



PLANTA DIDÁTICA PARA TESTE EM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Caio H. M. V. - caiohenrcarbo@gmail.com
Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros – FIPMOC
Rua Gerânio, 91A, Bairro Sagrada Família
39401-023 – Montes Claros – Minas Gerais

Michéle S. P. - michelespzaca@gmail.com
Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros – FIPMOC
Av. 1, 130, Bairro Residencial Sul
39407-045 – Montes Claros – Minas Gerais

Bruno M. M. - eng.mecanica@fip-moc.edu.br
Sociedade Padrão de Educação
Av. Prof.^a Aida Mainartina Paraiso, 80, Ibituruna
39408-007 – Montes Claros – Minas Gerais

Jônatas L. S. - jonsouza_cea@hotmail.com
Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES
Rua Gerânio, 91A, Bairro Sagrada Família
39401-023 – Montes Claros – Minas Gerais

Resumo: *Esse artigo mostra o dimensionamento, desenvolvimento e a elaboração de uma planta didática para teste e análise em sistema de refrigeração. O propósito principal baseia-se em auxiliar o processo de aprendizagem dos acadêmicos das Faculdades Integradas Pitágoras, nas aulas práticas, que abrangem Termodinâmica, Transferência de Calor e Massa e Sistemas Térmicos, por meio de ensaios do funcionamento do equipamento de refrigeração. Quando o homem aplicou um alimento em locais com temperaturas menores, deparou-se com a maior durabilidade desses alimentos, aumentando a vida útil, foi aprimorando essa técnica ao passar dos anos, com estudos e teoria, e assim criando um sistema refrigerado. Um ciclo de refrigeração constitui essencialmente de compressor, evaporador, válvula de expansão, condensador e circuitos elétricos, esta é à base do projeto. Foi criada uma estrutura de cantoneira metálica revestida de acrílico para simular um ambiente fechado, sem contato com ambiente externo, com um sensor indicando a temperatura para o controlador TIC MT-511r, segundo o valor apontado o sistema adapta ao setpoint definido, fechando assim o ciclo de refrigeração, e viabilizando os ensaios e agregando conhecimentos aos utilizados da planta.*

Palavras-chave: *Refrigeração, Planta Didática, Controle de Temperatura.*

Organização



Promoção





1. INTRODUÇÃO

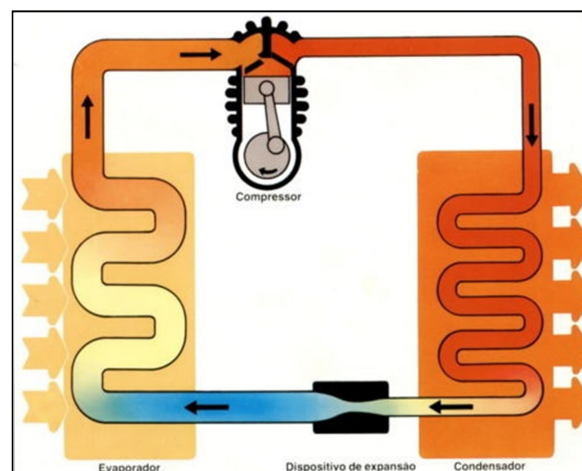
A aplicação da técnica de refrigeração foi historicamente impulsionada a partir do momento em que o homem teve que suprir suas necessidades de conservação de alimentos e outras substâncias. As primeiras formas de conserva baseavam-se na mistura neve e sal, utilizando o próprio gelo natural retirado das montanhas (ADIERS; REALON; MARCANTE, 2012).

Ao distanciar-se das localidades de fácil obtenção de gelo natural, a dificuldade de armazenar e retirar o gelo acelerou os estudos de processos baseados em sistemas mecânicos para obtenção de um circuito fechado de refrigeração, consistindo em manter a temperatura abaixo da do ambiente (LOESCH; SANTOS; GARCIA, 2013).

A primeira utilização de um processo de refrigeração com dispositivo mecânico foi feita pelo professor universitário William Cullen, em meados de 1755, quando ele ao manusear o éter diminuiu sua pressão, fazendo com que ele trocasse calor com uma pequena quantidade de água, transformando em gelo sintético pela primeira vez. Ainda demonstrou que o método de reposição de éter, por motivo de sua evaporação instantânea, causa muito desperdício de éter. Assim, propôs um sistema fechado de refrigeração, por meio de compressão com motor a vácuo (SILVA, 2010).

