



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**



Estudo experimental de um dispositivo de condensação evaporativa, aplicado a refrigeradores domésticos

Mirko S. Chávez Gutiérrez
Engenheiro de Alimentos

Prof. Dr. Vivaldo Silveira Júnior
Orientador

Campinas
2010.

Mirko S. Chávez Gutiérrez
Engenheiro de Alimentos

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM DISPOSITIVO DE
CONDENSAÇÃO EVAPORATIVA, APLICADO A
REFRIGERADORES DOMÉSTICOS**

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia de Alimentos
FEA/UNICAMP para obtenção do título
de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Vivaldo Silveira Júnior – FEA/UNICAMP
Campinas, março de 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

C398e Chávez Gutiérrez, Mirko Salomón
Estudo experimental de um dispositivo de condensação evaporativa
aplicado a refrigeradores domésticos / Mirko Salomón Chávez Gutiérrez.
Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Vivaldo Silveira Júnior
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Refrigeração. 2. Condensador evaporativo. 3. Eficiência energética.
4. Refrigeradores. I. Silveira Júnior, Vivaldo. II. Universidade Estadual
de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: Experimental study of an evaporative condensation device applied in a
domestic refrigerator.

Palavras-chave em inglês (Keywords): Refrigeration, Evaporative condenser, Energetic
efficiency, Refrigerators.

Titulação: Mestre em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Vivaldo Silveira Júnior

Rodrigo Aparecido Jordan

Alfredo de Almeida Vitali

Data de defesa: 29/03/2010

Programa de Pós Graduação: Programa em Engenharia de Alimentos

Mirko S. Chávez Gutiérrez
Engenheiro de Alimentos

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM DISPOSITIVO DE
CONDENSAÇÃO EVAPORATIVA, APLICADO A
REFRIGERADORES DOMÉSTICOS**

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia de Alimentos
FEA/UNICAMP para obtenção do título
de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Data de aprovação: 29/03/2010

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vivaldo Silveira Júnior – FEA/Unicamp
(Orientador)

Dr. Rodrigo Aparecido Jordan – FEAGRI/UNICAMP
(Membro)

Dr. Alfredo de Almeida Vitali – GEPC/ITAL
(Membro)

Prof. Dr. Flávio Vasconcelos da Silva – FEQ/UNICAMP
(Suplente)

Profa. Dra. Araí Augusta Bernárdez Pécora – FEM/UNICAMP
(Suplente)

Agradecimentos

A Deus, porque embora, as vezes me esqueço dele, ele nunca se esquece de mim e me mostra seu amor e bondade.

À meus pais Salomon e Dorita, pelo amor, dedicação, paciência e pelo apoio ao longo de toda minha vida. Sem duvida os melhores pais do mundo.

A minha irmã Irina pelo carinho e pelo apoio.

A Julinha , por compartilhar um pouco da sua nobreza e qualidade de pessoa comigo, sempre me dando carinho e atenção nas horas difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Vivaldo Silveira Júnior, pela oportunidade, pela confiança, e pelos conselhos.

Aos professores membros da banca examinadora, Prof^a. Araújo Bernárdez, Prof. Flávio Vasconcelos, Dr. Alfredo de Almeida Vitali e Dr. Rodrigo Jordan pelas valiosas sugestões e correções apresentadas.

Aos amigos do LACPA: Pitico, Lena, Vilson, Karla, Jana, Rafael, Ricardo e especialmente ao Izaias e Juliano pelo apoio durante os testes experimentais, durante a redação e pelos bons momentos compartilhados, Obrigado pela amizade.

Aos professores da FEA: Eduardo Batista, Enrique Ortega e Maria Angela Meirelles.

Aos amigos do mestrado: Ivor, Helmut, Glaucia, Kleber, Noelia, Andreia, Natalia, Andrea, Diego, Juliana, Vanessa, Renato, Lorena, Julio, Titi, Marcio, Raul Siche, Hugo, Margarita, Analu, pela presença e companheirismo nos momentos bons e ruins.

Aos amigos de São Paulo: Rick, Pablo, Piccolina, Adriana, Fernanda, Renata e Denisse.

Aos amigos de república Fabio, Anderson Tubarão.

Ao grande amigo Willy e sua esposa Marisa,

Aos meus grandes amigos, da vida toda : Jorge de la Jara, Terry Echegaray, William Benavente e Jose Chavez.

A todos que de forma direta ou indireta, contribuíram e incentivaram para a conclusão deste trabalho. Muchas gracias !

Resumo

Estudo experimental de um dispositivo de condensação evaporativa, aplicado a refrigeradores domésticos

Os equipamentos utilizados para refrigeração e condicionamento ambiental têm um potencial significativo de redução de consumo energético, principalmente porque esta pratica utilizam quantidades significativas de energia e são encontrados em todas as residências e indústrias. Neste contexto existem numerosos estudos dirigidos para aumentar a eficiência energética dos sistemas de refrigeração domésticos, utilizando diferentes estratégias tecnológicas. O dispositivo proposto neste trabalho atua como um condensador evaporativo, substituindo o ar,, como meio de troca térmica convencional dos sistemas de refrigeração domésticos, por uma corrente vertical de água em contato com a superfície do condensador, aproveitando desta maneira o calor absorvido pela água na mudança de fase (efeito evaporativo) e diminuindo a temperatura de condensação. O protótipo foi desenvolvido, considerando o princípio de funcionamento dos condensadores evaporativos industriais e adaptado numa escala menor, para que possa ser facilmente montado na estrutura de um refrigerador doméstico convencional. Com as mudanças nas condições de condensação, especificamente a temperatura, procura-se aumentar o COP (coeficiente de desempenho) que é um indicador da eficiência do sistema, dado que nessas condições de funcionamento, o efeito frigorífico torna-se maior e o trabalho do compressor torna-se menor durante o ciclo. Estas condições de funcionamento, assim como o consumo de energia elétrica, foram monitorados e comparados com os sistemas de refrigeração convencional, utilizando uma câmara especialmente condicionada para esse propósito. Assim, o desempenho do sistema com as novas condições de condensação, promovidas pelo dispositivo, teve uma maior eficiência global com um COP maior em 24% e, em consequência, um aumento da eficiência energética do sistema, com uma redução de 17% de energia em ensaios padronizados conforme norma ABNT 12888 .

Palavras-chave: Refrigeração. Condensador evaporativo. Eficiência energética. Refrigeradores domésticos.

Resumen

Estudio experimental de un dispositivo de condensación evaporativa, aplicado a refrigeradores domésticos

Los equipos utilizados para refrigeración y acondicionamiento ambiental tienen gran potencial de reducción de consumo energético, principalmente porque estos aparatos utilizan cantidades significativas de energía y son encontrados en la mayoría de residencias y en las industrias. Existen numerosos estudios dedicados a aumentar la eficiencia energética de los sistemas de refrigeración domésticos utilizando diferentes estrategias tecnológicas. El dispositivo propuesto en este trabajo actuará como un condensador evaporativo, substituyendo el aire, como medio de intercambio de calor convencional de los sistemas de refrigeración domésticos, por una corriente vertical de agua en contacto con la superficie del condensador, aprovechando de esta forma el calor absorbido por el agua durante el cambio de estado (efecto evaporativo) y disminuyendo la temperatura de condensación. Este prototipo fue desarrollado considerando el principio de funcionamiento de los condensadores evaporativos industriales y fue adaptado a una escala menor, para que pueda ser fácilmente instalado en la estructura de un refrigerador doméstico convencional. Con las modificaciones en las condiciones de condensación específicamente, la temperatura, se procura aumentar el COP (coeficiente de desempeño), que es un indicador de la eficiencia del sistema, en vista que en estas condiciones de funcionamiento, el efecto frigorífico se torna mayor y el compresor trabaja menos durante el ciclo. Estas condiciones de funcionamiento, así como el consumo de energía eléctrica son monitoreados e comparados con los sistemas de refrigeración convencional, utilizando una cámara especialmente condicionada para este propósito. De esta manera el desempeño del sistema con las nuevas condiciones de condensación, promovidas por el dispositivo en estudio, tuvo una mayor eficiencia global con un COP superior en 24%, y como consecuencia un aumento de la eficiencia energética del sistema, con una reducción del consumo de energía en 17% durante ensayos homogenizados según la norma Brasileña ABNT 12888.

Palabras-clave: Refrigeración. Condensador evaporativo. Eficiencia energética. Refrigeradores domésticos.

Abstract

Experimental study of an evaporative condensation device for increasing energy efficiency, applied in a domestic refrigerator

The equipment used for cooling and environmental conditioning have great potential for reducing energy consumption, mainly because these appliances use significant amounts of energy and are found in most homes and industries. There are numerous studies devoted to improving the energy efficiency of domestic refrigeration system, using different technology strategies. The mechanism proposed in this paper act as an evaporative condenser, replacing the air as heat exchange medium conventional for domestic refrigeration systems, for a vertical flow of water in contact with the surface of the condenser, thus taking advantage of the water's heat during the state change (evaporative effect) and decreasing the temperature of condensation. This prototype was developed considering the operation principle of industrial evaporative condensers and was adapted on a smaller scale, so it can be easily installed in the structure of a conventional domestic refrigerator. With special modifications in the condensation conditions, temperature, seeks to increase the COP (coefficient of performance), which is an indicator of the efficiency of the system, given that in these operating conditions, the effect becomes greater and the compressor refrigerator works less during the cycle. These operating conditions and power consumption are monitored and compared with conventional cooling systems, using a camera specially conditioned for this purpose. Thus system performance with the new conditions of condensation, promoted by the device under study, it had a greater overall efficiency whit the COP increased in 24% and the energy system efficiency increased in 17% according standardized Brazilian tests (ABNT 12888).

