



Diego Jankiel Luft

**ESTUDO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE
REFRIGERAÇÃO**

Horizontina

2014

Diego Jankiel Luft

**ESTUDO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE
REFRIGERAÇÃO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Dr. Ademar Michels

Horizontina

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“ESTUDO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE
REFRIGERAÇÃO”**

Elaborada por:

Diego Jankiel Luft

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 12 /11 /2014
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Ademar Michels
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Prof. Dr. Fabiano Cassol
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2014**

DEDICATÓRIA

Com a conclusão desse trabalho, menciono as pessoas que se disponibilizaram a dar apoio.

Dedico esse trabalho aos meus pais, que me proporcionaram uma vida digna, na qual eu pude crescer acreditando que tudo é possível desde que sejamos honestos e íntegros de caráter. A minha namorada Francieli, por me aconselhar e ouvir, e a toda minha família e amigos, que me acompanharam durante o término desse trabalho, sempre incentivando e dando força.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, que me proporcionaram a educação necessária para chegar até aqui.

A minha namorada Francieli por estar sempre me auxiliando e torcendo para que meus objetivos sejam alcançados, tanto nas horas fáceis quanto nas difíceis sempre esteve do meu lado, mostrando que sempre há um novo caminho para ser seguido, agradeço pelo companheirismo e apoio.

A esta faculdade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje obtenho.

Ao meu orientador Dr. Ademar Michells, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho consiste no estudo de uma bancada de refrigeração para testes práticos e análise do ciclo de refrigeração. O estudo surgiu na necessidade da Faculdade Horizontina-FAHOR, em trabalhar com os acadêmicos de engenharia mecânica, em aulas práticas, que envolvam transferência de calor, refrigeração, máquinas térmicas e termodinâmica. Com isso o trabalho tem como principal ideologia estudar e avaliar a bancada que está localizada no laboratório da FAHOR procurando criar experiências das quais professores poderão utilizar nas aulas das disciplinas envolvidas. Esse equipamento encontra-se com pequenas divergências para o seu funcionamento ideal. O equipamento está sem parâmetros de funcionamento e não possui instrução de regulagem e controle. Para a confecção desse trabalho teve-se na metodologia um embasamento teórico sobre refrigeração, mas principalmente trabalhou em instalar equipamentos que possibilitam maior eficiência do sistema. A partir da reconstrução da bancada foi possível realizar provas em ambientes distintos, onde foi possível observar as variações de temperaturas em meio a um ambiente isolado e outro não isolado, assim possibilitando a construção de gráficos que indicam a perda de calor de um sistema para o outro. Esse trabalho foi elaborado para ajudar alunos e professores da faculdade que desconhecem os limites da máquina, o que a mesma pode fazer e como pode ser aproveitada no decorrer das aulas.

Palavras-chave: Testes práticos. Sistema de ar condicionado. Componentes do sistema de refrigeração.

ABSTRACT

The present work is about the study of a cooling bench for practice tests and analysis of the refrigeration cycle. This study emerged from necessity of the college of Horizontina - FAHOR to work with mechanical engineering students in practical classes involving heat transfer, refrigeration, heat engines and thermodynamics. This work aims to study and ideology the bench that is located in the FAHOR lab, trying to create experiences from which teachers can use in class in the other involved disciplines. This equipment has some small differences for their optimal functioning. It is without operating parameters and has no instruction for control and regulation. To produce this work, we had on the methodology a theoretical foundation on cooling, but we mostly worked on installing equipment that allows greater system efficiency. From the reconstruction of the bench was possible to carry out tests in different environments, where it was possible to observe variations in temperatures amid an isolated environment and other non-isolated, thus allowing the construction of graphs that indicate heat loss from one system to other.

Keywords: Practical tests. Air conditioning system. Components of the refrigeration system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fase de Condução, Convecção e Radiação.....	17
Figura 2: Diagrama Ph – Ciclo Ideal.....	21
Figura 3: Etapas de Refrigeração do Fluido.....	22
Figura 4: Tipos de Compressores.....	23
Figura 5: Exemplos de Compressores, Linha automotiva e Residencial.....	24
Figura 6: Condensador com resfriamento a água e a ar.....	25
Figura 7: Funcionamento do Evaporador.....	26
Figura 8: Modelos de Evaporadores.....	27
Figura 9: Ilustração Termostato.....	28
Figura 10: Etapa para Elaboração dos Processos.....	32
Figura 11: Bancada de Refrigeração.....	32
Figura 12: Componentes utilizados para as melhorias na Bancada de refrigeração.....	33
Figura 13: Funcionamento da Bancada antes das melhorias Implementadas.....	36
Figura 14: Montagem Painel Elétrico.....	39
Figura 15: Passos e Resultados do Circuito Eletrônico.....	40
Figura 16: Calibração dos Termopares.....	41
Figura 17: Valores encontrados na Calibração.....	42
Figura 18: Caixa de Acrílico.....	43
Figura 19: Reservatório de Ar.....	44
Figura 20: Coleta de dados velocidade 13 m/s, com Isolamento.....	45
Figura 21: Coleta de dados velocidade 3,5 m/s, com Isolamento.....	46
Figura 22: Coleta de dados velocidade 13 m/s, não Isolado.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. JUSTIFICATIVA.....	13
1.2. OBJETIVOS	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1. PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	15
2.1.1. TRANSFERÊNCIA DE CALOR	16
2.2. CONFORTO TÉRMICO	18
2.2.1. REFRIGERAÇÃO	19
2.3. COMPONENTES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	22
2.3.1. COMPRESSORES.....	22
2.3.2. CONDENSADORES OU TROCADORES DE CALOR.....	24
2.3.3. EVAPORADOR	25
2.3.4. VÁLVULA DE EXPANSÃO.....	27
2.3.5. TERMOSTATO	28
2.3.6. TUBULAÇÕES E MANGUEIRAS	28
3. METODOLOGIA	30
3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS.....	30
3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	31
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
4.1. ETAPA 1	35
4.1.1. ANÁLISE DO PROJETO.....	35
4.2. ETAPA 2	36
4.2.1. AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS.....	36
4.3. ETAPA 3	37
4.3.1. MONTAGEM DO CIRCUITO ELÉTRICO	37
4.3.2. CONSTRUÇÃO DO CIRCUITO ELETRÔNICO PARA COLETA DE DADOS	39
4.4. ETAPA 4	42
4.4.1. MONTAGEM DA NOVA CAIXA DE AR.	42

4.5. ETAPA 5	43
4.5.1. CONSTRUÇÃO DO RESERVATÓRIO.....	43
4.6. ETAPA 6	45
4.6.1. COLETA DE DADOS	45
4.6.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
5. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

O constante interesse de envolver, em sala de aula, a teoria e a prática vem favorecendo um melhor aprendizado aos acadêmicos. A relação entre juntar aulas teóricas com aulas práticas, possibilita um melhor aprendizado através das reflexões dos assuntos apresentados.

Com a realização desse trabalho, professores e acadêmicos podem utilizar este sistema de refrigeração durante as aulas, podendo aliar a teoria e a prática, intensificando assim o grau de aprendizagem dos acadêmicos durante o desenvolvimento das aulas.

Com base nesse contexto avaliou-se a possibilidade de melhorar a bancada de refrigeração, realizando vários experimentos, utilizando materiais e ferramentas diversas, criando assim, possibilidade aos acadêmicos de compreender a aplicação funcional de um sistema de refrigeração na prática e seu ciclo de funcionamento.

1.1. JUSTIFICATIVA

Justifica-se este trabalho pelas limitações do seu funcionamento, buscando dessa forma aperfeiçoar a mesma com o estudo e implementação de ferramentas e componentes indispensáveis em um sistema de refrigeração. Realizando testes práticos e comparando eficiência em ambientes isolados e ambientes não isolados. Realizou-se a produção de um material teórico referente a sistemas de refrigeração tendo em vista a complexidade desse sistema, possibilitando maior interação entre os acadêmicos com o funcionamento do sistema, assim deixando mais claro o funcionamento do ciclo térmico para os acadêmicos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Consiste em estudar e realizar coleta de dados em vários pontos e inclusive em um sistema isolado e não isolado, dessa forma possibilitando o aperfeiçoamento da bancada de teste, deixando-a em condições de uso para os professores e acadêmicos.

1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Os objetivos específicos são:

- Estudar o sistema de refrigeração para implementação de melhorias na bancada já existente;
- Montar a bancada, realizar experimentos em ambientes isolados e não isolados, e analisar o comportamento da bancada;
- Realizar testes utilizando materiais com isolamento e sem isolamento, e comprovar o funcionamento e a eficácia de seu sistema;

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura apresenta o embasamento teórico das diversas aplicações do sistema de refrigeração focado no uso de máquinas agrícolas, serão apresentados todos os componentes existentes nos processos de refrigeração e explicações dos instrumentos de verificação utilizados nos testes.

2.1. PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

De acordo com Stoecker e Jones (1985), a área de refrigeração e ar condicionado tem várias aplicações, embora que cada uma possui 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 nas indústrias químicas, possuem equipamentos indispensáveis à refrigeração.

O sistema de ar condicionado apresenta outras aplicações distintas. O ar condicionado de conforto é definido como o processo de condicionamento assim ajuste-se a temperatura do ambiente, umidade, pureza e distribuição de ar no sentido de promover o conforto térmico aos usuários do ambiente (STOECKER e JONES 1985).

Ainda para Stoecker e Jones (1985), as unidades de condicionamento de ar estão associadas à aplicação de conforto. O sistema para a refrigeração de ar durante o verão torna-se indispensável em edifícios no mundo inteiro.

Em regiões onde a temperatura se mantém elevada durante o ano inteiro, empresas, restaurantes, bares, enfim todos os estabelecimentos estão instalando sistemas de refrigeração, a fim de levarem conforto aos seus clientes. Até mesmo em regiões onde a temperatura não se eleva consideravelmente, estabelecimentos estão implantando refrigeração para compensar o calor liberado por pessoas, máquinas e equipamentos eletrônicos, contribuindo para a produtividade das pessoas que ali estão trabalhando (STOECKER e JONES 1985).

Conforme Stoecker e Jones (1985) pode-se, observar abaixo as várias aplicações em diversas áreas do sistema de refrigeração e perceber as funções dentro das suas respectivas áreas.

- Ar condicionado industrial: Utilizado para proporcionar conforto a trabalhadores em ambientes insalubres, podendo assim obter maior produtividade e qualidade nos serviços prestados pelos colaboradores. O sistema de refrigeração industrial pode ser utilizado em aquecimentos localizados, resfriamentos localizados, laboratórios de testes ambientais, sala de computadores e usinas geradores de potência.
- Ar condicionado residencial: utilizado para trazer maior conforto aos usuários em suas residências, proporcionando melhor qualidade nas noites de sono, e no dia a dia dos proprietários, em diversas aplicações.
- Ar condicionado em veículos: Utilizado em veículos, como automóveis, caminhões, ônibus, trens e até mesmo em equipamentos agrícolas utilizados no campo. Com o uso do sistema de refrigeração interno nestes ambientes, proporciona conforto aos operadores e passageiros.
- Armazenamento de alimentos: No armazenamento de alimentos o sistema de refrigeração é essencial, pois resfriando os alimentos consegue-se prolongar sua vida e qualifica o produto.
- Aplicações especiais da refrigeração: A refrigeração possui algumas aplicações especiais, como em bebedouros de água, produtor de gelo, pistas de patinação, na construção civil e também na remoção do sal da água do mar.