Ciclos de refrigeração são basicamente constituídos por compressor, evaporador, condensador e válvula de expansão. O trabalho do ciclo acontece da seguinte forma: o evaporador retira a caloria do meio por condução ou convecção, o fluido refrigerante passa pelo dispositivo de expansão e perde pressão bruscamente. Esse fluido absorve calor do meio a ser refrigerado, e provoca a sua ebulição, transformando-o em vapor saturado. O compressor faz a sucção, e, posteriormente, comprime o fluido, elevando a sua pressão e sua temperatura, e recalçando-o para o condensador, que cede calor ao meio externo por refrigeração a ar ou fonte de água. Em seguida o fluido, em forma de líquido comprimido, volta para o dispositivo de expansão, completando o ciclo (CONCEIÇÃO, 2014). Conforme demonstra na Figura

Figura 1 - Ciclo de Refrigeração



Fonte: http://wiki.sj.ifsc.edu.br/Ciclo_REFRI.jpg

Essa planta didática foi projetada com a intenção de diminuir os custos orçamentários, apresentar todos os elementos básicos de um sistema de refrigeração, e proporcionar o

Organização



Promoção





máximo de ensaios em um ambiente fechado, aprimorando o conhecimento dos acadêmicos, e associando prática com teórica.

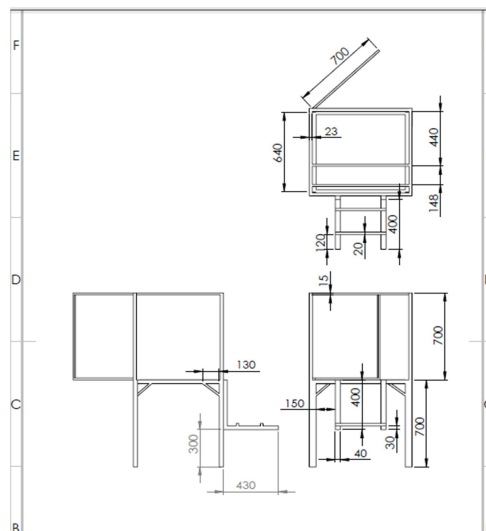
Dessa maneira, o desenvolvimento da planta didática para teste do sistema de refrigeração vai contribuir no desenvolvimento da técnica dos alunos das Faculdades Integradas Pitágoras – Montes Claros, que, até então, não possuem o sistema para um estudo, contemplando o conhecimento dos profissionais da área de refrigeração.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

A planta didática foi projetada com objetivo de reproduzir em laboratório ensaios sobre os métodos de refrigeração, como cálculo de carga térmica envolvendo materiais isolantes diferentes, ensaios elétricos do motor compressor hermético (identificação dos terminais, bobinas auxiliar e principal), identificar e acompanhar os esquemas elétricos (circuito de força, contadora, disjuntor, controlador), ensaios dos componentes térmicos (carga de gás, de estanqueidade, recolhimento de gás, cálculo de superaquecimento e subresfriamentos). Para sua construção, primeiramente foi dimensionado um *layout* com as dimensões da bancada sobre essas necessidades, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Desenho da Estrutura com suas Dimensões



Fonte: o autor

O ambiente a ser climatizado foi simulado em uma estufa de acrílico lacrada, sem contato com o ambiente externo. Um sensor indica a temperatura para o controlador TIC MT-511r, e, a partir do valor indicado, o sistema se adequa ao *setpoint* escolhido.

Para essa adequação, o sistema conta com a seguinte relação de componentes: compressor, condensadora, válvula de expansão e evaporadora, além da linha de sucção e linha de líquido. O compressor irá bombear o gás refrigerante para a condensadora que dissipa o calor; o líquido então passará pela válvula de expansão e depois pela evaporadora

Organização



Promoção





estabilizando a temperatura e fechando o ciclo da malha. Os materiais que foram utilizados para o desenvolvimento desse projeto são descritos na tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos materiais