Key words: Refrigeration. Evaporative condenser. Energetic efficiency. Domestic refrigerators.

Lista de Figuras

Figura 2.1: Resultados estimados de conservação de eletricidade através de medidas de eficiência energética nos setores e usos finais considerados. (Adaptado de WWF-Brasil, 2004, P.37).	20
Figura 2.2: Porcentagem de famílias que possuem refrigerador no Brasil por regiões (% dos domicílios eletrificados). (Adaptado de JANUZZI, 2007, p. 15).	21
Figura 2.3: Distribuição percentual dos refrigeradores no Brasil de acordo com a idade declarada (Adaptado de JANUZZI, 2007, p. 16).	22
Figura 2.4: Consumo de energia elétrica de refrigeradores, segundo temperatura média anual de cada região do Brasil.(Adaptado de NOGUEIRA, 2006).	23
Figura 2.5: Protótipo de condensador utilizando folhas de tecido úmido para resfriamento evaporativo (adaptado de NASR e SALAH HASSAN, 2009, p 2448).	29
Figura 2.6: Mecanismo de rejeição de calor, para condensador tubular submerso (Adaptado de HWANG, et al. 2000, p. 242).	30
Figura 3.1: Fluxograma do conjunto experimental montado para os ensaios (Camâra de testes). .	36
Figura 3.2: Esquema de distribuição de sensores de temperatura no gabinete (refrigerador) para monitoração.	38
Figura 3.3: Câmara de testes estruturada segundo Norma NBR 12863.	41
Figura 3.4: Condensador evaporativo montado na estrutura do refrigerador.	43
Figura 3.5. Acondicionador de ar SPRINGER® modificado na sucção e descarga utilizado para resfriamento da câmara.	45
Figura 3.6: Ligação dos sensores de temperatura no transmissor TxRAIL®.(Adaptado do http://novus.com.br)	47
Figura 3.7. Tela de configuração do programa TxConfig®, utilizado para ajuste dos transmissores de temperatura TxRail®.	48
Figura 3.8. Esquema de distribuição de módulos no controlador MCI02-QC.	48
Figura 3.9: Esquema de ligação elétrica do transdutor utilizando uma resistência de 1KΩ.	49

Figura 3.10: Principais elementos utilizados na coleta de temperaturas na câmara de testes.....	51
Figura 4.1: Histórico de temperaturas interna, externa e umidade relativa na câmara, durante o ensaio de resfriamento, para temperatura de $25 \pm 1,0$ °C.	62
Figura 4.2: Histórico das temperaturas internas e externas da câmara durante o ensaio de aquecimento.	63
Figura 4.3: Histórico de potência consumida para manter a temperatura interior da câmara em 32°C.	64
Figura 4.4: Histórico de temperaturas do ensaio com condensador convencional a ar, temperatura programada na câmara: 32°C (1ª Repetição).	66
Figura 4.5: Histórico de temperaturas do gabinete e da câmara de ensaio com dispositivo de condensação evaporativa (DCE), temperatura programada na câmara: 32°C (1ª Repetição).	66
Figura 4.6: Comparação entre a temperatura de condensação do refrigerador utilizando o condensador convencional e o DCE durante o ensaio em regime pseudo-permanente temperatura de 32°C na câmara de ensaio.	67
Figura 4.7: Potência media consumida pelo sistema utilizando o condensador convencional e o condensador evaporativo (DCE) durante 48 horas de ensaio.	68
Figura 4.8: Relação entre a umidade relativa e a temperatura de condensação no condensador evaporativo DCE.	70
Figura 4.9 : Histórico de temperatura interna da câmara e da água no reservatório, durante o ensaio com o DCE a temperatura ambiente de 32°C / 1ª repetição.	71
Figura 4.10: Ciclos frigoríficos termodinamicos obtidos experimentalmente a temperatura ambiente de 24 °C, operando a diferentes temperaturas de condensação para os sistemas condensador a ar (CCA) e evaporativo (DCE).	73
Figura 4.11 : Historico de potência em função dos periodos de compressor ligado do sistema de refrigeração utilizando o dispositivo de condensação evaporativa (DCE)	75
Figura 4.12: Representação das primeiras 5 horas de ensaio, em regime estacionário para o calculo gráfico da energia consumida em função da potência e o tempo.	76

Figura 4.13: Historico da potência consumida pelo sistema com CCA e DCE durante os ensaios em regime pseudo-permanente e temperatura de 32 °C na câmara de ensaios.....	77
Figura 4.14: Historico da potência consumida pelo sistema com CCA e DCE durante os ensaios em regime pseudo-permanente e temperatura de 24 °C na câmara de ensaios.....	77

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Códigos de identificação dos equipamentos.....	36
Tabela 3.2: Códigos de identificação e localização dos sensores utilizados no conjunto....	37
Tabela 3.3: Códigos de identificação e localização dos sensores no refrigerador.....	39
Tabela 3.4: Configuração do refrigerador doméstico utilizado nos testes.	42
Tabela 3.5: Estruturação do controlador MCI02-QC.....	51
Tabela 3.6: Configuração e endereçamento do modulo RDM216.....	52
Tabela 3.7: Entradas analógicas configuradas para sensores de pressão, umidade relativa e transdutor de corrente.	53
Tabela 3.8: Sistematização dos ensaios realizados com o sistema de refrigeração.	60
Tabela 4.1: Valores experimentais das grandezas dos sistemas de condensação a ar (CCA) e condensado evaporativo (DCE).....	69
Tabela 4.2 : Pontos dos ciclos de Refrigeração (R-134a) obtidos em cada ensaio.	72
Tabela 4.3 : Coeficiente de desempenho calculado para cada ensaio.	74
Tabela 4.4: Energia elétrica consumida durante 24 horas, para cada ensaio desenvolvido	79
Tabela 4. 5.:Custo total da energia elétrica consumida para cada ensaio desenvolvido	79

Lista de Fotos

Foto N°1: Vista Frontal da câmara de ensaios com o computador utilizado no controle do CLP.	104
Foto N°2: Refrigerador com os pacotes térmicos no congelador.....	105
Foto N°3: Controlador logico programável montado na estrutura exterior da câmara de ensaios.....	106
Foto N°4: Refrigerador com termopares dispostos dentro do gabinete.	107
Foto N°5: Transdutor de corrente.....	107
Foto N°6: Chaves contadoras.	107
Foto N°7: Computador ligado ao controlador lógico programável.	107
Foto N°8: Entrada de ar para resfriamento da câmara.	107
Foto N°9: Transmissores de temperatura com sensores instalados.....	107
Foto N°10: Módulos AIM e RDM.	106
Foto N°11: Reservatório de água com bomba submersa em funcionamento.	107
Foto N°12: Tubulação vertical e horizontal para deslocamento e dispersão da água no condensador.	107

Lista de Abreviaturas e Siglas

Abreviatura / Sigla	Significado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCA	Condensador convencional a ar
CLP	Controlador lógico programável
COP	Coeficiente de desempenho
DC	Corrente contínua
DCE	Dispositivo de condensação evaporativa
E/S	Entrada/saída
HVAC	<i>Heating ventilation and air conditioning</i>
IHM	Interface homem máquina
NA	Normalmente aberto
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
ON/OFF	Liga / desliga
PVC	Policloreto de vinila
VCC	Compressor com capacidade variável
VSC	Compressor com velocidade variável

Sumário

Capítulo 1 : Introdução	15
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivos específicos	17
Capítulo 2 : Revisão Bibliográfica.....	19
2.1 Eficiência energética e conservação de energia no Brasil.....	19
2.2 Estoque de refrigeradores.....	21
2.3 Estudos de eficiência energética aplicados em refrigeradores domésticos	24
2.4 Condensadores evaporativos.....	27
2.5 Índices de avaliação de eficiência dos sistemas de refrigeração.....	32
Capítulo 3 : Material e Métodos.....	35
3.1 Conjunto experimental	35
3.1.1 Câmara de Testes.....	40
3.1.2 Refrigerador	41
3.1.3 Dispositivo de condensação evaporativa (DCE)	42
3.2 Instrumentação do Sistema.....	44
3.2.1. Controle de temperatura na da câmara.	44
3.2.2. Elementos primários de temperatura.....	46
3.2.3. Sensores de umidade relativa	47
3.2.4. Sensores de pressão	48
3.2.5. Transdutor de corrente.....	49
3.3 Configuração do Software.....	50
3.4 Ensaaios com a câmara de testes	55
3.4.1 Teste de resfriamento e monitoração da temperatura e umidade relativa	55
3.4.2 Teste de aquecimento e monitoração do consumo de corrente elétrica.	55
3.5 Testes com o dispositivo de condensação evaporativa (DCE).	56
3.6 Tratamento de Dados	59