A indústria de refrigeração e ar condicionado tem passado por um crescimento contínuo na evolução de tecnologias, e com isso está tendo um crescimento significativo nas vendas de aparelhos e produtos com sistema de refrigeração. Esses equipamentos estão cada vez mais eficazes, ocupando assim menos espaço nos ambientes instalados. (STOECKER e JONES 1985).

2.1.1. Transferência de calor

Transferência de calor é essencialmente a energia que se encontra em certo sistema, que pode oferecer uma diferença de temperatura, entre os corpos existentes.

Para Bejan (1996) a transferência de calor determina-se como sendo o potencial de energia transferida de um corpo para o outro, devido à variação de

temperatura existente neles. O corpo de maior temperatura troca calor com o de menor temperatura, até que haja equilíbrio nas temperaturas, ou equilíbrio térmico.

Conforme Çengel e Ghajar (2012) existem três tipos de transferência de calor mais vigente no meio, condução, convecção e radiação. Essas transferências de calor podem ser observadas na Figura 1:

Figura 1: Fases de Condução, Convecção e Radiação.



FONTE: Costa (1982).

O processo de condução, de acordo Çengel e Ghajar (2012), é definido como a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para outra podendo ocorrer em sólidos, líquidos e gases. A taxa de calor transferida por condução para o meio depende da geometria, espessura e tipo de material que está submetido.

Já no processo de radiação, a transferência de calor é a energia transferida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas como resultado na mudança elétrica de átomos ou moléculas. Ao contrário da condução e convecção a transferência por radiação é mais rápida e não sofre alteração do vácuo. A radiação é considerada um fenômeno superficial para os sólidos (ÇENGEL e GHAJAR 2012).

O processo de convecção para Braga Filho (2004), são etapas que envolvem a troca de calor entre uma superfície sólida e um fluido, na forma líquida ou gás. O processo ocorre através do deslocamento da matéria aquecida havendo um transporte de matéria. Nos líquidos, nos quais ocorre grande movimento das partículas aquecidas devido ao contato direto com uma parede sólida, as partículas se deslocam para locais de temperaturas mais baixas, ocasionando troca de energia

de um lugar para outro. Quando isso ocorre, se diz que houve transmissão de calor por convecção.

2.2. CONFORTO TÉRMICO

Para Naranjo (2011), conforto térmico é o estado mental que expressa o contentamento do ser humano com o meio onde circula. Quando o ser humano não está satisfeito com o ambiente, podemos dizer que está com desconforto térmico pelo calor ou pelo frio. Isso ocorre quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferença entre o calor produzido pelo corpo e o calor produzido pelo ambiente.

A troca térmica entre corpo e ambiente acontece com a quantidade de calor liberado pelo organismo e a quantidade de calor remitida pelo sistema. O calor perdido pelo corpo pode ser dissipado através da condução, convecção e radiação. Essas são as trocas secas onde o corpo e o ambiente se envolvem. Essa quantidade de calor liberada também pode ser chamar de calor sensível, ou seja, a função da diferença de temperatura entre corpo e ambiente. Nas trocas úmidas podemos citar a evaporação, também chamada de calor latente, a qual envolve mudança de fases, por exemplo, o suor líquido que passa para o estado gasoso por meio da evaporação. (NARANJO (2011)).

Conforme Naranjo (2011), o processo de produção de energia interna é chamado de metabolismo, sobre esse o organismo adquire energia. Levando em consideração que apenas 20% da energia são transferidas em potencialidade de trabalho, o restante, os 80%, são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura seja mantida em equilíbrio. Com isso temos a temperatura interna do organismo mantida constante em 37°C, podendo variar de 36,1 a 37,2°C, tendo conhecimento que os limites de sobrevivência devem estar entre 32 e 42°C.

A temperatura do ar é a principal variável no conforto térmico. A sensação de calor é baseada em relação à perda de calor na diferença de temperatura entre ar e pele. O calor é produzido através do metabolismo, com isso as perdas são menores quando a temperatura do ar está alta, ou maiores quando a temperatura está mais baixa. A temperatura de dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar e isso se pode chamar de convecção natural, através da qual a parte mais quente se

torna mais leve, enquanto a mais fria desce proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente. (NARANJO 2011).

Ainda para Naranjo (2011), podemos chamar a temperatura do ar de bulbo seco (TBS). O TBS é medido com a temperatura de bulbo úmido, através do psicrômetro giratório. Para medir a temperatura de bulbo úmido (TBU) podemos utilizar um termômetro parecido ao utilizado na medição do TBS.

A norma ISO 7730, criada para averiguar o conforto térmico, considera que um espaço apresenta condições de conforto térmico quando 90% dos ocupantes do ambiente sentem-se confortáveis. (NARANJO 2011).

Para Costa (1974), a zona de conforto é a zona da carta psicométrica, na qual compreendem pontos indicativos da temperatura efetiva, correspondente à condição térmica, dita como de conforto para um grupo de pessoas.

2.2.1. Refrigeração

A definição de refrigeração para Costa (1982) é a quantidade de calor retirado do sistema, podendo também ser chamado de potência frigorífica ou carga térmica de refrigeração. A unidade desse sistema é chamada de frigoria por hora (fg/h). A frigoria equivale a uma quilocaloria retirada do sistema de acordo as leis da termodinâmica. Na prática iremos tratar a unidade de frigoria como tonelada de refrigeração (TR). As técnicas de refrigeração englobam três maneiras, que são: produção de frio, a distribuição do frio e conservação do frio.

- Produção do frio: define-se como qualquer fenômeno físico da natureza endotérmica. Na produção do frio podemos citar a fusão do sólido, como o gelo comum a (0°C) e o gelo seco (neve) a (-78,9°C), Costa também cita dentro do sistema de produção do frio, a expansão do gás com produção de trabalho.
- Distribuição do frio: A distribuição do frio pode ser feita pela circulação do fluido refrigerante presente no sistema, poderá ser dito que nesse caso a refrigeração é dita como expansão direta. A distribuição pode ser feita por circulação de um líquido frigorígeno secundário, que pode ser chamada de expansão indireta. A circulação do frio, previamente refrigerado por expansão direta ou indireta, acontece em dispositivos corretos chamados de condicionadores (COSTA 1982).

- Conservação do frio: Para Costa (1982), a conservação do frio de um sistema é uma temperatura inferior à do meio existente, exigindo a criação de resistência térmica elevada. A resistência térmica elevada é obtida por meio de isolamento térmico, assim a conservação do frio está ligada diretamente a construção do ambiente onde o sistema está sendo atuado, levando em consideração que todo ambiente tem perdas de carga térmica.

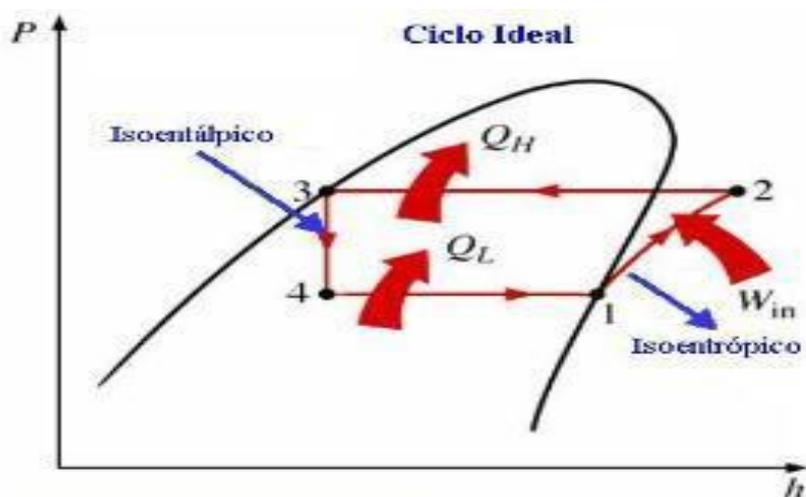
Para Costa (1982), a refrigeração pode ser feita com a seguinte descrição:

- Arrefecimento: É a redução da temperatura de um corpo até o equilíbrio com o ambiente;
- Resfriamento: Possui a função de reduzir a temperatura, da temperatura ambiente até a temperatura de congelamento do fluido (0°C);
- Congelamento: Redução da temperatura de um corpo até o ponto de congelamento.

Junior (2003) define o ciclo de refrigeração, como sendo um circuito fechado, no qual o fluido refrigerante consiga transformar-se em líquido e vapor, conseguindo absorver calor pela evaporação e expelindo calor pela condensação.

Para Stoecker e Jabardo (2002), o ciclo termodinâmico tem um procedimento ideal para seu funcionamento. Esse procedimento exige que o fluido refrigerante sofra transformações e no final retorne ao estado inicial. Nesse processo o ciclo de Carnot se torna um ciclo ideal, reversível, trabalhando entre dois níveis de temperatura e, portanto apresentando a maior e melhor eficiência. Figura 2, será observado e analisado o ciclo ideal.

Figura 2: Diagrama Ph - Ciclo Ideal



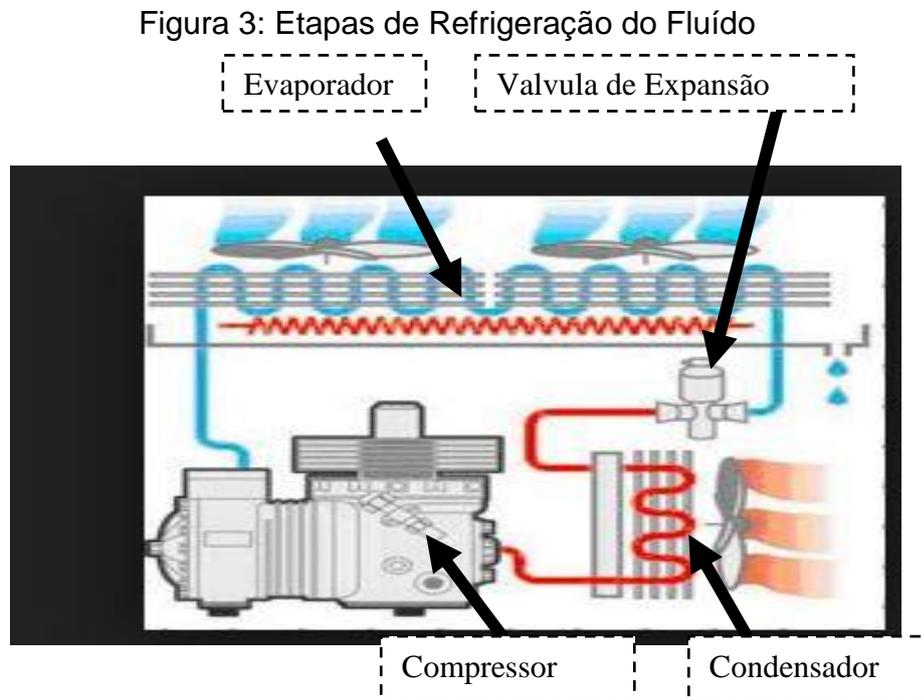
Fonte: Panesi (2001).

Ainda para os autores Stoecker e Jabardo (2002), o gráfico do ciclo de refrigeração são descritos a partir de valores teóricos e reais do sistema, mostrando em cada etapa do ciclo o estado do refrigerante. No gráfico são utilizados vários diagramas, levando em conta que os diagramas podem variar dependendo do refrigerante utilizado no sistema.