Item	Descrição	Quant.
1	Evaporadora Visa Coller 16 T 220V S/ Resistência Elgin	01
2	Unidade Condensadora Embraco 1/6HP 220V 50/60H Baixa R134A	01
3	Corpo Válvula de Expansão 3/8x12 R134	01
4	Orifício Válvula de Expansão Danfos 01 TF2 0.3 TX2 0.5 TY 0.3 2010/20	01
5	Filtro Secador Ferro 10x2x1/4 Rosca EOS	01
6	Porca 1/4SAE Curta –(103630)	06
7	União c/ Válvula Tipo Shirader 1/4SAE MX ¼ Solda R-134 ^a	03
8	TEE Cobre 3/8	01
9	Caixa PVC Sob. 234x174x90 km03198	01
10	Contator Mini Princ. Cjx2-K0610 NA 220V	02
11	Disjuntor Din. SD62 C 2X16A 220V	01
12	Sinaleiro AD16-22 VD LED 220V	02
13	Disjuntor Din. SD62 C 2X6A 220V	01
14	Botão Off/On	02
15	Trilho Galvanizado TS 35 CO,25MM	01
16	Gás Refrigerante R-134 ^a	02
17	Cantoneira de alumínio 3X1,5 m	04
18	Acrílico de 2mm tamanho 2X1 m	01
19	Controlador de temperatura Full Gauge	01
20	Silicone transparente	02
21	Spray preto brilhante	02
22	Fita esponjosa vidoflex	06
23	Tubo retangular metalon 50 x 30 1,2m	5

Fonte: O próprio autor

A partir do dimensionamento da bancada a ser projetada e da relação dos materiais a serem utilizados foi dado início a sua montagem. Todos os passos e o decorrer da montagem são descritos no próximo tópico.

2.2 Resultados e Discussões

A estrutura foi confeccionada utilizando cantoneira metálica de seção de 15mm x 15mm com a dimensão de 700mm de altura, 700mm de largura e 700mm de comprimento, determinando o tamanho da estufa. Em seguida foi construído quatro apoios de 700mm cada, sendo 50mm x 30mm de seção quadrada de metalon. Foi soldado um suporte em L para a fixação da condensadora, e uma camada de tinta preta foi usada para dar um bom acabamento e prevenir contra a corrosão. Logo após secar a tinta, a estrutura foi coberta com acrílico branco de 2mm de espessura. A porta e o topo da estrutura ficaram cobertas com um acrílico transparente de 2,5mm para que fosse possível uma visão geral do funcionamento dos

Organização



Promoção





componentes no ambiente interno. Conforme a figura 3.

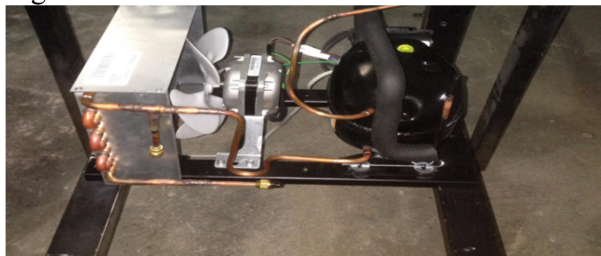
Figura 3 - Estrutura da Estufa com Parede de Acrílico



Fonte: o autor.

Foram instalados os componentes que constituem o ciclo térmico, como: Condensador, que é a unidade do sistema de refrigeração que tem a função de comprimir o fluido quente para a tubulação do sistema; o gás refrigerante comprimido, que é mandado do compressor em alta pressão em forma de líquido, e com isso, retira calor passando nos tubos aletados do condensador, que por sua vez tem uma troca de calor por convecção forçada por um ventilador, como é visto na figura 4.

Figura 4 - Condensador



Fonte: o autor.

A tubulação, que sai do condensador é ligada ao Filtro Secador, retém partículas de umidade e partículas sólidas indesejadas, e é mostrada na Figura 5.

Figura 5 - Filtro Secador



Fonte: o autor

Organização

Promoção



Em seguida, foi instalada a tubulação de cobre de $\frac{1}{4}$ polegada, interligada com a válvula de expansão. Essa válvula proporciona a redução de pressão do fluido entrando na evaporadora, segundo a Figura 6.