Capítulo 4 : Resultados e discussão	61
4.1 Resultados da calibração dos sensores de temperatura e umidade relativa.	61
4.2 Resultados da configuração dos sensores de temperatura, umidade relativa, pressão e intensidade de corrente.	61
4.3 Teste de resfriamento e monitoração de temperatura interna da câmara.....	61
4.4 Teste de aquecimento da câmara e monitoração de corrente elétrica.....	62
4.5 Testes com o dispositivo de condensação evaporativa (DCE)	65
4.6 Resultados dos ensaios no ciclo de refrigeração.	69
 Capítulo 5 : Conclusão.....	 81
Referências bibliográficas	83
Apêndices	87
A. Resultados da calibração	89
A.1 :Sensores de temperatura	89
A-2 :Sensores de umidade relativa	89
B-1 :Sensores configurados para monitoração no programa HILOG®	91
B-2 :Entradas Analógicas configuradas para sensores de temperatura.	93
C. Gráficos de monitoração, gerados em tempo real pelo programa HILOG	95
D. Valores médios dos parâmetros adquiridos durante 24 horas.....	97
E. Históricos dos parâmetros medidos durante 24 horas para todos os ensaios	105
F. Composição e distribuição dos pacotes térmicos dentro do refrigerador	113
G. Fotos do cenário de estudo	115
 Anexos.....	 135
Anexo 1 : Catálogo técnico do controlador MC02-QC.....	137
Anexo 2 : Configuração do módulo AIM230-RO	141
Anexo 3 : Configuração do módulo RDM-216-RO	151

Capítulo 1 : Introdução

A refrigeração é uma tecnologia amplamente aplicada a uma variedade de atividades industriais em todo o mundo. Tem sido aplicada principalmente na área de conservação de alimentos e também em setores como condicionamento de ar, processamento industrial e em tecnologia de bombas de calor.

Segundo relatórios especializados da ONG WWF- BRASIL feito por Januzzi (2007), 96% das residências com serviços de energia elétrica possuem refrigeradores, sendo estes equipamentos um dos principais consumidores de energia. A participação dos mesmos chega a representar até 70 % do consumo residencial total.

Existem três tipos de condensadores utilizados nos sistemas de refrigeração: condensadores a ar, condensadores a água e condensadores evaporativos. Os sistemas domésticos utilizam geralmente condensadores a ar e seu funcionamento depende do fluxo de ar no espaço circundante. Já nos condensadores evaporativos obtém-se a condensação pela evaporação de água na corrente de descarga em contato com a serpentina do condensador. Estes sistemas são mais eficientes e têm sido amplamente utilizados para melhorar a transferência de calor e melhorar o desempenho de sistemas de resfriamento industrial de grande porte.

O condensador evaporativo tem sido de grande utilidade nos sistemas de refrigeração industrial e, comparado a um condensador a ar de sistemas de refrigeração convencionais, pode economizar até 40% da demanda e consumo de energia dos sistemas da HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). (STOECKER e JABARDO,2002).

Neste contexto muitos estudos foram realizados para investigar o condensador evaporativo aplicado a grandes unidades frigoríficas, enquanto pouca atenção foi dada à aplicação de condensadores evaporativos residenciais para pequenos sistemas de refrigeração.

Considerando que os sistemas incorporados de condensação evaporativa são comparáveis aos sistemas resfriados a água e o custo de instalação representa apenas um quarto do custo dos equipamentos, os custos do tratamento de água (produtos químicos) são menores comparados ao custo de energia economizado anualmente, e que a manutenção não é tão complicada quanto ao de um sistema de torre de resfriamento,

fazem-se necessários estudos na estratégia de aplicação e adequação de equipamentos de menor escala que possam se adaptar satisfatoriamente aos sistemas frigoríficos domésticos em uso.

A adaptação de um dispositivo de condensação evaporativa no sistema de refrigeração padrão doméstica, consegue aumentar a eficiência energética do sistema, com um menor tempo de operação do compressor para uma mesma carga térmica, uma vez que o efeito frigorífico no evaporador torna-se maior com as condições favoráveis para o processo de compressão, obtendo um menor consumo diário de energia.

O dispositivo desenvolvido neste trabalho procurou diminuir a temperatura de condensação, pela substituição do ar como meio de condensação convencional do sistema de refrigeração, por água em contato com a superfície do condensador. Desta maneira procurasse aproveitar o efeito evaporativo (calor absorvido) da água na mudança de fase. Com menores temperaturas de condensação o coeficiente de desempenho do sistema (COP), aumenta, pois o efeito frigorífico torna-se maior e o trabalho do compressor diminui.

O comportamento do sistema de refrigeração foi monitorado e comparado com os sistemas de refrigeração convencional, utilizando uma câmara de testes (segundo norma Brasileira NBR 12863) instrumentada com sensores de temperatura e umidade relativa especialmente condicionada para esse propósito. A aquisição de dados e geração de históricos foi conseguida utilizando um controlador lógico programável e analisado numa planilha de dados.

Também foi monitorado o funcionamento do compressor pelas pressões de condensação e evaporação, assim como a energia elétrica consumida durante cada ensaio em condições transientes e estacionárias. Dessa forma foi possível comparar avaliar e quantificar o desempenho do refrigerador utilizando o dispositivo de condensação evaporativa.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste estudo foi desenvolver um dispositivo de condensação evaporativa para refrigeradores domésticos, alterando o meio de condensação convencional a ar, por água em evaporação, e avaliar a eficiência energética do sistema.

1.1.1 Objetivos específicos

- Diminuir a temperatura de condensação do sistema de refrigeração doméstico, utilizando um dispositivo evaporativo construído e montado no condensador do refrigerador;
- Estruturar a câmara de ensaios para refrigeradores, congeladores e aparelhos similares instalados no Laboratório de Automação e Controle de Processos de Alimentos (LACPA)-DEA/FEA/UNICAMP, com sensores de temperatura, pressão e umidade relativa, assim como de sistemas compensadores de temperatura, segundo norma NBR12863;
- Avaliar o comportamento de um refrigerador dotado do sistema de condensação convencional a ar, para obter uma referencia de comparação com o mesmo sistema utilizando o dispositivo de condensação evaporativo proposto;
- Avaliar conforme a norma NBR12863 o comportamento do refrigerador com o dispositivo de condensação evaporativa, medindo parâmetros próprios do ciclo, tais como temperatura e pressão para análises e comparação com o sistema convencional;
- Comparar o coeficiente de desempenho obtido para cada ciclo de refrigeração mantendo constante a temperatura na câmara de ensaios nos valores de 24 e 32°C, em regime estacionário;
- Avaliar o consumo de energia de cada sistema durante 24 horas, segundo norma NBR8888, para comparação e análises.

Capítulo 2 : Revisão Bibliográfica

2.1 Eficiência energética e conservação de energia no Brasil

No estudo, intitulado Cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo elaborado por Januzzi (2006), o consumo residencial brasileiro em 2004 foi da ordem de 78.577 GWh, o que representou um crescimento de 3 % em relação ao ano anterior. Esse consumo representa cerca de 24% do consumo total de eletricidade naquele ano. Entretanto os resultados das projeções setoriais realizadas no plano decenal 2003-2012 sugerem taxas anuais de crescimento de 5,9 % para o setor residencial, 6,3% para o setor comercial e 5,2 % para o industrial.

Nesse estudo, foram atendidas cerca de 46,8 milhões de unidades consumidoras residenciais em todo o Brasil, e foram selecionados os cinco principais equipamentos elétricos que mais consomem eletricidade em uma residência, sendo eles: chuveiro elétrico; geladeira e freezer; iluminação elétrica e ar-condicionado. Ainda foi verificado que o consumo residencial está intimamente ligado à posse e uso de eletrodomésticos, condições climáticas, renda, oferecimento de linhas de crédito ao consumidor, entre outras variáveis que influem na dinâmica desse segmento.

Numa apreciação geral, pode-se considerar que a eficiência energética aumenta quando se consegue realizar um serviço e/ou produzir um bem com uma quantidade de energia inferior à que era usualmente consumida. Em outras palavras ser eficiente do ponto de vista energético equivale a gastar menos quantidade de energia para se obter um mesmo resultado final; ou ainda, gastar a mesma quantidade de energia e obter maiores rendimentos. Um exemplo característico seria o que acontece nos sistemas de refrigeração melhorados, que geram um mesmo efeito frigorífico utilizando menos trabalho do compressor.

Os equipamentos usados para refrigeração (refrigeradores e freezers) e condicionamento ambiental (equipamentos de ar-condicionado) têm um potencial significativo de redução de consumo, conforme mostrado na **Figura 2.1**. A introdução de equipamentos disponíveis no mercado internacional possibilitaria a imediata redução em

até 40% comparados com os níveis atuais de consumo dos equipamentos nacionais (Jannuzzi, 2003).