Para Stoecker e Jabardo (2002), o ciclo ideal da refrigeração é composto por quatro tipos de transformações durante o processo, conforme observados na Figura 4 descritos na sequência.

- Compressão: 1-2 Compressão isentrópica ocorre quando o vapor saturado ou em temperatura elevada passa da pressão P_1 para a estação de pressão P_2 , chegando à pressão de condensação;
- Condensação: 2-3 Após o condensador, o vapor em alta temperatura proveniente da compressão, é resfriado até a temperatura de saturação, sendo condensado, assim perdendo calor á pressão constante;
- Expansão: 3-4 Nesta etapa ocorre a expansão isoentálpica, do vapor condensado até atingir a pressão de evaporação, passando pelo P_2 para a pressão P_1 ;
- Evaporação: 4-1 No evaporador, o líquido refrigerante evapora até o estado de vapor saturado, com pressão constante. Assim, retirando calor do meio a ser refrigerado.

Na Figura 3 pode-se analisar e entender as quatro fases que o refrigerante tende a sofrer para fechar o ciclo de refrigeração.



2.3. COMPONENTES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Para Costa (1982), a refrigeração é realizada por meios de vapores, e consiste na produção contínua de líquido frigorígeno, o qual nos fornece por vaporização a desejada retirada de calor do meio. Para que ocorra essa retirada de calor do meio, terá vários equipamentos que compõem o circuito nos quais o líquido e o vapor deverão circular para concluir o ciclo.

2.3.1. Compressores

Conforme Joffily (2007), o compressor tem a finalidade de realizar o deslocamento de um fluido ou gás de certa massa. Para a realização da tarefa de transportar fluido, tem vários tipos de compressores com diversas capacidades de potências de transporte.

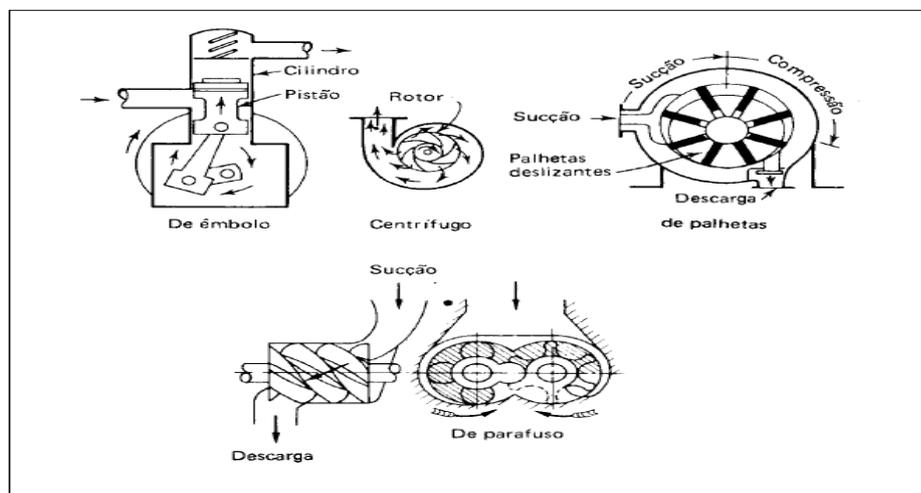
Para Martinelli (2005), o compressor é o coração de um sistema de ar condicionado, é utilizado por uma única razão: recuperar e comprimir o líquido

expandido para que ele possa tornar a ser utilizado várias vezes no processo. O autor cita cinco tipos de compressores mais utilizados na refrigeração.

- Compressores alternativos: Consiste na combinação de um ou mais conjuntos de pistão e cilindro.
- Compressor rotativo de parafuso: É mais um tipo de compressor de deslocamento positivo, foi utilizado pela primeira vez em meados de 1950, mas foi ganhando terreno rapidamente em virtude da sua praticidade.
- Compressor rotativo ou de palheta: O compressor aprisiona o gás em volume determinado, comprime girando dentro de um cilindro, com palhetas deslizantes forçadas. Assim, quando as palhetas passam pela abertura de sucção, o volume do gás aprisionado é de máxima pressão, girando o eixo até o ponto de ser descarregado na tubulação.
- Compressor centrífugo: O gás passa sucessivamente por cilindros, que possuem estágios necessários para o aumento da pressão, até atingir a pressão de descarga requerida pelo sistema.
- Compressor Scroll: Nesse compressor o gás passa por dois espirais sendo um fixo e outro móvel, conforme o espiral se movimenta o gás aprisionado é elevado até o centro das espiras, assim aumentado sua pressão até a saída.

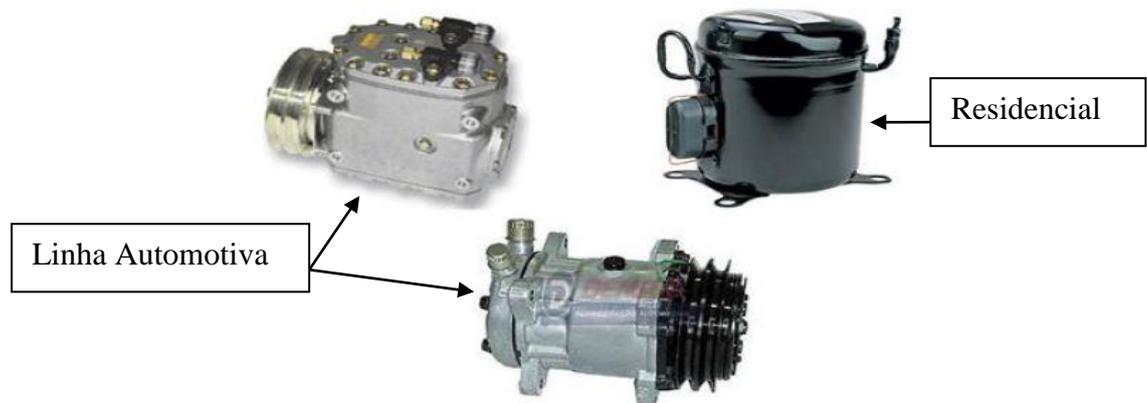
Na Figura 4 poderá ser observado, e entender os tipos de compressores utilizados em várias aplicações dentro da refrigeração.

Figura 4: Tipos de compressores



Para Costa (1982), a escolha do tipo de compressor depende especialmente da capacidade de instalação, que pode ser dividida em pequena capacidade, média capacidade e grande capacidade de resfriamento e circulação do fluido. A Figura 5 apresenta exemplos e modelos de compressores de refrigeração mais utilizados no mercado.

Figura 5: Exemplos de compressores, linha automotiva e residencial.



2.3.2. Condensadores ou Trocadores de Calor

O condensador é o elemento do sistema de refrigeração que tem a função de comprimir o gás quente para a rede do sistema. O gás quente é enviado do compressor em alta pressão em forma de líquido, com isso rejeita o calor contido no fluido refrigerante através do condensador. (MARTINELLI 2005).

Martinelli (2005) cita o momento em que o gás é admitido no condensador. O fluido refrigerante está no mesmo estado que a descarga do compressor, ou seja, gás quente em alta pressão, com isso o sistema de refrigeração tem o objetivo de evaporar o refrigerante. Esse refrigerante no estado gasoso deve ser condensado antes de retornar ao evaporador.

Para Martinelli (2005), o processo de condensação do fluido acontece ao longo do trocador de calor, em três etapas distintas: a de superaquecimento, na qual é realizada a retirada do calor sensível do refrigerante, ainda no estado gasoso, até atingir a temperatura de condensação; a de condensação, na qual é retirado o calor latente do refrigerante, e a temperatura se mantém constante até o fim do processo;

na etapa de sub-resfriamento, o fluido está no estado de líquido saturado e é resfriado mais alguns graus.

No condensador, toda a energia obtida pelo sistema de refrigeração e mais o equivalente em calor de energia mecânica, necessário ao funcionamento do sistema, devem ser rejeitados. Para cada tonelada de refrigeração (200BTU/min ou 50,4 Kcal/min) de capacidade do sistema, é necessária a remoção no condensador até 300 BTU/min. A quantidade depende das pressões de sucção e descarga dependendo do tipo de refrigerante. Na média os sistemas são dimensionados para rejeitar 250 BTU/min para cada 200 BTU/min, (MARTINELLI 2005).

Ainda para Martinelli (2005), há vários tipos de condensadores no mercado. Podem-se ver algumas imagens e descrições de condensadores mais utilizados nos sistemas de refrigeração automotiva.

Figura 6: Condensador com resfriamento a água e a ar.



2.3.3. Evaporador

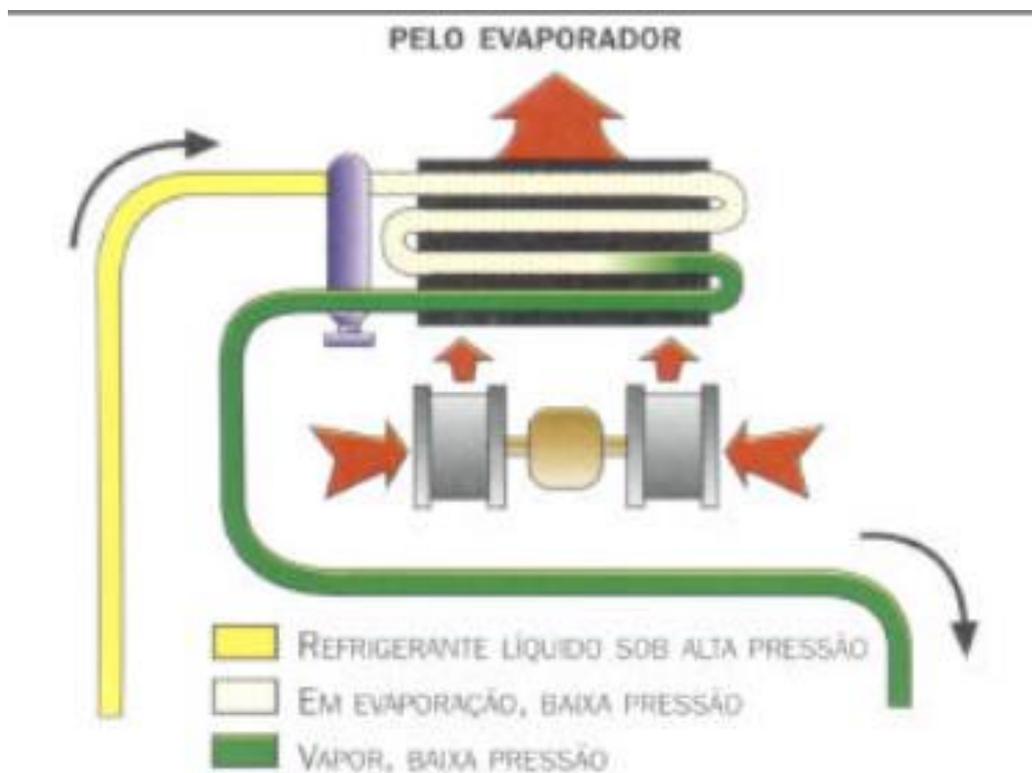
No evaporador, o fluido sofre mudança de estado, saindo da fase líquida e passando para a fase gasosa. Esse fenômeno também pode ser chamado de serpentina de resfriamento, serpentina de congelamento ou congelador. (MARTINELLI 2005).