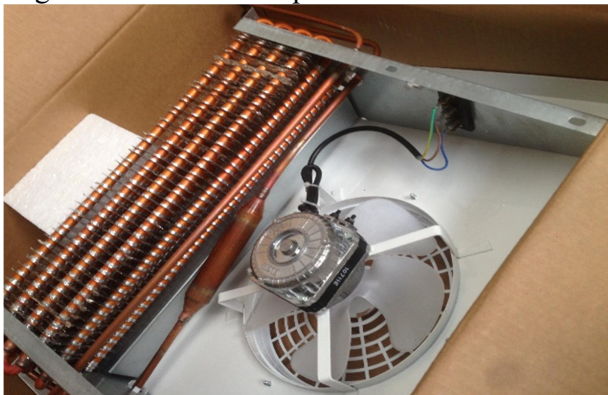
Figura 6 - Válvula de Expansão



Fonte: o autor

Foi fixado o Evaporador na estrutura da bancada. O evaporador é constituído por aletas, por onde passa o fluido mudando de estado líquido para gasoso, e trocando calor com o meio a ser refrigerado por convecção forçada por um ventilador, conforme a Figura 7.

Figura 7 - Unidade Evaporadora



Fonte: o autor

Assim, o fluido em estado gasoso volta para o condensador por meio de uma tubulação de cobre de $\frac{3}{8}$, chamada de linha de baixa pressão.

Posteriormente, foi dado início a montagem de circuitos elétricos. Iniciando com a projeção do esquema elétrico no software apropriado, este foi aplicado à montagem da planta real, seguindo o presente processo: Uso de dois disjuntores bifásico de 220 volts, um disjuntor de 16 amperes para ativação do sistema, e disjuntor de 6 amperes para o sistema de comando. O disjuntor de 16 amperes alimenta dois contadores, uma designada para a ativação do motor ventilador do evaporador, e o segundo contador designado para a unidade condensadora, a qual é formada pelo conjunto do motor compressor e motor ventilador. A partir dessa configuração a malha pode ser fechada e seu controle pode ser efetivado, com o uso do Controlador MT-511R.

O controlador MT-511R é composto de 12 bornes, especificado para controlar e

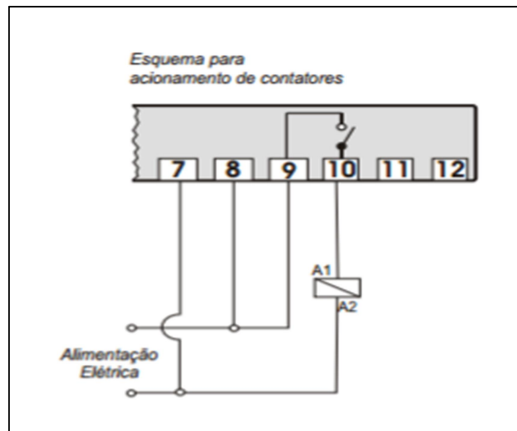
Organização

Promoção



indicar temperatura, e pode ser configurado tanto para controlar refrigeração como aquecimento. Na figura 8 encontram-se as ligações dos bornes 7 a 12, responsáveis pelas ligações de energia e dos contatores.

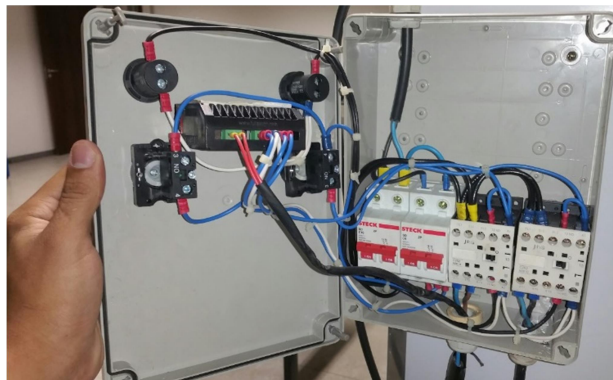
Figura 8 – Esquema da ligação elétrica do controlador MT-511



Fonte: MT511R Controlador Digital V.007

Na ligação elétrica para o acionamento e controle da planta didática são usados os bornes 3 e 4 para o sensor de temperatura termopar, os bornes 7 e 8 são usados para a alimentação de energia do próprio controlador MT-511R, o borne 9 é utilizado para a entrada de energia que faz o fechamento da contator, presente na saída do borne 10, que viabiliza a alimentação do compressor. Na figura 9 pode-se observar o quadro elétrico da bancada.