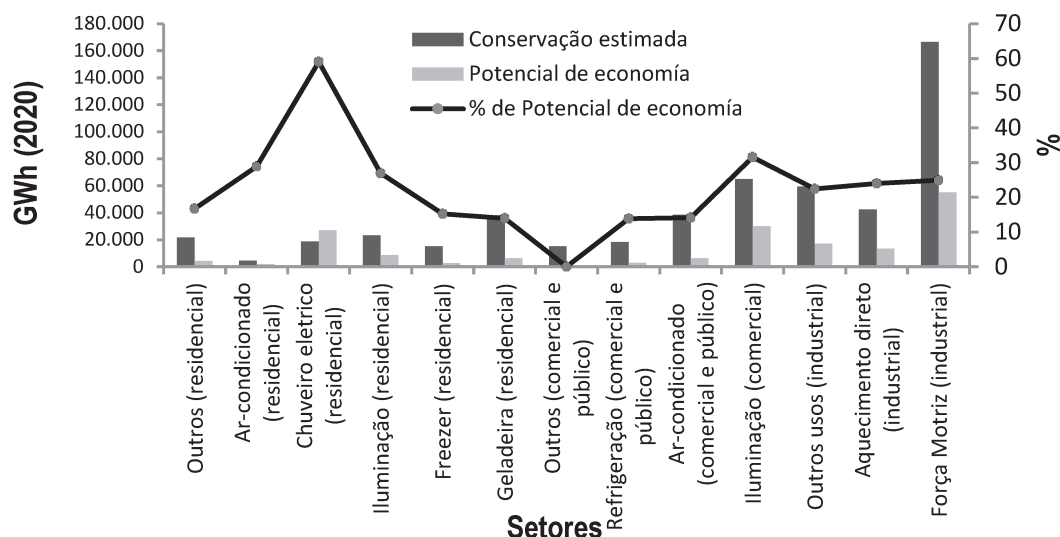


Figura 2.1: Resultados estimados de conservação de eletricidade através de medidas de eficiência energética nos setores e usos finais considerados. (Adaptado de WWF-Brasil, 2004, P.37).

Depois de mais de 10 anos em tramitação no Congresso, somente em 2001, durante a crise de energia, foi aprovada a Lei de Eficiência Energética. Esta é peça fundamental para garantir contínuo aperfeiçoamento tecnológico dos equipamentos que consomem energia, comercializados no país. No entanto, a aplicação dessa lei tem sido morosa e, consequentemente, os benefícios em se incorporar equipamentos mais eficientes têm sido muito modestos. Os índices de desempenho energético poderiam ser mais ambiciosos e, quando necessário, recursos para pesquisa e desenvolvimento tecnológico deveriam ser canalizados para viabilizar a adoção de índices mais agressivos.

Com tudo, uma eficiência energética a nível global pode ser obtida através de vários fatores, tais como, alterações nas políticas energéticas, mudanças comportamentais da sociedade e especialmente através de mudanças tecnológicas.

Nesse contexto, desde 1985 o Brasil tem desenvolvido esforços para conservar e usar energia elétrica de maneira mais eficiente, quando foi criado o Programa Nacional de

Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Assim uma demonstração de interesse e apoio público foi verificada em 1998, quando a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu a obrigatoriedade das concessionárias investirem anualmente uma parcela de sua receita em programas de eficiência energética.

2.2 Estoque de refrigeradores

Segundo o relatório de Januzzi (2007), cerca de 96% dos domicílios brasileiros possuem refrigeradores. Conforme se amostra na **Figura 2.2**, a região Nordeste possui menor índice de posse, mas mesmo assim apresenta um considerável valor de 92%.

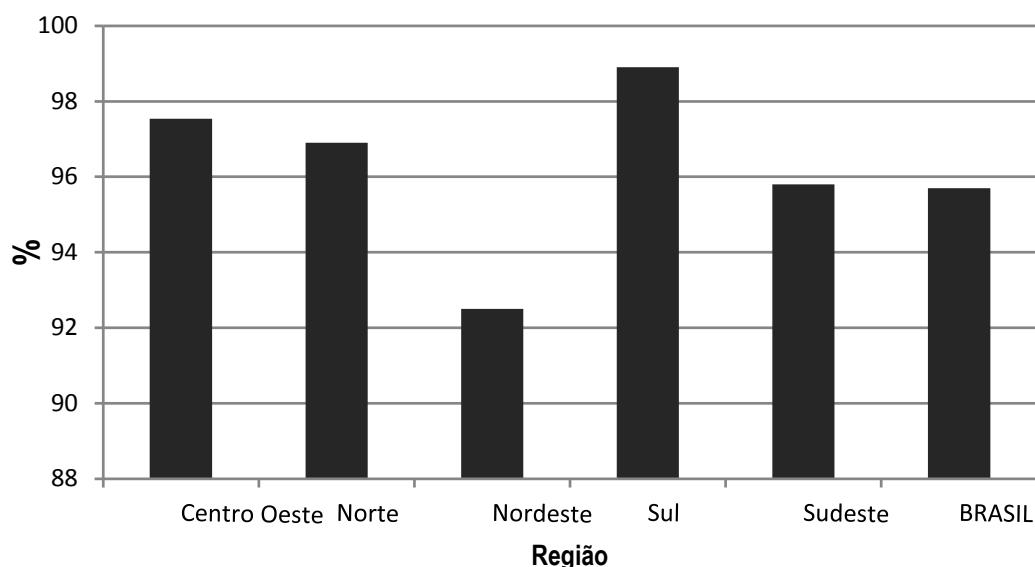


Figura 2.2: Porcentagem de famílias que possuem refrigerador no Brasil por regiões (% dos domicílios eletrificados). (Adaptado de JANUZZI, 2007, p. 15).

O refrigerador doméstico está dentro dos equipamentos que representam as maiores participações no consumo residencial de eletricidade no Brasil¹. Segundo Januzzi (2007), essa participação é estimada em torno de 30%, representando, em 2004, um

¹ Segundo a Agenda elétrica sustentável 2020, elaborada pela ONG WWF-BRASIL, o refrigerador doméstico ocupa o segundo lugar de aparelhos com maior consumo de energia elétrica, depois dos chuveiros elétricos.

consumo de eletricidade aproximado de 23.000 GWh, cerca de 6,3% do consumo total de eletricidade no país.

Apesar dos avanços no aumento da eficiência no consumo de energia dos refrigeradores disponibilizados no mercado, indicado pelo selo PROCEL², ainda existem em operação muitos equipamentos antigos com tecnologias ineficientes. De acordo com Vendrusculo et al.,(2007), estima-se que a participação de refrigeradores com idade superior a 15 anos em uso seja de aproximadamente 12%, indicando a utilização de equipamentos com tecnologias ineficientes e com eficiência degradada. O consumo de energia elétrica desses equipamentos pode ser até 5 vezes superior aos equipamentos novos com classificação A do selo PROCEL.

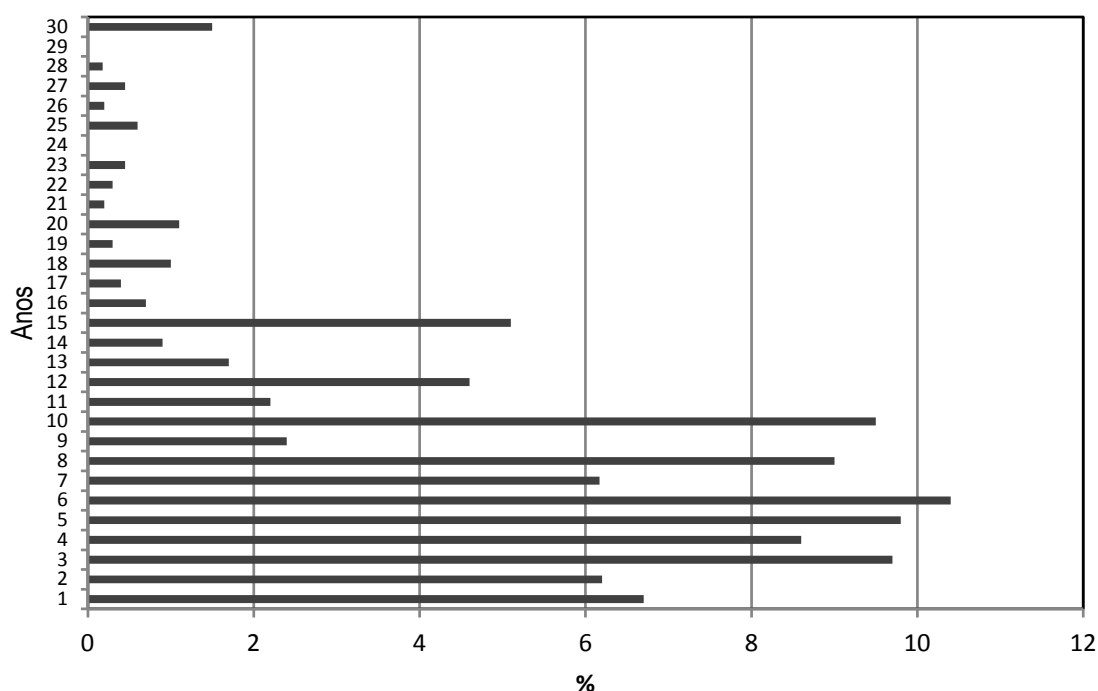


Figura 2.3: Distribuição percentual dos refrigeradores no Brasil de acordo com a idade declarada (Adaptado de JANUZZI, 2007, p. 16).

Conforme mostrado na **Figura 2.3**, quase 30% dos refrigeradores brasileiros tem mais de 10 anos. Adicionalmente, a maioria dos refrigeradores mais antigos, como

² O selo PROCEL (Programa de conservação de eletricidade) indica ao consumidor a classificação de consumo que se enquadra o equipamento que esta sendo obtido.

esperado, pertence exatamente às classes de renda mais baixas, variando em torno de 8 anos em média. Ainda foi verificado no relatório de JANUZZI(2007), que o modelo de refrigerador mais comum presente nas regiões norte e nordeste, é o modelo Cònsul 280; enquanto que nas regiões sudeste e centro oeste o mais comum é o Brastemp 260. Já na região sul, o modelo mais encontrado é o Brastemp 320.