Para Martinelli (2005), o evaporador pode ser um dispositivo muito simples, porém essencial no funcionamento do sistema de resfriamento. O evaporador tem função de trocar calor para o meio a ser refrigerado. A eficiência do evaporador depende de três requisitos a serem observados no momento do projeto, sendo eles:

- Ter superfície que consiga absorver a carga de calor sem ter diferença na temperatura entre o refrigerante e a substância a refrigerar.
- Deve conter espaço suficiente para o líquido refrigerante e também espaço adequado para que ocorra a mudança de fase do vapor para o líquido.
- Necessita de espaço suficiente para a circulação do refrigerante, sem queda de pressão excessiva entre a entrada e a saída do refrigerante.

No processo de evaporação, conforme Martinelli (2005), ocorre a passagem do gás refrigerante pela válvula de expansão, o fluido é admitido no evaporador na forma líquida. Como a pressão no evaporador é baixa, o fluido se evapora em baixa temperatura. No lado externo do evaporador, há um fluxo de fluido a ser refrigerado. Como a temperatura do fluido é maior que a do refrigerante, o mesmo se evapora. Após a evaporação do refrigerante, ele sofrerá um acréscimo de temperatura denominada superaquecimento. Na Figura 7 pode-se analisar o esquema de evaporação.

Figura 7: Funcionamento do Evaporador



Fonte: Martinelli (2005)

Existem vários tipos de evaporadores, conforme a Figura 8, na qual os mesmos são separados de acordo o método utilizado para controlar a refrigeração no ambiente a ser refrigerado: evaporadores de expansão seca, inundados, de tubo liso, do tipo tubo com aletas.

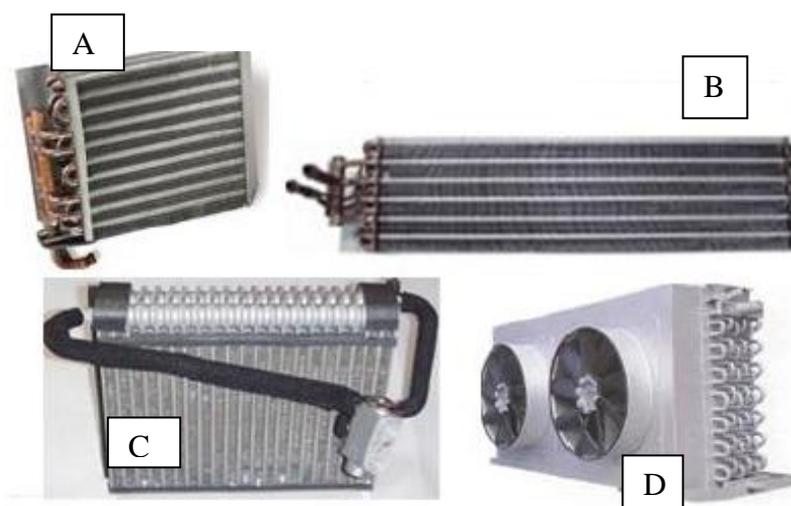
Na Figura 8-A pode ser observado um evaporador com tubos lisos utilizado na linha agrícola.

Na Figura 8-B pode ser observado um evaporador de tubos com aletas, também utilizado na linha agrícola e automotiva.

Na Figura 8-C, encontra-se o evaporador inundado, utilizado em câmeras frias.

Na Figura 8-D encontra-se o evaporador de expansão seca, também utilizado muito em câmeras frias.

Figura 8: Modelos de Evaporadores.



Fonte: Martinelli (2005)

2.3.4. Válvula de expansão

A principal finalidade da Válvula de expansão é proporcionar a redução da pressão do fluido refrigerante e controlar o fluxo de massa na entrada do evaporador, mantendo um constante aquecimento não dependendo das condições do sistema, evitando assim, a entrada de líquido no compressor. Para ocorrer o funcionamento correto da válvula é necessário que haja uma dependência da

fluidos refrigerantes entre os componentes do sistema (STOECKER e JABORDO 2002).

O transporte do fluido ocorre em condições variadas, estando diretamente relacionado ao estado do equipamento e do próprio refrigerante. Outro fator considerável é a correta seleção das mangueiras, tubulações e conexões que fazem parte do sistema, pois o mesmo deve ser dimensionado de acordo com o fluido que será usado no sistema. O dimensionamento das mangueiras e tubulações não necessita ser calculada, pois sua função básica é transportar o fluido pelo circuito do sistema, devendo assim atender a necessidade do sistema de refrigeração (PARKER, 1999).

3. METODOLOGIA

A FAHOR, Faculdade Horizontina, situada na cidade de Horizontina, Rio Grande do Sul, possui em suas instalações uma bancada de testes para refrigeração, sendo que a mesma foi desenvolvida por acadêmicos formandos de turmas de 2013.

Estudando esta bancada identificou-se a possibilidade de realizar melhorias, implementando novos dispositivos, para que possa entender melhor seu funcionamento.

A pesquisa iniciou-se diante da busca de dados e informações referentes ao tema do projeto, perante pesquisa bibliográfica, através de consultas de obras de autores considerados fundamentais para o assunto.

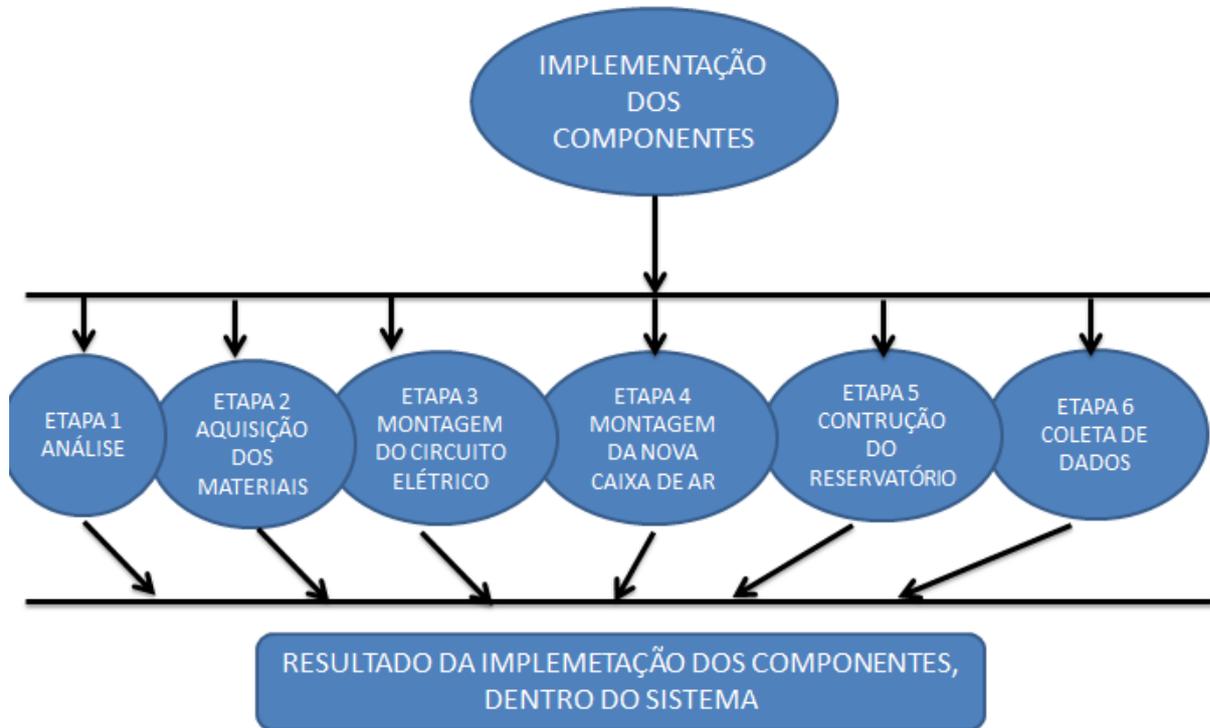
Para finalizar os procedimentos aplicados foram coletados dados na parte interna do reservatório através de vários testes e simulações de ambientes isolados e não isolados, construindo dessa forma um comparativo do sistema, apresentando assim em gráficos.

3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

O estudo realizado foi analisar como e onde serão implantadas as melhorias, e como simplificar a bancada, a fim de torna-lo o mais real possível, comparando com um sistema de refrigeração montado em uma máquina agrícola que trabalha no campo.

Na sequência descreve-se o passo a passo da implementação das melhorias e alteração do projeto diante da bancada, os materiais componentes e processos utilizados para o desenvolvimento e coleta de dados da bancada didática. Pode-se interpretar e acompanhar os passos de implementação na Figura 10.

Figura 10: Etapas para elaboração dos processos.

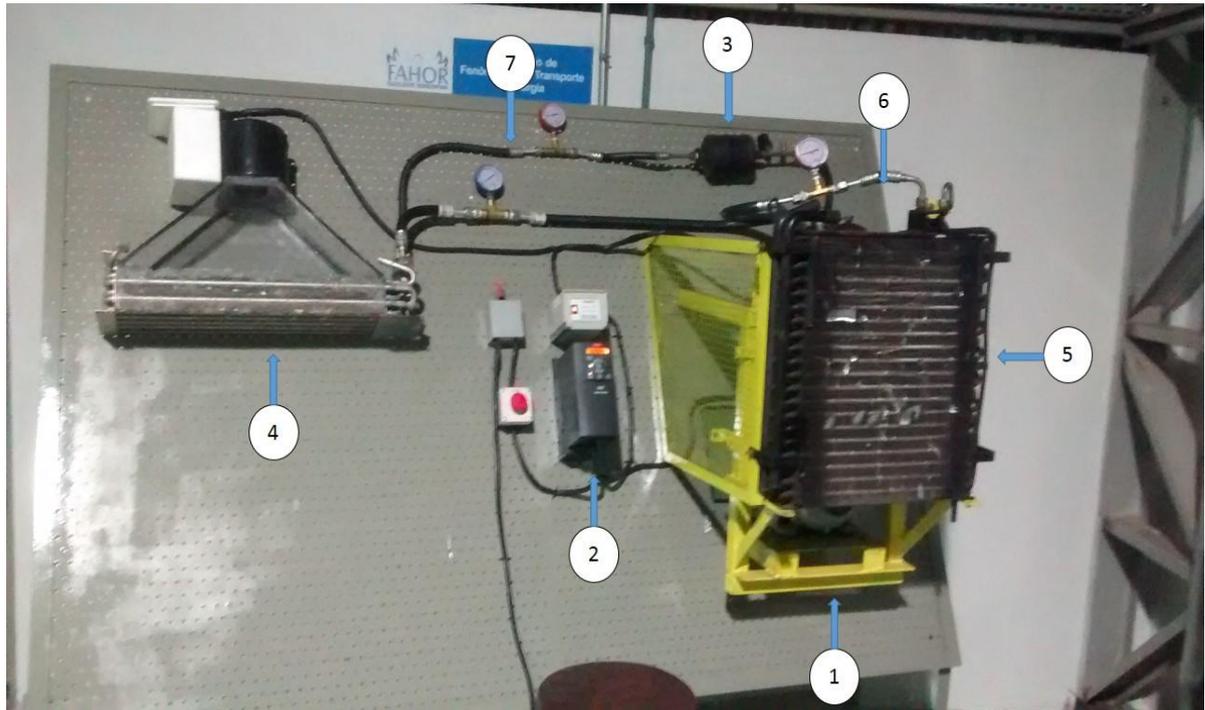


3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Com o auxílio de peças e materiais, foram implementados dispositivos que auxiliam no trabalho de refrigeração do sistema, fazendo com que haja um aumento considerável no seu resfriamento.