Figura 9 – Esquema da ligação elétrica do controlador MT-511



Fonte: O Autor

Conclui-se então a montagem física da planta didática para ensaios sobre a refrigeração, e deu-se início aos testes com a mesma. Foram feitos testes como o de superaquecimento, teste no compressor hermético.



2.3 Teste de Superaquecimento

O superaquecimento é a diferença entre a temperatura de evaporação do fluido refrigerante na entrada e na saída do evaporador. Para prevenir e preservar melhor o funcionamento de um sistema refrigerado e aproveitar o máximo da sua capacidade é essencial que o sistema esteja estável. O ajuste do superaquecimento útil na saída da evaporadora e o superaquecimento total na sucção do compressor é necessário que esteja de acordo com as normas do fabricante. O cálculo de superaquecimento é feito da seguinte forma:

$$\text{Temperatura de superaquecimento} = \text{Temperatura de sucção} - \text{Temperatura de vapor saturado}$$

O valor encontrado corresponde ao funcionamento da planta didática. Para esse teste, foi utilizado um *manifold* para gás, jogo de mangueiras, termômetro, chave inglesa, chave de fenda e a tabela de superaquecimento do gás R-134a.

O ajuste da válvula de expansão só pode acontecer depois que a temperatura do ambiente a ser climatizado estiver estabilizada. No ciclo de degelo, a válvula não pode ser ajustada minutos antes e após esse período, ou se a válvula estiver demonstrando alguma vibração, pois aponta que está com pouco desempenho. Assim, não é possível fazer a leitura real do superaquecimento. O resultado do cálculo deve estar entre os requisitos constantes na tabela 2.

Tabela 2: Teste de Superaquecimento

Valor do Cálculo	Estado do Sistema
4 a 7 Kelvin	Bom funcionamento
8 a 11 Kelvin	Necessita de Aberta da Válvula
Acima de 11 Kelvin	Válvula Mal Dimensionada

Fonte: O Autor

A partir dos dados encontrados, propõem-se certos passos para atingir um bom funcionamento do equipamento.

Caso o teste de superaquecimento se encontre entre 8 Kelvin a 11 Kelvin, deve-se abrir a válvula no sentido anti-horário, em ¼ de volta. Esse método permite que o fluxo de gás refrigerante seja aumentado, reduzindo o superaquecimento. Caso não se tenha chegado ao resultado esperado, abre-se mais a válvula e espera-se estabilizar o sistema, refazendo o cálculo.

Se o valor do superaquecimento for maior do que 11 Kelvin, e a válvula não retribui aos comandos, isto é, o superaquecimento não baixa mesmo com a válvula completamente aberta, significa que o orifício da válvula está reduzido, precisando ser trocado por número maior.

Se o superaquecimento constatado for igual ou menor que 4 Kelvin, deve-se fechar a válvula no sentido horário. Se, mesmo fechando a válvula, a temperatura não se ajustar corretamente, é indicio que o orifício da válvula de expansão está maior que o fundamental.

Deve ser colocado o *manifold* na válvula da linha de sucção, posicionando o bulbo do termômetro perto do bulbo da válvula de expansão que se localiza na saída do evaporador, e isolando, para que não seja influenciado pelas outras temperaturas. Em seguida, espera-se a

Organização



Promoção





temperatura se equilibrar, para retirar as informações necessárias para que o cálculo de superaquecimento seja refeito, como visto na tabela 3.

Tabela 3: Informações da Planta

Item	Descrição/Valor
Fluido Refrigerante	R-134 A
Pressão de Sucção	30 psi
Temperatura de Sucção	270,15 Kelvin
Temperatura de Vapor Saturado	263,15 Kelvin

Fonte: O Autor

Assim, estes dados são inseridos na equação do cálculo de superaquecimento, visando o resultado final que indica o condicionamento da planta didática.

Logo:

- Cálculo de superaquecimento = Temperatura de sucção – Temperatura de vapor saturado = 7 Kelvin.

Com esse resultado, constata-se que a planta didática está nas normas do fabricante.

2.4 Teste no Compressor Hermético

Para esse teste, retira-se a tampa de proteção, identificando e desconectando os cabos dos terminais: auxiliar, macha e comum.