Além do tamanho e modelo, existem vários fatores que influenciam o consumo de eletricidade em refrigeradores. Segundo o fabricante Multibras, os fatores que interferem na perda de eficiência dos equipamentos ao longo do tempo são: a vedação (a partir de 5 anos de uso), o isolamento (a partir dos 5 anos de uso), o termostato (a partir dos 10 anos de uso), e compressor (a partir dos 10 anos de uso). Até os cinco anos de vida útil, a eficiência energética desses equipamentos permanece praticamente inalterada (NOGUEIRA, 2006).

A temperatura ambiente é outro fator muito importante a considerar, já que a mesma varia consideravelmente segundo as regiões do Brasil, conforme se amostra na Figura 2.4

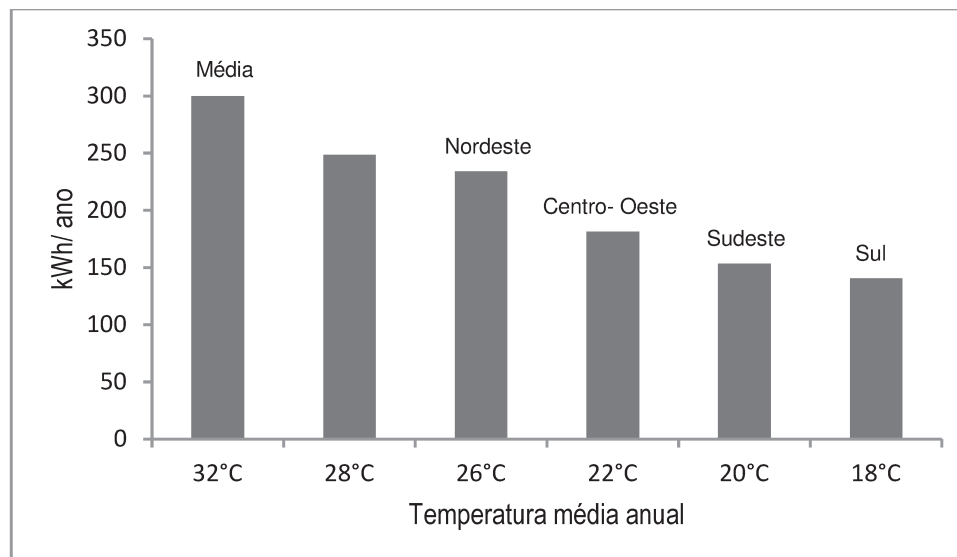


Figura 2.4: Consumo de energia elétrica de refrigeradores, segundo temperatura média anual de cada região do Brasil.(Adaptado de NOGUEIRA, 2006).

Neste contexto de procura contínua de sistemas industriais mais eficientes, e do ponto de vista energético, reconhece-se claramente a oportunidade de utilizar estratégias

tecnológicas para adequar os sistemas de refrigeração domésticos pouco eficientes e ainda melhorar o desempenho dos sistemas modernos convencionais.

Por outro lado, no cenário brasileiro atual, existem diretrizes orientadas a fiscalizar a cultura da eficiência energética, um exemplo deste comportamento se vê no selo PROCEL que, desde 1994, estimula indiretamente os fabricantes a disponibilizar no mercado equipamentos eficientes, e desde o ano 2007, fixou padrões mandatários de eficiência energética para refrigeradores.

De tal maneira, com todos os investimentos do governo federal e das concessionárias de energia elétrica, dirigidos a encontrar alternativas tecnológicas que permitam aprimorar o consumo dos recursos energéticos, o desenvolvimento de tecnologias dirigidas a conservar energia se apresenta como uma área de pesquisa com grande potencial e com um panorama favorável.

2.3 Estudos de eficiência energética aplicados em refrigeradores domésticos

Os refrigeradores residenciais são os equipamentos domésticos maiores consumidores de eletricidade nos Estados Unidos e em países mais desenvolvidos, e como tal, têm se tornado alvo de melhorias de eficiência (HEPBASLI, 2006, p.285, tradução nossa).

Os sistemas frigoríficos e congeladores estão entre os primeiros aparelhos para os quais procedimentos de teste de energia foram desenvolvidos, principalmente porque estes aparelhos utilizam quantidades significativas de energia e são razoavelmente fáceis de testar. Em consequência, o impacto de padrões de eficiência no uso da energia de refrigeradores, é um dos melhores documentados. Muitos estudos podem se enquadrar em duas categorias: verificação mediante testes de laboratório ou substituição por unidades mais eficientes para observação de economia de energia (HEPBASLI, 2006, p.287, tradução nossa).

De acordo com Januzzi (2007) a substituição do estoque de refrigeradores com mais de cinco anos de uso é uma alternativa instituída no Brasil desde o ano 2006 com programas de substituição de refrigeradores para populações de baixa renda. Esses programas são implementados pelas próprias concessionárias por meio de recursos provenientes de sua receita operacional líquida.

Cardoso, Nogueira e Haddad (2009) analisaram a viabilidade de adquirir refrigeradores eficientes (segundo o selo PROCEL) no Brasil, considerando os preços, a tarifa média de eletricidade e o consumo específico do modelo de “uma porta”. O resultado indica um grande benefício energético, sendo este efeito mais evidente para as tarifas mais altas e cidades com temperatura ambiente mais alta. Estas alternativas de substituição apresentam benefícios consideráveis, porém tem a desvantagem de necessitar de grandes investimentos.

Con tudo, numerosos estudos têm sido dirigidos a aumentar a eficiência energética dos sistemas de refrigeração domésticos, utilizando diferentes estratégias. Em alguns casos optou-se por aperfeiçoar o projeto dos elementos do ciclo de refrigeração, ou também modificar a estrutura do gabinete, para melhorar o isolamento e diminuir a troca térmica dentro do ambiente resfriado. Em outros casos modificando-se as condições de funcionamento do ciclo de refrigeração, para obter temperaturas de condensação menores. Muitas pesquisas atuam também sobre o funcionamento do compressor e os diferentes tipos de controle do mesmo.

Na bibliografia existem alguns estudos referentes a este tema, sendo cada vez mais perceptível a intenção dos autores de utilizar estratégias inovadoras, preocupando-se com os custos de aplicação e observando a viabilidade tecno-econômica das propostas, especialmente nos sistemas destinados a uso residencial. Um exemplo desta tendência é o estudo feito por Azzouz, Leducq e Gobin(2009) que avaliaram o desempenho de refrigeradores domésticos com placas PCM³ nas paredes do evaporador, para aumento de eficiência, considerando a capacidade de armazenamento do efeito frigorífico, durante períodos de inatividade do compressor. Nesse estudo foi mostrado que a adição de uma placa grossa de PCM na parte de trás de um evaporador frigorífico pode resultar numa temperatura de evaporação mais elevada, o coeficiente de desempenho foi melhorado em 25%. Uma diminuição significativa no número de partidas e paradas do compressor foi observada.

³PCM (phase change material) material de mudança de fase é uma substância que possui entalpia de fusão e solidificação elevado, que em uma determinada temperatura, é capaz de armazenar e liberar grandes quantidades de energia. O calor é absorvido ou liberado quando o material muda da fase sólida para líquida e vice-versa, assim, PCMs são classificados como materiais de armazenagem de calor latente (LHS).

Em contrapartida (MANINI et al. 2003, apud AZZOUZ; LEDUCQ; GOBIN, 2009) utilizaram um painel de isolamento em vácuo (VIP) para melhorar o isolamento do gabinete e da porta, e reduzir as perdas de calor. Uma economia de até 25%, do consumo médio de energia foi reportada. O inconveniente desta tecnologia está no processo de fabricação, que ainda é caro.

Nos refrigeradores convencionais, o compressor usualmente utilizado é o compressor hermético alternativo, concebido para atender a carga térmica máxima. Estes compressores operam geralmente com carga parcial, resultando em um desempenho reduzido e aumento das perdas no ciclo. Koury, Machado e Ismail (2001) apresentaram uma simulação numérica do compressor de velocidade variável (VSC[®]) e do compressor de capacidade variável (VCC[®]) da empresa EMBRACO⁴. Estes dispositivos são uma alternativa eficiente para controlar a capacidade de refrigeração, já que ajustam continuamente a velocidade do compressor à carga térmica. Os resultados dos testes mostraram uma economia energética de até 45%, substituindo o compressor de sistema convencional de controle (ON/OFF) por compressores com tecnologia VCC[®]. Deve-se informar que os compressores com tecnologia VCC têm um custo 20% maior que os convencionais.

A eficiência de um sistema de refrigeração pode ser avaliada através do cálculo do coeficiente de performance ou coeficiente de desempenho (COP). Num ciclo de refrigeração normalmente é definido como a relação entre a energia útil trocada no evaporador, que é o objetivo do ciclo, e a energia que deve ser fornecida para a obtenção do efeito desejado (STOECKER e JABARDO, 2002). Assim, o COP de um ciclo refrigerante é definido pela razão do calor trocado no evaporador pela energia equivalente consumida no compressor.

A obtenção de um COP elevado está relacionada à redução do trabalho necessário para um dado efeito de refrigeração. A massa de refrigerante circulado no circuito de refrigeração está diretamente relacionada com a carga térmica. Entretanto, as condições

⁴Com o sistema VCC[®], desenvolvido pela Embraco em 1996, consegue-se um método de controle da velocidade de operação de um compressor hermético, para manter a temperatura do ambiente refrigerado dentro de um intervalo de temperaturas previamente definido, sem submeter o compressor a operações contínuas de liga e desliga, e sem utilizar circuitos eletrônicos complexos para tratamento do sinal de realimentação. O sistema inclui uma chave térmica acionável em pelo menos dois estados limites de temperatura de um ambiente a ser refrigerado e um motor de velocidade variável provido de uma unidade de controle. EMBRACO-Simuladores. Disponível em http://www.embraco.com.br/portugue/racional_vcc.htm

de operação (Pressões e temperaturas de condensação e de evaporação) têm influência direta no consumo de energia pelo compressor.