Para que fossem realizadas as melhorias, além da bancada será utilizada peças essenciais, como termostato, relé, ventilador com Siroco duplo e ainda com controlador de velocidade para o ventilador. Na Figura 11 encontram-se esses componentes representados, para melhor o entendimento.

Figura 11: Bancada de refrigeração.



Pode-se visualizar os componentes a partir da numeração correspondente da Figura 11.

1-Para o acionamento do compressor utiliza-se um motor elétrico marca Eberle, trifásico de 380/660v, 3450 rpm de alta;

2-Para o controle do motor, tem-se um inversor de frequência modelo Danfoss VLT 5000 serie, 50/60 Hz, 380v, até 12,4 A. Esse conjunto necessita um trabalho conjugado, pois é peça essencial para iniciarmos o funcionamento de todo o sistema da bancada;

3-Para a limpeza do gás emprega-se um Filtro secador;

4-Para fazer a troca de calor do sistema com o ambiente a ser refrigerado tem-se um Evaporador marca Serraff.

5-Para a troca de calor utiliza-se um Condensador marca Serraff.

6-Compressor modelo Denso 6P 148 – John Deere para fluido R134a.

7-Mangueiras PARKER modelo Futura, diâmetro 5/8 e 1/2, a qual tem a função de transportar o fluido de refrigeração por todo o sistema.

Com a análise desse dispositivo de refrigeração, foi identificada a possibilidade de implementar melhorias na bancada, com o auxílio dos componentes ilustrados na Figura 12. Dessa forma, tem-se como objetivo avaliar o comportamento do sistema de refrigeração, e simplificar sua operação.

Figura 12: Componentes utilizados para as melhorias na bancada de refrigeração.



Figura 12 (A): A função do termostato é controlar o compressor, desligando e ligando o mesmo, assim que atingir a temperatura de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro do evaporador, evitando o congelamento do mesmo e desgaste do compressor;

Figura 12 (B): Chave controladora de velocidade do ventilador. Com essa chave pode-se regular a velocidade do ar que foi aplicado no sistema;

Figura 12 (C): Resistor controlador do ventilador, no qual foi realizada a ligação de três velocidades do ventilador diretamente com a chave controladora, assim podendo controlar a velocidade do ar;

Figura 12 (D): Relê para controlar o termostato. O mesmo faz parte de todo o controle do circuito elétrico;

Figura 12 (E): Moto ventilador tem como função forçar o ar no sistema, fazendo com que o ar circule dentro do sistema refrigerando. O mesmo pode alcançar em sua velocidade máxima uma vazão de ar sem perda de carga por atrito, em torno de 13 m/s.

Para a construção da caixa do ar condicionado onde será envolvida o ventilador, foram utilizadas chapas de acrílico de espessura 5 mm, procurando, dessa forma, uma adequada vedação, amenizando perdas ou trocas de calor indesejadas. Para auxiliar na vedação das partes unidas do acrílico foi aplicado silicone de vedação. Também foi considerada no uso do acrílico a visibilidade do sistema.

Na elaboração do reservatório de ar, foram utilizadas chapas SAE 1020 de espessura 0,9 mm. As mesmas foram soldadas, formando assim uma caixa metálica com divisão interna para que se possam fazer testes de duas maneiras distintas. Na vedação do reservatório, foi aplicada fita adesiva Scotch, com largura de 14 mm e espessura de 10 mm. Para que haja uma vedação parcial do reservatório de ar, terá aplicação de isomanta metalizada, fabricada de polietileno expandido, com espessura de 3 mm, para a vedação de uma parte do reservatório de ar. Essas construções e maneiras construtivas foram explicadas e apontadas de forma mais detalhada no capítulo 4, junto com a etapa 05 de construção do sistema.

No processo de condução do ar até o reservatório foram utilizadas duas mangueiras de 2 metros cada com diâmetro (\emptyset) interno de 62 mm e (\emptyset) externo de 69 mm produzida em PVC. Para haver conexão da mangueira com a caixa de ar e o reservatório, serão utilizados tubos de PVC, com (\emptyset) externo de 60 mm.

Para que ocorra uma coleta de dados constante e precisa na parte interna do reservatório e caixa de ar, foram empregados termopares interligados por uma placa eletrônica, a qual transmitirá sinais para o computador, convertendo-os em gráficos, com o auxílio do programa de software (*Labview*). Também foram utilizados termômetros digitais, coletando assim a temperatura externa em vários pontos.

O sistema de aquisição de dados foi formado por um amplificador de sinal com capacidade de 6 entradas onde 6 termopares tipo K foram conectados. Este amplificador de sinal foi conectado a uma placa de aquisição NI USB 6009, a qual foi conectada a um computador software de análise.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. ETAPA 1

4.1.1. Análise do projeto

Com a oportunidade de ter uma bancada de refrigeração locada nos laboratórios da FAHOR, porém tendo rendimento inesperado nos trabalhos anteriores, em ambientes reais, surgiu à oportunidade de acrescentar componentes, para que assim consiga alcançar um melhor desempenho no seu funcionamento.

Realizando uma análise apurada da bancada, foi constatado que a mesma não tinha um termostato para o controle de temperatura e proteção do compressor. Também se constatou as consideráveis perdas de vazão do ar expelido pelo ventilador, o qual trabalhava com apenas um siroco, totalizando uma vazão de 7 m/s, em uma única velocidade.

Observando-se também que a temperatura mínima atingida pelo sistema era de 7 °C após 40 minutos de funcionamento, em um reservatório com volume de 3150 cm³. Levando em conta a redução na troca de calor do evaporador, após o tempo de funcionamento, foi observado que o evaporador estava congelando o fluido, assim reduzindo o resfriamento durante certas horas de funcionamento constante. Esse congelamento do fluido pode acarretar em danos no compressor, podendo até ter paradas não desejadas do sistema. Foi avaliar com mais clareza o comportamento do fluido junto ao reservatório no Figura 13.

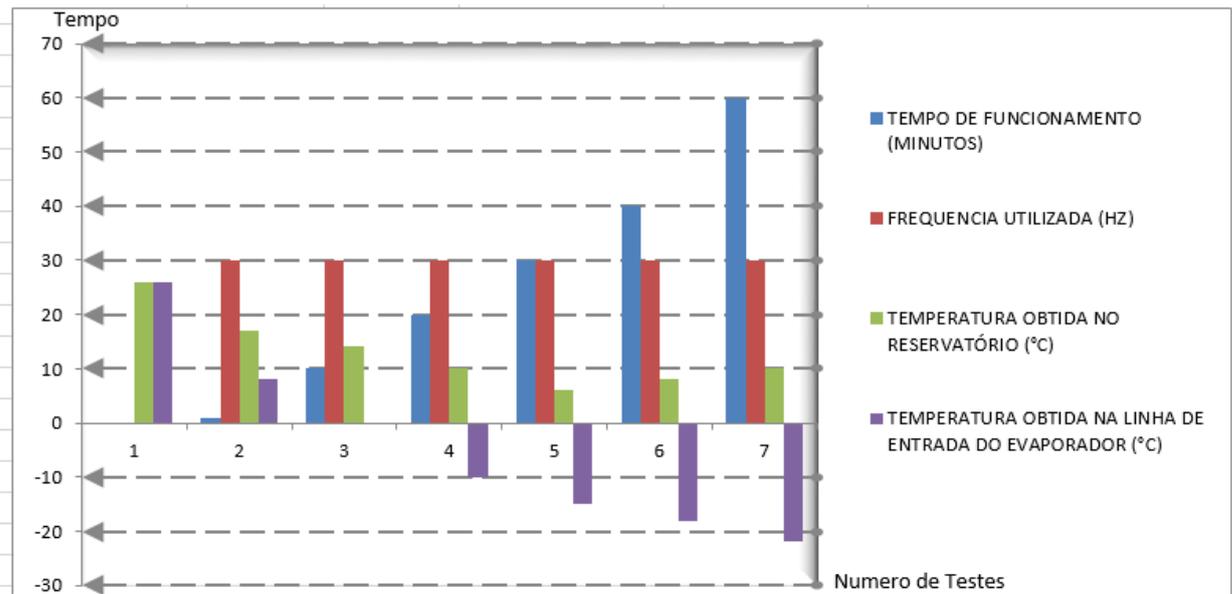
Outra análise criteriosa considerada foi à parte elétrica, onde constatou-se que a fonte de alimentação do sistema elétrico presente 12 V e 6 A, não atenderia a demanda dos equipamentos já instalados e ainda as peças que foram montados na bancada. Para isso foi desenvolvido um esquema elétrico e alterado a corrente da fonte, criando um circuito para que se atenda a necessidade do projeto. Essa fase do projeto foi mais detalhada na etapa 3.

Avaliando essas informações, constatou-se que esse aparelhamento pode obter um melhor funcionamento, utilizando outros equipamentos e outras maneiras de aplicação dos componentes já existentes na bancada, dessa maneira

organizando-o de forma que o ciclo de refrigeração atue mais próximo do funcionamento desejado.

Nas próximas fases foram descritos os processos utilizados para dar segmento a esse projeto proposto.

Figura 13: Funcionamento da bancada antes das melhorias implementadas.



4.2. ETAPA 2

4.2.1. Aquisição dos materiais

Após a análise completa do projeto, partiu-se para a aquisição dos materiais a serem utilizados no novo sistema funcional e operacional. As melhorias foram baseadas no conhecimento teórico obtido, no fácil manuseio da bancada e no melhoramento de seu funcionamento, conforme a ideia inicial do projeto. Alguns desses equipamentos foram encontrados em sucatas da região, como por exemplo o ventilador, que era utilizado no veículo Escort da linha Ford, para forçar a entrada do ar que ventila a cabine do veículo. As chapas de acrílico foram fornecidas pela instituição, as quais foram utilizadas na confecção da caixa de ar condicionado. As chapas metálicas foram adquiridas junto a uma metalúrgica, onde a mesma prestou o serviço de corte e dobra do material. Os demais componentes foram adquiridos em lojas especializadas em ar condicionado para veículos automotores.

Para realizar a montagem do sistema elétrico e eletrônico, a instituição forneceu os materiais necessários para o seu funcionamento, dessa forma durante essa etapa não apresentou custos significativos para o presente trabalho.

Com a utilização da bancada de forma a adequá-la as exigências do projeto, foi acrescentado peças nova ou usadas no sistema, mas sim alterado a forma de otimizar os componentes já existentes. Dessa forma, procurou-se trabalhar com peças simples e já instaladas no sistema para as alterações na bancada.

4.3. ETAPA 3

4.3.1. Montagem do circuito elétrico

Durante os testes iniciais, constatou-se que o circuito elétrico presente na bancada não é ideal para o sistema funcionar conforme desejado, portanto foi estudado e analisado um novo esquema elétrico para realizar as ligações desejadas, com segurança e eficiência. Para isso, foram utilizados novos componentes elétricos e uma nova maneira de funcionamento.