Com um multímetro na escala mais alta de resistência, realizou-se o teste de massa que é a passagem de corrente da bobina para a carcaça do compressor.

Analisando se existe continuidade entre os polos dos terminais e a estrutura do compressor, riscando com a ponta do multímetro até que chegue ao ferro da carcaça.

Assim, como não foi encontrada continuidade entre os polos dos terminais, o compressor está funcionando de maneira correta, de outra forma o compressor está com defeito.

3 CONCLUSÃO

Após a montagem mecânica da planta fizemos testes com mudanças no *setpoint*, e o controle demonstrou ser apto para estabilização da temperatura no ambiente fechado.

Com a conclusão de todos os testes propostos, conclui-se que este projeto teve o seu propósito alcançado, ou seja, desenvolver uma Planta Didática para teste em refrigeração para demonstrar o funcionamento do sistema, aprimorando ainda mais o conhecimento dos acadêmicos.

Como sugestão de um trabalho futuro, indica-se a elaboração um conjunto controlador com melhores atributos, pois o controlador MT-511R usado neste projeto é classificado como controlador *ON / OFF*, ou seja, apenas inicia ou encerra seu funcionamento em relação ao *setpoint*. Aconselha-se um controlador que disponibilize inversor de frequência para a redução de energia, ou um CLP (Controlador Lógico Programável) para um melhor desempenho do conjunto de refrigeração.

Organização



Promoção





REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIERS, Anderson; REOLON, Evandro Augusto; MARCANTE, Luan Gregory. **Bancada Didática Para Análise De Eficiência De Compressores E Dispositivos De Expansão Em Um Sistema De Refrigeração**. 42 f. - Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Ufpr, Medianeira, pag. 13. 2012.

CONCEIÇÃO, Márcio da Silva. DESENVOLVIMENTO DE BANCADA DIDÁTICA PARA TREINAMENTO EM SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR UTILIZANDO O CICLO POR COMPRESSÃO DE VAPOR. **IV Semana da Produção Científica: Caderno de Resumos**, Brasília - DF, p.105-107, 14 nov. 2014. Anual.

GAUGE, Full. **MT-511R**: MT-511R Controlador Digital. Disponível em: <www.bagarel.com.br/descriptivos/MT-511.pdf>. Acesso em: 26 maio 2017.

JUNIOR, Luiz Carlos Martinelli; **Refrigeração**. 2003 Disponível em: <www.ebah.com.br/content/ABAAAHeoAI/apostila-refrigeracao>. Acesso em: 20 de Ago. 2013.

LOESCH, Alexandro Vammes; SANTOS, Andrei dos; GARCIA, Marciano Emanuel. **BANCADA DIDÁTICA PARA TESTES DE FALHAS DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO**. 67 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná– Ufpr, Medianeira, pag. 14, 2013.

SILVA, Jesué Graciliano da. **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**. Artliber, 2010.

USP. **Tabelas de Propriedades Termodinâmicas de alguns Refrigerantes**: Propriedades de Saturação - Refrigerante - R134a. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/8554681/00000000/TabelasdePropriedadesTermodinamicasdealgunsRefrigerantes.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2017.

DIDACTIC PLANT FOR TESTING IN REFRIGERATION SYSTEM

Abstract: *This article shows the design, development and elaboration of a didactic plant for testing and analysis in refrigeration system. The principal purpose is to assist in the learning process of the academics of the Faculdades Integradas Pitágoras, in the practical classes, which cover Thermodynamics, Heat and Mass Transfer and Thermal Systems, through tests of the operation of the refrigeration equipment. When you are using a food in places with lower temperatures, you have come up with a longer shelf life, increasing shelf life, improving this technique over the years with studies and theory, and thus creating a refrigerated system. A refrigeration cycle consisting essentially of compressor, evaporator, expansion valve, condenser and electric circuits, this is the basis of the design. An acrylic coated metal angle structure was created to simulate a closed environment, without contact with external environment, with a sensor indicating a temperature for the MT-511r TIC controller, according to the adjusted value or system adapted to the defined setpoint, thus closing the cycle of refrigeration, and feasibility of tests and adding knowledge to the uses of the plant.*

Key-words: *Cooling, Didactic Plant, Temperature Control.*

Organização



Promoção