O COP é inversamente proporcional ao trabalho feito pelo compressor, e resulta da diferença das entalpias na saída e entrada do compressor, diminuindo a temperatura de condensação, o gradiente de entalpia decresce assim como o trabalho desenvolvido.

Min e Rowe (2006) demonstraram que pode-se obter um COP de 0,3 a 0,5, utilizando um refrigerador termoelétrico construído com módulos Peltier. Os autores avaliaram o desempenho frigorífico do protótipo em termos do coeficiente de desempenho, capacidade de bomba de calor e taxa de resfriamento a temperaturas de operação típicas.

A eficiência energética do sistema frigorífico termoelétrico, desenvolvido com a tecnologia e materiais atualmente disponíveis, ainda é menor do que seus concorrentes eletromecânicos. No entanto, o estudo demonstrou que um refrigerador termoelétrico comercializável pode ser construído com um COP aceitável. Além disso, a melhoria no COP pode ser possível melhorando os contatos das resistências, as interfaces térmicas e os trocadores de calor.

2.4 Condensadores evaporativos

Existem três tipos principais de condensadores utilizados nos sistemas de refrigeração: (a) condensadores a ar, (b) condensadores a água e (c) condensadores evaporativos. Os condensadores utilizados comumente nos refrigeradores domésticos são os com troca de calor com ar por convecção natural. O funcionamento deles depende da troca de calor entre as tubulações de cobre e o fluxo de ar circundante. Neste sentido os condensadores a ar precisam de um alto fluxo do meio de troca de calor para melhorar sua eficiência. Os condensadores a água são muito usados nas grandes aplicações industriais e dependem da transferência de calor entre a tubulação com refrigerante e o fluxo de água. Estes condensadores a água apresentam um coeficiente de transferência de calor maior do que os condensadores a ar, contudo necessitam de uma bomba de água e de tratamento químico na mesma água para reduzir incrustações nas tubulações.

O condensador evaporativo tem sido amplamente utilizado para melhorar a transferência de calor e melhorar o desempenho de sistemas de resfriamento industriais de grande porte (STOECKER e JABARDO, 2002, p. 199, tradução nossa).

A maioria de projetos de condensadores evaporativos considera um sistema de dispersão (spray) de água nas tubulações do condensador, enquanto uma corrente de ar é insuflada simultaneamente sobre as tubulações. A água que não foi evaporada, drena ao fundo do condensador num reservatório para ser re-bombeada de volta aos dispersores, utilizando uma bomba de água.

No condensador evaporativo, o resfriamento é obtido pela evaporação da água na corrente de descarga em contato com o ar.

De acordo com Hwang, et al. (2000), o condensador evaporativo utiliza a transferência de calor sensível e latente entre a água e o ar, enquanto os outros condensadores utilizam apenas a transferência do calor sensível como meio utilizado. Assim as taxas de fluxos de ar requeridas para o condensador evaporativo são menores que as necessárias para os condensadores refrigerados a ar. Isto faz com que seja possível utilizar ventiladores e motores pequenos para gerar o fluxo de exaustão.

A maior vantagem do condensador evaporativo é que a temperatura de condensação é mais baixa que a utilizada nos condensadores a ar.

O calor latente do refrigerante ocorrido no condensador evaporativo possui taxas de transferência de calor, acima do que as apresentadas no condensador a ar, melhorando o coeficiente global de transferência de calor. Isto faz com que o condensador evaporativo apresente uma temperatura de condensação mais baixa. Além disso, a temperatura de condensação é limitada pela temperatura de bulbo úmido do ar, em vez da temperatura de bulbo seco. Uma vez que a temperatura de bulbo úmido é geralmente de 8 a 14 °C inferior à temperatura de bulbo seco, a temperatura de condensação é menor neste processo. A menor temperatura de condensação reduz a razão de compressão do compressor, reduzindo o trabalho realizado e aumentando assim o COP e a capacidade frigorífica. Testes realizados em pequena escala em sistemas comerciais mostraram que o consumo de potência do compressor é reduzido em até 11,4% e o COP aumenta cerca de 20 % em relação aos condensadores convencionais a ar (MARKEY, 1996, apud HWANG et al, 2000, p. 241, tradução nossa).

NASR e SALAH HASSAN (2009) desenvolveram um protótipo de condensador evaporativo para refrigeradores residenciais totalmente inovador. Para permitir o resfriamento evaporativo, os autores utilizaram folhas de tecido envolvidas em torno do condensador, para escoar a água desde um reservatório, por efeito capilar. Os componentes foram montados dentro de um envólucro retangular e um ventilador centrífugo foi usado para insuflar ar, sobre o condensador. Outro duto divergente e palhetas foram instalados entre o ventilador e a seção de teste de condensador para garantir a distribuição de ar uniformemente, conforme mostrado na **Figura 2.5**.

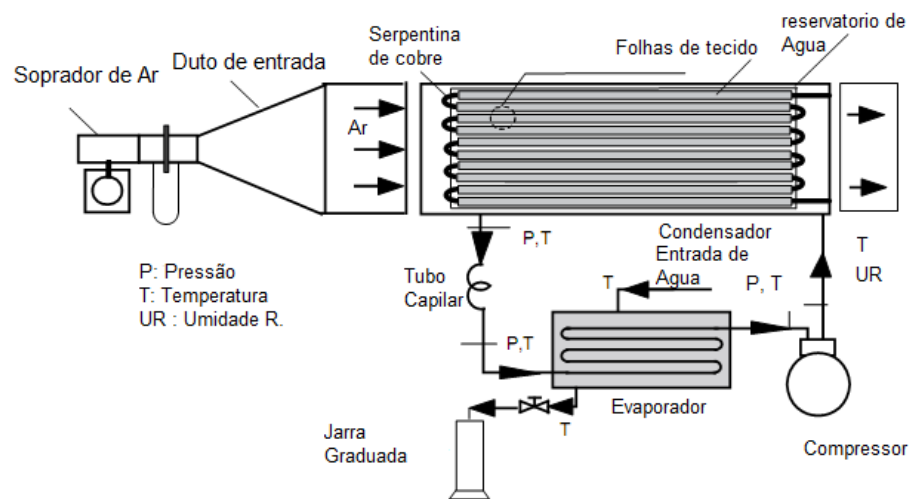


Figura 2.5: Protótipo de condensador utilizando folhas de tecido úmido para resfriamento evaporativo (adaptado de NASR e SALAH HASSAN, 2009, p 2448).

No experimento de NASR e SALAH HASSAN (2009), as propriedades térmicas em diversos pontos do ciclo de refrigeração foram medidas em condições normais de funcionamento. Os resultados experimentais mostraram que a temperatura do condensador aumenta $0,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ para cada aumento de grau na temperatura do evaporador quando a velocidade do ar é de $2,5\text{ m/s}$, para temperatura ambiente de $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $37,5\%$ de umidade relativa. Entretanto, o aumento da temperatura no condensador é de $0,88\text{ }^{\circ}\text{C}$, no caso de ter uma velocidade do ar de $1,1\text{ m/s}$, temperatura ambiente de $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $47,1\%$.

Adicionalmente, os autores apresentaram um modelo teórico de transferência de calor e massa, usados para estudar o efeito de diferentes parâmetros sobre a temperatura de condensação, tais como a umidade relativa e especialmente a velocidade do ar na entrada do condensador. O resultado final mostrou que o dispositivo evaporativo, quando atinge uma taxa de fluxo de calor de 150 W/m^2 e uma velocidade de ar de 3 m/s , pode operar a uma temperatura de condensação, 20°C por baixo da temperatura de operação dos condensadores resfriados a ar.

Contudo pode observar-se que o funcionamento deste protótipo encontra-se diretamente influenciado pela velocidade de ar na entrada do duto de alimentação, e que o consumo elétrico do soprador de ar instalado na entrada deve ser adicionado ao consumo de energia do conjunto. Esta variável representa um inconveniente do ponto de vista de economia energética.

Outro protótipo de condensador evaporativo, adaptado para uma bomba de calor, foi testado por HWANG, et al. (2000) e comparado com um sistema convencional. Os autores testaram um dispositivo formado por um conjunto de 35 discos de $0,6 \text{ m}$ de diâmetro, corrugados por ambas as faces e montados concentricamente num eixo. Os discos ficaram parcialmente submersos dentro de um reservatório de água e separados para passar entre os bancos de tubos do condensador. O conjunto de discos foi conectado, utilizando polias num motor elétrico de velocidade variável montado do lado do reservatório. Um esquema dessa montagem é mostrado na Figura 2.6

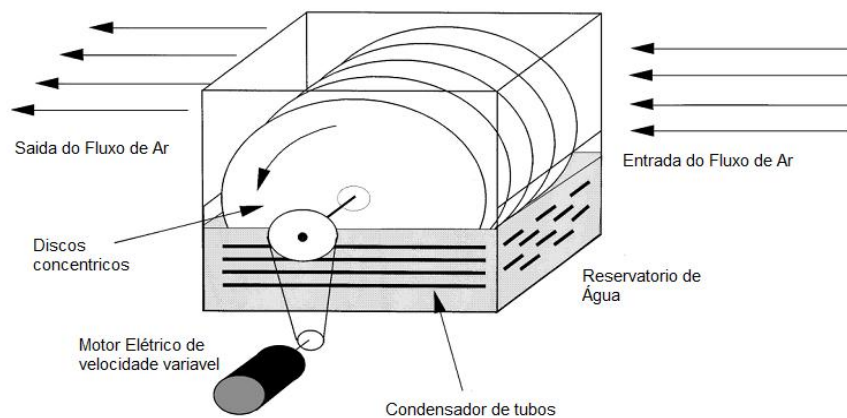


Figura 2.6: Mecanismo de rejeição de calor, para condensador tubular submerso (Adaptado de HWANG, et al. 2000, p. 242).