O esquema elétrico utilizado na montagem do circuito, para realizar a ligação do termostato e do ventilador, e ainda interligado com o compressor, teve o auxílio de um relé e mais dois fusíveis de 15 A cada. Com a instalação do circuito elétrico, obteve-se maior potência no motor do compressor, pois com o auxílio do relé, consegue-se dosar a energia enviada para o motor. Antes das adaptações feitas, o frequênciometro atingia sua potência máxima de 40 Hz, ou 1747 rpm, e quando passava disso, acionava o sistema de segurança. Com o auxílio do relé mais os fusíveis, o resultado foi outro. O sistema tem a capacidade de atingir 52 Hz, totalizando 2270 rpm, após exceder os 52 Hz aciona o modo de segurança.

O mesmo acontece quando se trabalha com menos de 18 Hz. Em ambas as situações, ocorre o acionamento do sistema de segurança.

Com essa variação, que fica em torno de 35 Hz ou 1500 rpm, obtém-se um maior rendimento no compressor, aumentando a pressão nas linhas baixa e alta do sistema, resultando em mais trocas de calor por segundo, e ainda ocorre o acionamento da válvula de expansão mais frequentemente, fazendo com que o

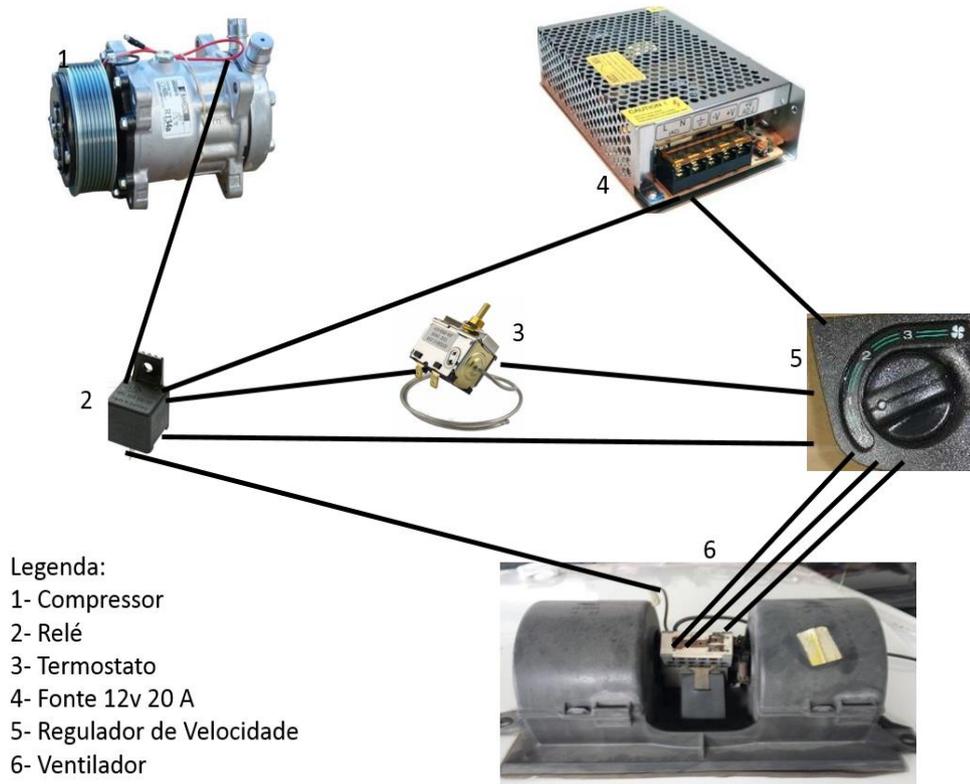
evaporador troque mais calor com o meio, dessa forma conseguindo diminuir a temperatura interna da caixa de ar.

Com o auxílio do relé, obteve-se o controle do termostato, no qual acontece o desligamento do compressor no momento que o evaporador atinge a temperatura de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quando o sensor do termostato faz a leitura que o evaporador atingiu a temperatura de $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ acontece o acionamento do compressor novamente, assim evitando o congelamento do fluido. Porém, isso ocorre apenas quando o termostato está em sua regulagem intermediária. No momento em que a regulagem do termostato está no máximo, não acontecerá o desligamento do compressor e quando a regulagem está no mínimo, o termostato acionará o desligamento do compressor, quando a temperatura atingirá $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, após a elevação da temperatura no evaporador chegando a atingir $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, acionará novamente o compressor. Dessa forma serve como sistema de segurança para o compressor, evitando danos mecânicos e paradas indesejadas com o congelamento do fluido.

Outra vantagem de se ter o termostato no sistema de refrigeração é o controle de temperatura, fazendo com que o evaporador trabalhe de forma constante, e realizando a troca de calor estável com o meio a ser refrigerado.

Na realização da montagem desse circuito foi contemplado o desenvolvido de cálculos de potência e amperagem, no qual foi constatado que para atender a carga do sistema é necessário utilizar uma fonte 12V e 20 A, tendo que assim substituir a que era utilizada por uma fonte com maior amperagem. Seguindo o desenho apresentado na Figura 14, também foi compreendido como é apresentado o *layout* e a montagem do circuito elétrico utilizado na bancada.

Figura 14: Montagem Painel Elétrico



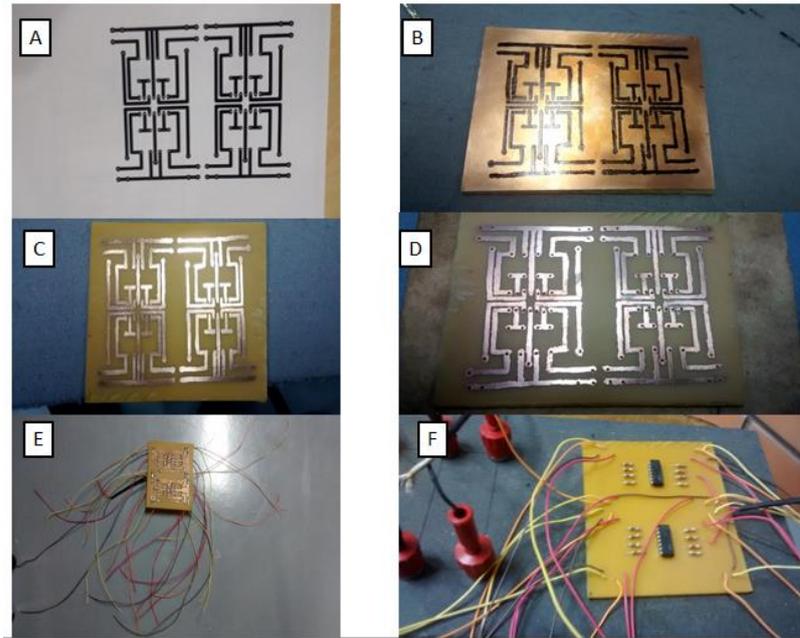
4.3.2. Construção do circuito eletrônico para coleta de dados

Tendo como base uma coleta de dados precisa e imediata do reservatório de ar, obteve-se a necessidade de construir um sistema eletrônico, que auxilia na leitura dos termopares utilizados para a coleta das temperaturas encontradas no reservatório de ar.

A construção do sistema eletrônico teve início com o desenvolvimento do desenho para o circuito. Após a elaboração do desenho e planejamento do seu funcionamento, foi realizado o desenho espelhado sobre a chapa de cobre, utilizando um marcador permanente. Desenhando o circuito com o marcador, foi possível mergulhar a placa no percloro de ferro (PF). A função do PF é a retirada apenas do cobre sobre a placa. Assim, ficaram desenhadas sobre a placa as linhas percorridas pelo marcado, pois a tinta do marcador não reage como o PF. Após 30 minutos mergulhada na solução, foi obtido resultado positivo, tendo apenas a marcação do marcado. Logo após, foi aplicada uma bucha de aço lixando o percurso do marcado, com esse procedimento ficou desenhado apenas as linhas desejadas

com o cobre. Em seguida, foi realizado a furação com broca de 1mm em todos os terminais do desenho. Depois da furação, foi soldado os fios, os capacitores e os dois CI. Foram analisados na sequência da Figura 15 os passos da construção do circuito eletrônico.

Figura 15: Passos e Resultados do Circuito Eletrônico.



Com a construção da placa, teve-se a necessidade de desenvolver um painel para a fixação dos conectores. Assim, foi utilizada uma chapa de madeira com espessura de 12 mm, na qual se fixaram os 12 conectores. Para essa fixação foi realizado a furação com uma broca de 6,5 mm.

Com os conectores nos devidos lugares, foi realizada a soldagem dos fios, negativos e positivos, que serviram para enviar as informações dos termopares até a placa eletrônica.

Após a realização da soldagem de todos os fios e conectores, obteve-se a necessidade de calibrar e enumerar os termopares, conforme aplicação. Para isso, foram utilizado 2 termômetros digitais, 6 multímetro e 500 ml de água com gelo. O motivo dessa calibração e enumeração é a criação de um ponte de equilíbrio para as temperaturas, ligando os multímetros em cada termopar, a fim de que consiga se igualar ou estabelecer uma temperatura inicial para cada termopar, tendo como referência a temperatura encontrada pelos termômetros no mesmo instante e

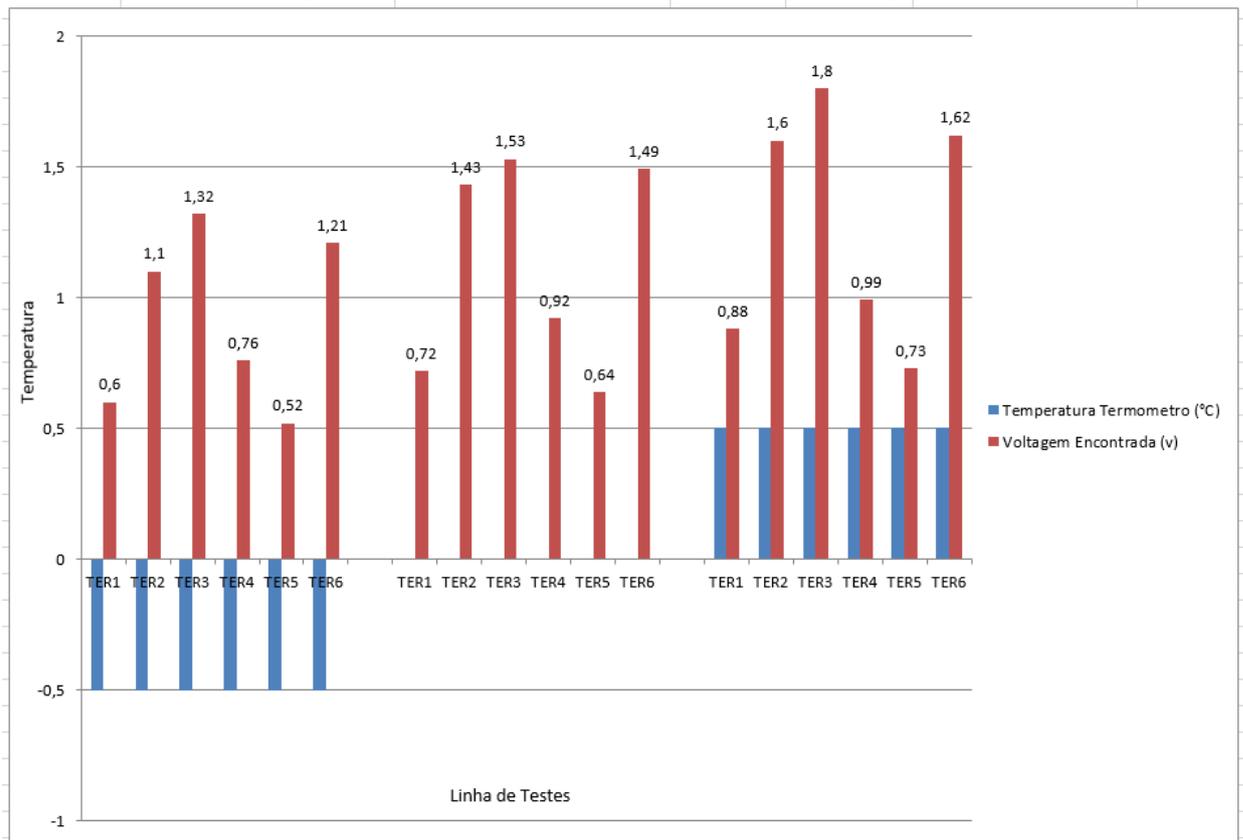
intervalo de tempo, utilizando o mesmo fluido. Na Figura 16 ilustra a forma de calibração aplicada no sistema eletrônico.

