI)	370	315	80	70
TEMPERATURA (°C)	50	40,4	8,6	24
CORRENTE (A)	5,5			
	A - B		D - C	
ΔT (°C)	9,6		15,4	

6.2 Experiência simulando falha no ventilador do condensador.

Objetivo: Visualizar as pressões e temperaturas na entrada e na saída dos componentes do sistema com o ventilador do condensador desligado. O sistema será a combinação do compressor alternativo e tubo capilar

Esta experiência requer muita atenção e acompanhamento de um professor, pois, corrente, temperatura e especialmente a pressão sobem muito rapidamente.

Para simular a queima do ventilador do condensador e condensador sujo o ventilador do condensador é desligado.

Esta experiência deve ser suspensa assim que a parte de alta pressão (manômetros vermelhos) atingir 400 psi, ou a corrente do sistema ultrapasse 7A. Esta medida evita a queima do compressor.

Etapas:

1º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

2º) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas

3º) Ligar a chave geral.

4º) Ligar o ventilador do evaporador.

5º) Selecionar o dispositivo de expansão 1 (tubo capilar).

6º) Selecionar o compressor 1 (compressor alternativo).

7º) Executar a leitura dos instrumentos.

8º) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.

9º) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Tabela 5: Resultado da análise da experiência do item 6.2.1.

	PONTOS DE MEDIÇÃO			
	A	B	C	D
PRESSÃO (PSI)	410	405	80	72
TEMPERATURA (°C)	FIM ESCALA	40,4	8,8	22,6
CORRENTE (A)	5,95			
	A - B		D - C	
ΔT (°C)	-		13,8	

6 CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos nas experiências realizadas no capítulo 5, verificou-se que o sistema de refrigeração composto pelo compressor rotativo e o tubo capilar teve o menor consumo de energia, 3,6 A, comparado aos demais sistemas combinados. A razão para isto é que o compressor rotativo é um equipamento com menor quantidade de peças móveis e portanto apresenta menores perdas por atrito. Este mesmo sistema combinado mostra também que a temperatura do fluido refrigerante R22 na entrada do evaporador é a menor comparada com os outros sistemas, 3,4°C. Esta temperatura indica que o tubo capilar, como dispositivo de expansão, é a melhor opção quando utiliza-se sistemas de pequena potência.

Na experiência simulando uma falha no condensador, observa-se a elevação das pressões em todos os pontos medidos do sistema, o que leva a concluir que as trocas de calor, e conseqüentemente as mudanças de estado físico do fluido refrigerante não estão sendo realizados de forma desejável. Com isto o consumo de energia aumenta. Pode-se observar que o compressor alternativo suporta maiores pressões de descarga nestas condições comparados com o compressor rotativo devido a sua construção ser mais robusta. Este problema mostra a importância da manutenção preventiva nos trocadores de calor de um sistema de refrigeração.

As experiências possíveis de serem realizadas na bancada são de grande importância na formação do tecnólogo em manutenção industrial. Com ela, o aluno irá adquirir o perfeito domínio e compreensão dos fenômenos físicos envolvidos nos sistemas de refrigeração conferindo-lhe segurança no serviço de manutenção.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

DIAS, T.H. **Desenvolvimento de uma bancada didático pedagógico para o estudo de psicrometria**. Trabalho apresentado como requisito para o grau de Engenheiro Mecânico da Faculdade de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 2008. Em <http://www.pucrs.br/feng/tcc/mecanica/2008_1_52_trabalho.pdf>. Acesso em 11 novembro de 2011 às 12:45.

HALLIDAY,D.,RESNICK,R.,WALKER,J. **Física** - Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996.

SILVA, J.C, CASTRO, A.C. **Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros** – Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda. 2007.

SILVA, J.G da. **Introdução à tecnologia da refrigeração e climatização** – São Paulo: Artiliber Editora, 2003.

REFRIGERAÇÃO, Portal da. **História da refrigeração**. 2011. Em <www.refrigeração.net>. Acesso em 11 de novembro de 2011 às 22:50.