O fluxo de ar foi garantido por um soprador que insuflou uma corrente de ar paralela ao reservatório, através da superfície interior de cada disco. O desempenho do dispositivo foi caracterizado por parâmetros como a capacidade frigorífica, o COP no estado estacionário e fator de carga calorífica (CLF)⁵.

O resultado dos testes experimentais, utilizando diferentes velocidades de giro nos discos, demonstrou um melhor desempenho do sistema no estado estacionário, em comparação com o sistema convencional, utilizado como base de estudo, assim como incrementos de até 11,1 % no coeficiente de desempenho.

Nestes tipos de aplicações, orientadas a sistemas frigoríficos de grande porte, o espaço disponível para a montagem não representa maiores inconvenientes. Da mesma maneira o consumo do motor elétrico e os custos da montagem podem ser negligenciados, desde que, em comparação com os investimentos nas grandes montagens industriais, estes fatores não afetam o orçamento global. No entanto, nas aplicações desenvolvidas para refrigeradores domésticos, é necessário considerar todos os fatores que possam tornar o projeto economicamente inviável. Talvez a parte mais difícil de construir um condensador evaporativo seja o dimensionamento apropriado e o cálculo do projeto para cada sistema. De acordo com Manske, et al. (2001, p. 683, tradução nossa), um parâmetro conveniente para normalizar o tamanho térmico do condensador evaporativo de um sistema de refrigeração especial, é o cálculo da temperatura e pressão de saturação no condensador, ou seja, a temperatura e pressão do fluido refrigerante necessária para rejeitar a carga de calor do projeto com o funcionamento do condensador na plena capacidade. A temperatura e pressão de um condensador evaporativo estão relacionadas com o inverso da área de transferência de calor.

Há efeitos importantes associados ao dimensionamento do condensador. O custo de um condensador aumenta com o seu tamanho, mas não necessariamente de forma linear. Tanto a água, o ventilador e a bomba de circulação também aumentam com o tamanho do condensador. No entanto, dependendo do condensador e sistemas de controle de pressão, ventiladores não precisam deslocar tanto ar, quando o condensador

⁵ O fator de carga frigorífica está definido pela razão entre a carga frigorífica sensível (Q_{rs}) e o ganho de calor sensível (Q_{es}). É usado para determinar cargas térmicas solares. ASHRAE Standard ANSI/ASHRAE 116 (1995). Disponível em <http://www.ashrae.org/>.

é operado em carga parcial (que normalmente é 95% ou mais do período de funcionamento). Isto oferece a possibilidade de economia de energia do ventilador, desde que sejam utilizados controles adequados.

Vários autores têm reportado benefícios consideráveis no desempenho dos sistemas de refrigeração industriais, utilizando condensadores evaporativos que desenvolvem condições de melhor operação, em comparação com sistemas que operam convencionalmente com ar ou com água como meio de troca térmica para a condensação.

Nesse aspecto, G.R. VRACHOPOULOS, et al. (2007) cita algumas vantagens de utilizar esses dispositivos:

- Melhora o coeficiente de desempenho em até um 20 %, desde que diminui a diferença de temperatura de operação do compressor;
- Economia de energia em até 50 %;
- Diminui o volume do condensador, tamanho e capacidade do compressor;
- Aumenta a eficiência de todas as aplicações individuais e especialmente do compressor;
- Maximiza a vida útil do sistema de refrigeração;
- Redução do custo de instalação em até 15 %;
- Redução dos custos de operação.

2.5 Índices de avaliação de eficiência dos sistemas de refrigeração

A eficiência de um sistema de refrigeração pode ser avaliada através do cálculo do coeficiente de desempenho ou coeficiente de eficácia (COP). Este índice de um ciclo de refrigeração é normalmente definido como a relação entre a energia útil trocada no evaporador, que é o objetivo do ciclo, e a energia que dever ser utilizada para a obtenção do efeito desejado (STOECKER e JABARDO 2002).

A obtenção de um COP elevado está relacionada à redução do trabalho necessário para um dado efeito de refrigeração. A massa de refrigerante circulada no circuito de refrigeração está diretamente relacionada com a carga térmica necessária a aplicação.

Entretanto, as condições de operação (Pressões e temperaturas de condensação e de evaporação) do sistema de refrigeração têm influência direta no consumo de energia pelo compressor para a mesma capacidade térmica.

O COP é inversamente proporcional ao trabalho realizado pelo compressor e diretamente proporcional à diferença das entalpias na saída e entrada do compressor. Diminuindo a temperatura de condensação, a diferença de entalpia decresce assim como o trabalho desenvolvido.

Utilizando água em evaporação como meio de condensação, obtém-se menores temperaturas de condensação do que usando apenas ar. A água em circulação tem um efeito de resfriamento conhecido e aplicado, por exemplo, nas torres de resfriamento, princípio que é considerado para o desenvolvimento de dispositivos de condensação evaporativa.

Capítulo 3 : **Material e Métodos**

3.1 Conjunto experimental

São apresentados a montagem experimental, a configuração do sistema de controle e monitoração, assim como a estratégia experimental para avaliação da eficiência do dispositivo.

O conjunto experimental desenvolvido é formado pela câmara de testes condicionada com sistemas compensadores de aquecimento e resfriamento, um refrigerador doméstico dotado com o dispositivo de condensação evaporativo (DCE) proposto e os diversos sensores instalados na câmara de teste e no refrigerador para a coleta de dados. Todas as variáveis foram monitoradas simultaneamente durante os ensaios e foram aquisitadas por um controlador lógico programável (CLP) conectado num computador.

O fluxograma do sistema de refrigeração e a câmara de ensaios instrumentados estão mostrados na **Figura 3.1**.

Os códigos de identificação dos equipamentos utilizados na montagem experimental e dos sensores são apresentados na **Tabela 3.1** e **Tabela 3.2**, respectivamente.

A localização dos sensores de temperatura utilizados para a monitoração da aplicação internos ao refrigerador está apresentada na **Figura 3.2**, cuja identificação é mostrada na

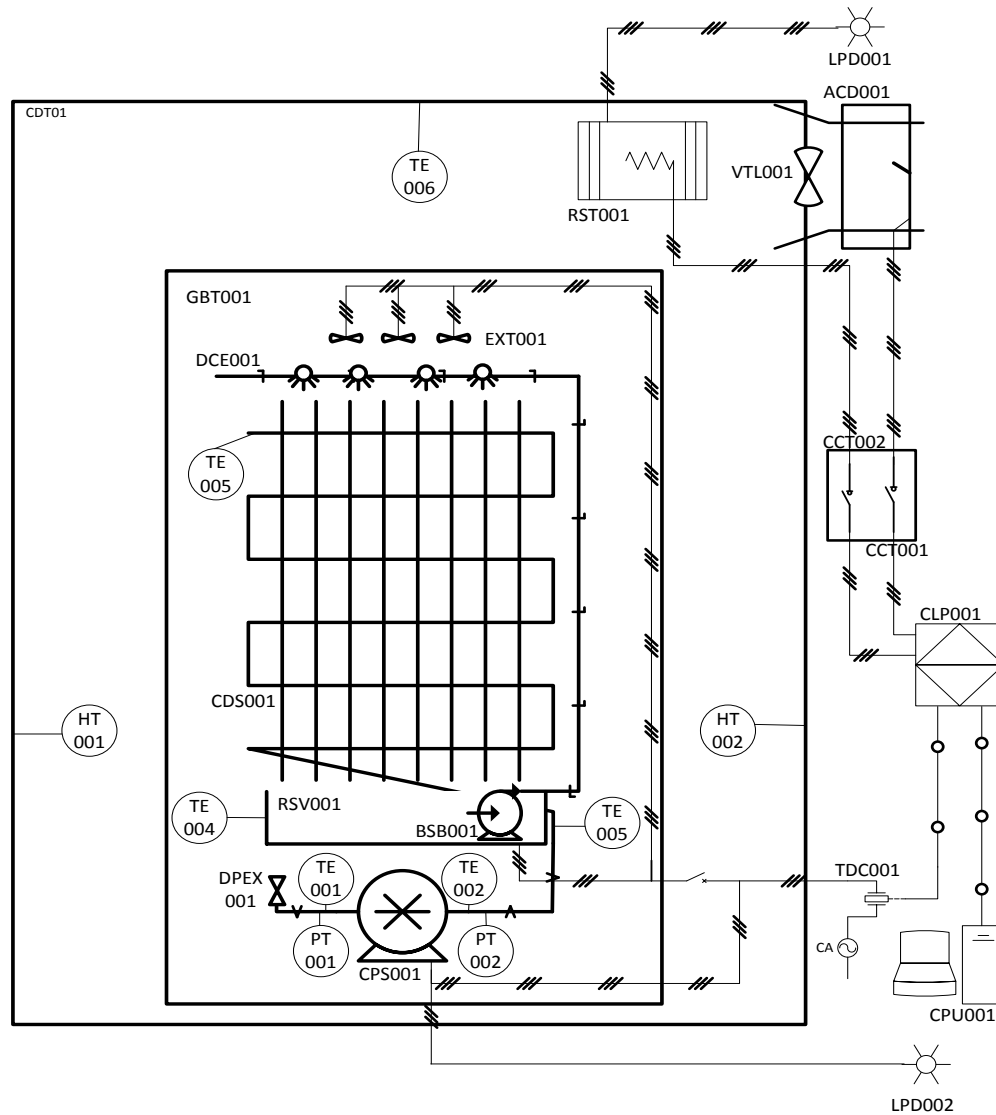


Figura 3.1: Fluxograma do conjunto experimental montado para os ensaios (Camãra de testes).