Figura 16: Calibração dos Termopares.



Após a calibração, foram coletados os dados resultantes nos multímetros, nos instantes em que a temperatura do termômetro estava marcando $-0,5$, e $0,5$ °C. Os multímetros informaram os dados em volts. Dessa forma, necessitou-se uma conversão para poder obter o resultado dos testes aplicados na bancada em °C. Na Figura 17 pode-se observar os dados encontrados durante a calibração dos termopares.

Figura 17: Valores Encontrados na Calibração.



4.4. ETAPA 4

4.4.1. Montagem da nova caixa de ar.

Com forma de direcionar o ar frio expelido pelo evaporador construiu-se uma caixa de acrílico em torno do evaporador, direcionando as saídas de ar para dois orifícios na parte superior da caixa. O direcionamento do ar foi realizado pelo ventilador com duplo Siroco. A Figura 18 mostra o processo de montagem e colagem do acrílico ao evaporador e os dois Siroco montado no centro da caixa e ainda o anemômetro utilizado na coleta das velocidades encontradas no final da tubulação. A caixa construída apresenta dimensões de 520x295x170 mm. Com esse dimensionamento foi possível posicionar os Siroco a uma altura de aproximadamente 50 mm do evaporador, assim decaindo as perdas de temperatura durante a troca de calor do acrílico para o meio.

Com a implantação desse tipo de ventilador com duplo Siroco, foi possível realizar um controle da velocidade do ar. Esse controle pode ser feito pelo operador

da bancada no painel de controle, no qual é possível obter 3 velocidades de ar diferentes. Velocidade 1 atinge 4 m/s, a velocidade 2 alcança 8m/s e a velocidade máxima ou posição 3 atinge cerca de 13 m/s. Essas velocidades foram coletadas na entrada do reservatório de ar com o auxílio do anemômetro digital.

Figura 18: Caixa de Acrílico.



4.5. ETAPA 5

4.5.1. Construção do reservatório

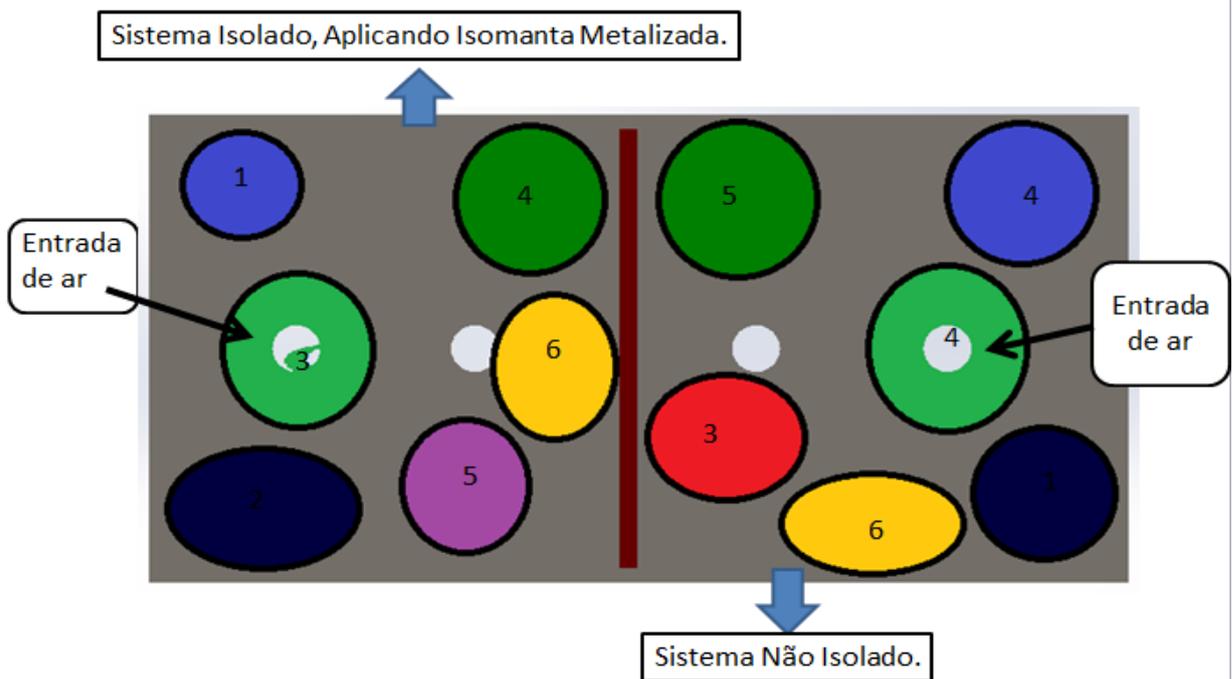
Para a realização dos testes foi necessária a construção de um reservatório em chapa metálica, com espessura de 0,9 mm e dimensões de 1000x500x400 mm, totalizando um volume de 0.2 m³.

Para melhor aproveitamento e resultados dos testes foi projetada uma divisória no centro da caixa, a fim de que possam ser realizados testes de duas maneiras distintas com isolamento e sem isolamento.

Na primeira parte foi aplicada uma manta metálica, em toda a parte interna do reservatório. Dessa forma, puderam-se fazer testes em um ambiente isolado, sem perda de calor considerável para o meio. Já na segunda parte, não foi aplicado nenhum tipo de material isolante, apenas a chapa de aço SAE 1020. Na Figura 19 pode-se observar o reservatório e entender como foi feita a aplicação da manta de isolamento.

Após a construção do reservatório, foram realizadas furações de diâmetro 4,5 mm para poder introduzir os termopares dentro do reservatório e dar início aos testes práticos.

Figura 19: Reservatório de ar.



Na Figura 19, foram analisados todos os pontos onde foram distribuídos os termopares, para realizar as coletas de dados. Cada cor indicada da Figura 19 representa a área de leitura realizada por cada termopar aplicado no reservatório de ar, onde está representada com suas respectivas cores nas Figuras 20, 21 e 22.

Através das leituras e informações coletadas nesses pontos será construído gráficos representando os graus e resfriamento encontrados no ambiente interno,

dessa forma podendo analisar o resfriamento interno de uma cabine agrícola como exemplo.

4.6. ETAPA 6

4.6.1. Coleta de Dados

Para a coleta e leitura dos dados, inicialmente foi avaliado a primeira metade da caixa de ar, a qual encontrava com o isolamento, ou seja com isomanta. Para iniciar a coleta, foi realizada a instalação do sistema informacional. Após a montagem do sistema foi dado início a coleta de dados. Nessa coleta, foi levada em consideração pelo sistema a temperatura ambiente que no momento do início do teste era de aproximadamente 21°C, o tempo de funcionamento do sistema que foi de 40 minutos, e ainda mantido os parâmetros de regulagem da bancada.

Para os parâmetros será considerado 13 m/s a velocidade do ar, frequência do motor de 35 Hz ou 1500 rpm e ainda a regulagem intermediaria do termostato. Com esses parâmetros, foram coletados os dados informados na Figura 20.

Na Figura 21 foram mantidos todos os parâmetros, porém foi alterada a velocidade do ar, passando para 4 m/s.

Figura 20: Coleta de dados velocidade 13 m/s, com isolamento.

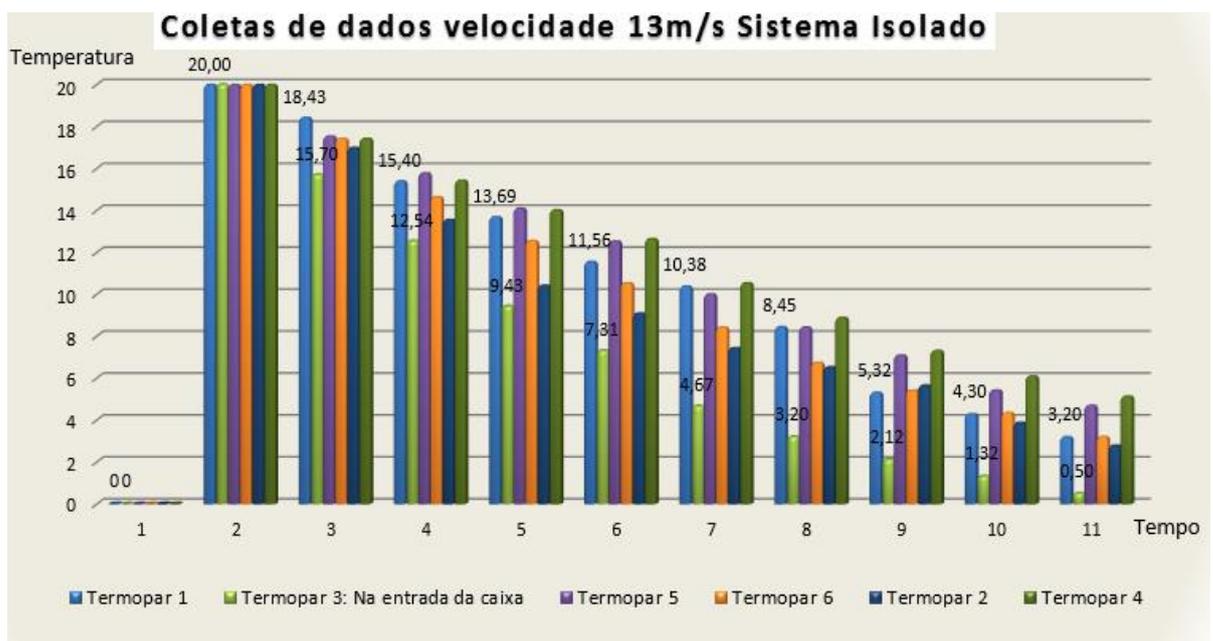
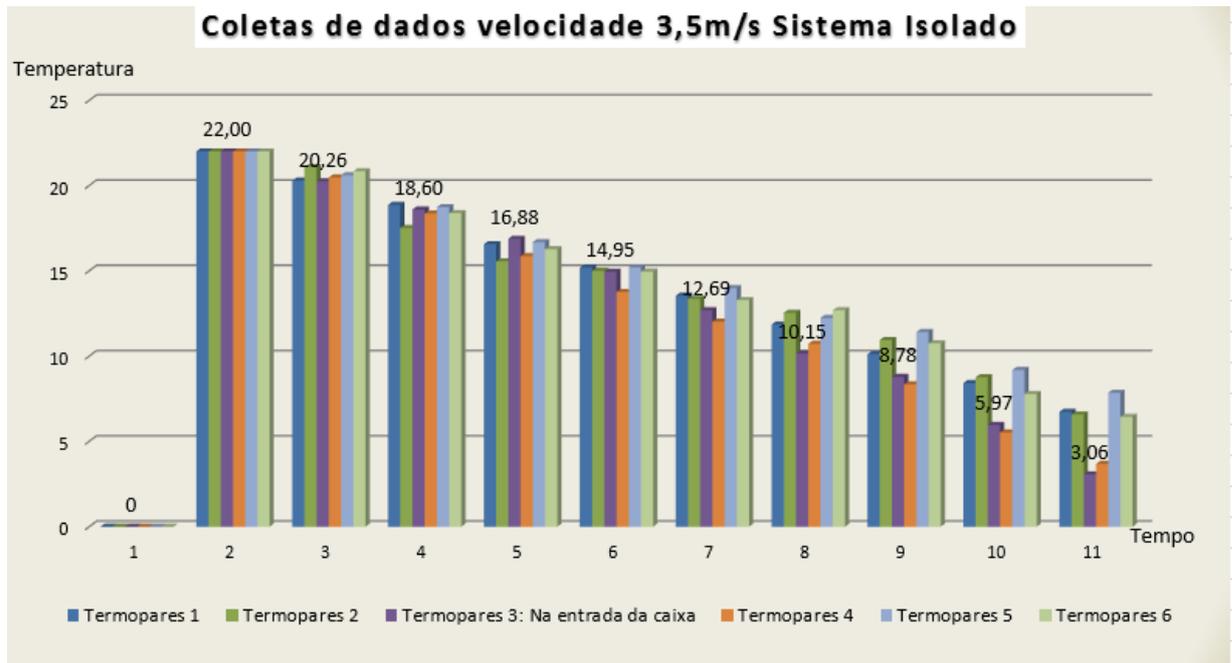


Figura 21: Coleta de dados velocidade 3,5 m/s, com isolamento.



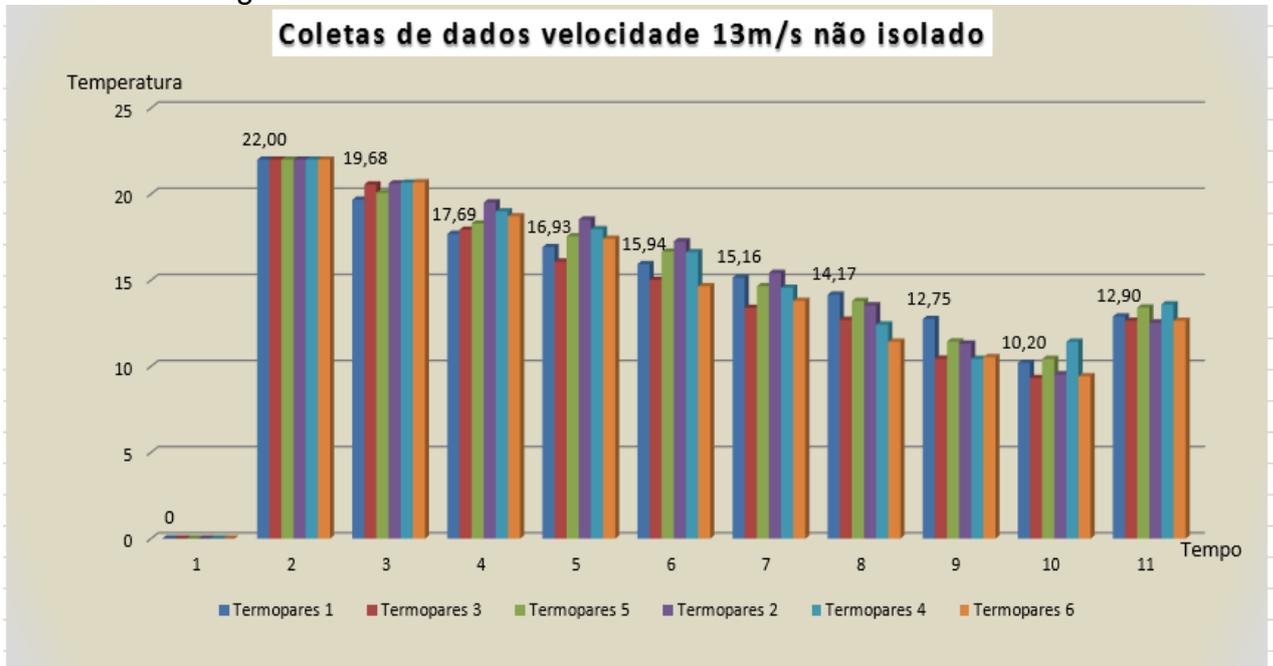
Observando nas Figuras 20 e 21 a coleta de dados realizada, para comprovação dos testes. Foi observado na Figura 20 que a temperatura variou 19,5°C, sendo usado 13m/s de velocidade do ar. Porém, foi relatado um máximo valor de temperatura no termopar número 3, o qual estava colocado próximo a entrada do ar. Durante esse pico pode-se observar a variação citada. Dessa forma, foi constatado que a temperatura estava decrescendo em todos os pontos em que estavam instalados os termopares, durante os 40 minutos de testes realizados.

Já na Figura 21, foi observado que a variação de temperatura foi significativa, mas mantendo uma variação constante entre os termopares, ficando em torno dos 3°C a temperatura mínima. Porém, sem máximo valor, e com uma refrigeração uniforme do ambiente. Ainda foram comparados as temperaturas com as diferentes velocidades do ar aplicado, quanto menos velocidade do ar, menor é a temperatura obtida no reservatório. Assim, acontece a refrigeração equilibrada do ambiente e mais trocas de calor do evaporador para a área interna do sistema, ocorrendo maior aproveitamento do ar gelado.

Na Figura 22, foi considerado todos os parâmetros iguais aos testes anteriores, porém utilizando o reservatório de ar não isolado e mantendo uma única

velocidade do ar. Com isso foram observadas as perdas de calor durante os 40 minutos em que o sistema estava em pleno funcionamento.

Figura 22: Coleta de das velocidade 13 m/s não isolado.



Nesse gráfico foi analisado uma curva na variação da temperatura, pois a temperatura inicial foi de 22 °C, após 25 minutos de funcionamento, a mínima foi de 10,20 °C e nos 15 minutos restantes, a temperatura se elevou para 12,90 °C. Essa curva na variação da temperatura é ocasionada pela troca de calor da estrutura da caixa não isolada para o meio, assim voltando a aumentar a temperatura interna do ambiente.

4.6.2. Análise dos Resultados

Analisando os resultados obtidos nas coletas de dados, observou-se que, para ter um sistema de refrigeração adequado com ótimo funcionamento é necessária a instalação dos instrumentos que tornam o sistema completo.

Estudando a Figura 13, foi observada a elevação da temperatura após 40 minutos de funcionamento. Já nas Figuras 20, 21 e 22, foram observadas as variações de temperatura.

Com essas ferramentas, foi possível reduzir a temperatura e manter ele constante, exceto na Figura 22 onde os testes foram realizados em um ambiente não isolado e após certo tempo de funcionamento iniciou-se uma troca de temperatura, através da estrutura para o meio. Dessa forma, podemos entender que para um sistema possuir eficiência é necessário haver o trabalho em um ambiente fechado, ou seja, o mais possível isolado.

Na Figura 20 e 21, foram realizados os testes com duas velocidades, sobre as quais foi possível constatar que, na velocidade III (13m/s) a temperatura diminuiu mais rapidamente, porém houve uma variação considerável no sensor próximo a entrada de ar, ocasionando uma variação brusca da temperatura e um ambiente não refrigerado uniformemente.

Na Figura 21, foi avaliada a refrigeração constante e uniforme de todo o ambiente. Houve a refrigeração, em um espaço de tempo prolongado e sem picos de variação nos sensores. Portanto para que o ambiente possa ser refrigerado de forma mais adequada em longo prazo é necessário trabalhar com o sistema em velocidade mínima, ou se preferir, fazer o resfriamento local em curto prazo de tempo. Se trabalhar com o sistema em velocidade máxima, a refrigeração ocorrerá apenas no ambiente próximo a saída de ar do sistema.

Realizando um comparativo entre os testes aplicados após a implementação das melhorias e os testes retirados antes de implementar as melhorias, foi possível relatar um funcionamento adequado para o sistema de refrigeração, tornando-o simples e de fácil entendimento. O motivo desse acontecimento é o controle realizado no não congelamento do fluido e o controle da vazão do ar emitido pelo ventilador. Dessa forma pode-se manter diminuir a temperatura e mantê-la constante por longos períodos de tempo.

5. CONCLUSÕES

A área de refrigeração possui inúmeras aplicações, nos mais diversos ramos de atuação. O presente trabalho apresenta uma explicação sucinta sobre o funcionamento de todos os equipamentos apresentado na bancada didática estudada.

Conforme os objetivos apresentados aplicaram-se os equipamentos na bancada para que dessa forma, pudesse apresentar o ciclo completo de refrigeração, a partir da implementação de novos equipamentos possibilitando a coleta de dados em vários pontos e discutindo as perdas de calor em materiais com isolamento e sem isolamento.

Conclui-se que para o funcionamento ideal do sistema de refrigeração é fundamental a utilização de equipamentos capazes de realizar controles de temperatura. Os resultados mostrados nos gráficos oportunizam a localização das temperaturas em ambientes 100% isolados e ambientes completamente sem isolamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEJAN, A. **Transferência de Calor**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1996.
- BISQUOLO G. PAULO. **Termodinâmica (1): Calor, Trabalho e Rendimento** 2005. Disponível em:< <http://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/termodinamica-1-calor-trabalho-e-rendimento.htm>> Acesso em: 29 de Jul. de 2014
- BURIAN Jr., Y.; LYRA, A. C. C. **Circuitos Elétricos**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.
- BRAGA FILHO, W. **Transmissão de calor**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- Çengel, Y. e Ghajar, A. (2012), **Transferência de calor e Massa**. Porto Alegre 4º edição.
- COSTA, C. ÊNNIO (1982). **Refrigeração**. São Paulo: Editora Edgard Blucher 3ª edição.
- JOFFILY, LEANDRO A. L. **Caracterização do Desempenho de Compressores de Refrigeração Segundo um Ciclo Superaquecido de Teste** 2007. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- JUNIOR, L. C. M., **Refrigeração**.2003 Disponível em:<www.ebah.com.br/content/ABAAAHeoAl/apostila-refrigeracao>. Acesso em: 20 de Ago. 2013.
- MARTINELLI C. LUIZ. **Refrigeração e ar Condicionado** 2005. Monografia – Unijui, Ijuí, 2005. Disponível em:<http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/b/b4/RAC_III.pdf> Acesso em: 02 de ago. de 2014.
- PANESI, A. **Termodinâmica**. Curso de Engenharia Mecânica. 2001. Disponível em:<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAE23oAl/termodinamica?part=3>> Acesso em: 20 Jul. 2014.
- PARKER. **Tecnologia Hidráulica Industrial**. Apostila M2001-1 BR Julho 1999. Disponível em:<http://unedserra-ehp.tripod.com/m_2001_1.pdf>. Acesso em: 02 out. 2014.
- STOECKER, W. F.; SAIZ JABARDO J. M. **Refrigeração Industrial**. 2º Edição. São Paulo: Blucher, 2002.