Tabela 3.1: Códigos de identificação dos equipamentos.

Código	Equipamento	Código	Equipamento
DPEX001	Dispositivo de expansão	ACD001	Condicionador de ar
GBT001	Refrigerador	VTL001	Ventilador de circulação do ar na câmara
DCE001	Dispositivo de condensação evaporativa (DCE)	LPD001	Led indicador de resistência ligada
EXT001	Exaustor	LPD002	Led indicador de compressor ligado
CDS001	Condensador	CCT001	Chave contadora da resistência elétrica
RSV001	Reservatório de água	CCT002	Chave contadora do ar condicionado
BSB001	Bomba submersa	CLP001	Controlador logico programável
CPS001	Compressor	TDC001	Transdutor de corrente
RST001	Resistencia Elétrica	CPU001	Computador

Tabela 3.2: Códigos de identificação e localização dos sensores utilizados no conjunto.

Código	Equipamento	Localização	Finalidade
TE001	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Sucção do compressor	Monitorar a temperatura do fluido refrigerante na sucção
TE002	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Descarga do compressor	Monitorar a temperatura do fluido refrigerante na descarga
TE003	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Saída do condensador	Monitorar a temperatura do fluido refrigerante na saída do condensador
TE004	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Reservatório de água	Monitorar a temperatura da água do reservatório durante os ensaios com o DCE
TE005	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Entrada do condensador	Monitorar a temperatura do fluido refrigerante na entrada do condensador
TE006	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Encima do gabinete	Monitorar a temperatura da câmara.
PT001	Transmissor de pressão (manométrica)	Sucção do compressor	Monitorar a pressão do fluido refrigerante na sucção do compressor
PT002	Transmissor de pressão (manométrica)	Descarga do compressor	Monitorar a pressão do fluido refrigerante na descarga do compressor
HT001	Transmissor de umidade relativa	Na parede frontal da câmara	Monitorar a umidade relativa na câmara
HT002	Transmissor de umidade relativa	Na parede posterior da câmara	Monitorar a umidade relativa na câmara

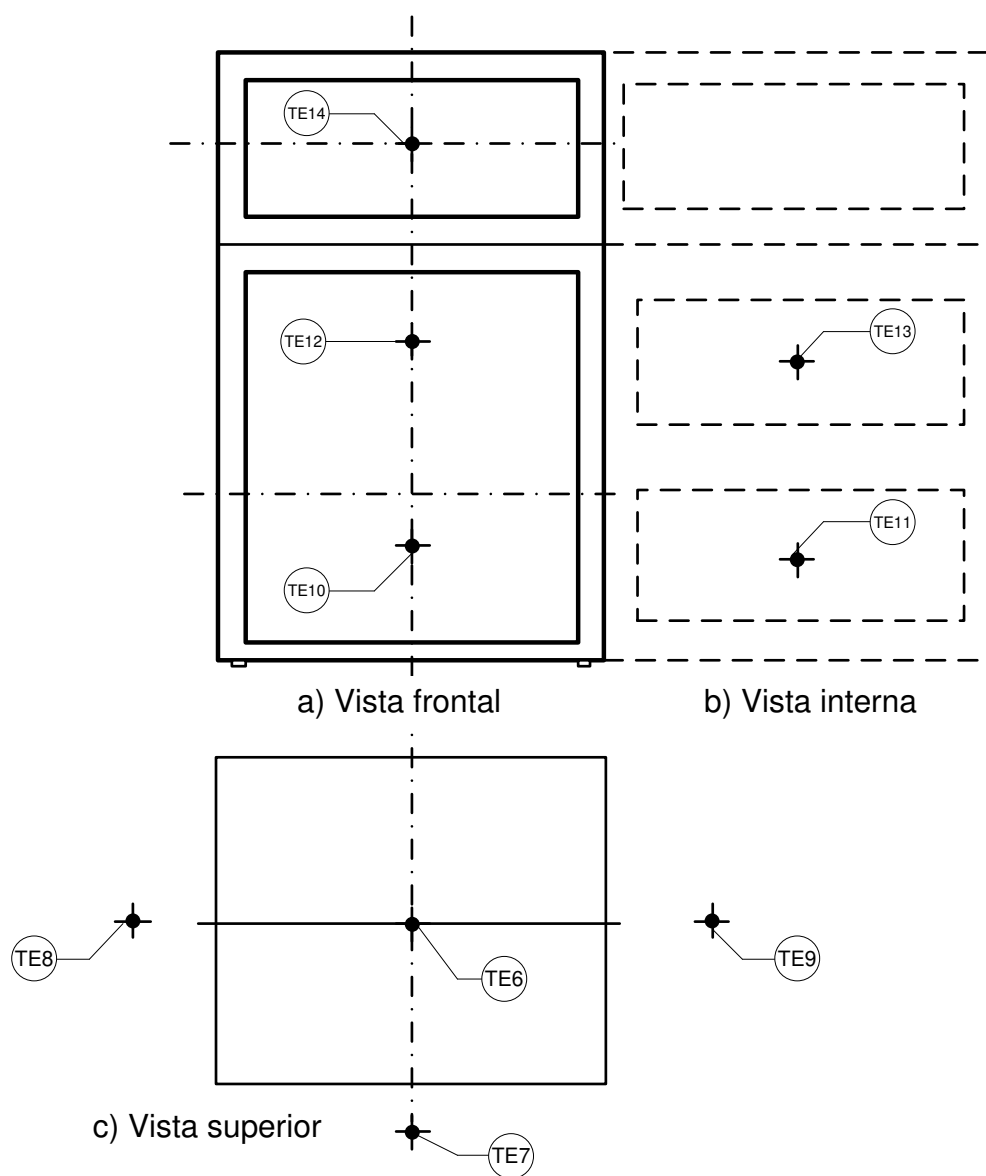


Figura 3.2: Esquema de distribuição de sensores de temperatura no gabinete (refrigerador) para monitoração.

Na figura 3.2, se ilustra a localização dos sensores de temperatura no centro geométrico de cada compartimento do gabinete, segundo especificação da Norma NBR12864

Tabela 3.3: Códigos de identificação e localização dos sensores no refrigerador.

Código	Equipamento	Localização	Finalidade
TE006	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Parte superior externa do refrigerador	Monitorar a temperatura interna da câmara
TE007	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Frente o refrigerador	Monitorar a temperatura interna da câmara
TE008	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Esquerda do refrigerador	Monitorar a temperatura interna da câmara
TE009	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Direita do refrigerador	Monitorar a temperatura interna da câmara
TE010	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Parte interna inferior refrigerador	Monitorar a temperatura no conservador
TE011	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Porta (Superfície interna inferior)	Monitorar a temperatura na porta
TE012	Elemento primário de temperatura (PT100)	Refrigerador	Monitorar a temperatura do conservador
TE013	Elemento primário de temperatura (termopar T)	Porta (superfície interna superior)	Monitorar a temperatura no congelador
TE014	Elemento primário de temperatura (PT100)	Congelador (parte interna)	Monitorar a temperatura no congelador

3.1.1 Câmara de Testes

O conjunto experimental consiste de uma câmara de testes (CDT01) construída e estruturada, conforme a norma NBR 12863 de câmara de ensaios para refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico. A mesma foi montada no Laboratório de Automação e Controle de Processos de Alimentos (LACPA) - DEA/FEA/UNICAMP. Para garantir um fluxo de ar homogêneo no interior da câmara, e evitar velocidades de ar superiores a 2 m/s, foi construído um teto falso com defletores de ar, conforme a norma NBR 12863, conforme se observa na **Foto N°4 do Apêndice G**.

Para manter a temperatura interior durante os ensaios, a câmara foi isolada termicamente nas paredes e teto, utilizando duas camadas de poliestireno expandido e espuma de poliuretano de $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{4}$ de polegada, respectivamente.

A câmara foi equipada com dois sistemas compensadores de temperatura, a fim de adequar as condições experimentais dos ensaios. Para aquecimento, utilizou-se um conjunto de três resistências aletadas de 1500 W cada (RST01), instaladas na parte superior da câmara em contato com uma corrente de ar forçado.

O resfriamento da câmara foi gerado por um condicionador de ar (ACD01) de 15000 BTU/h, montado exteriormente e conectado à câmara por uma tubulação de alumínio de 150 mm de diâmetro isolada termicamente com espuma de poliuretano. Um esquema da câmara de ensaios é mostrado na **Figura 3.3**.

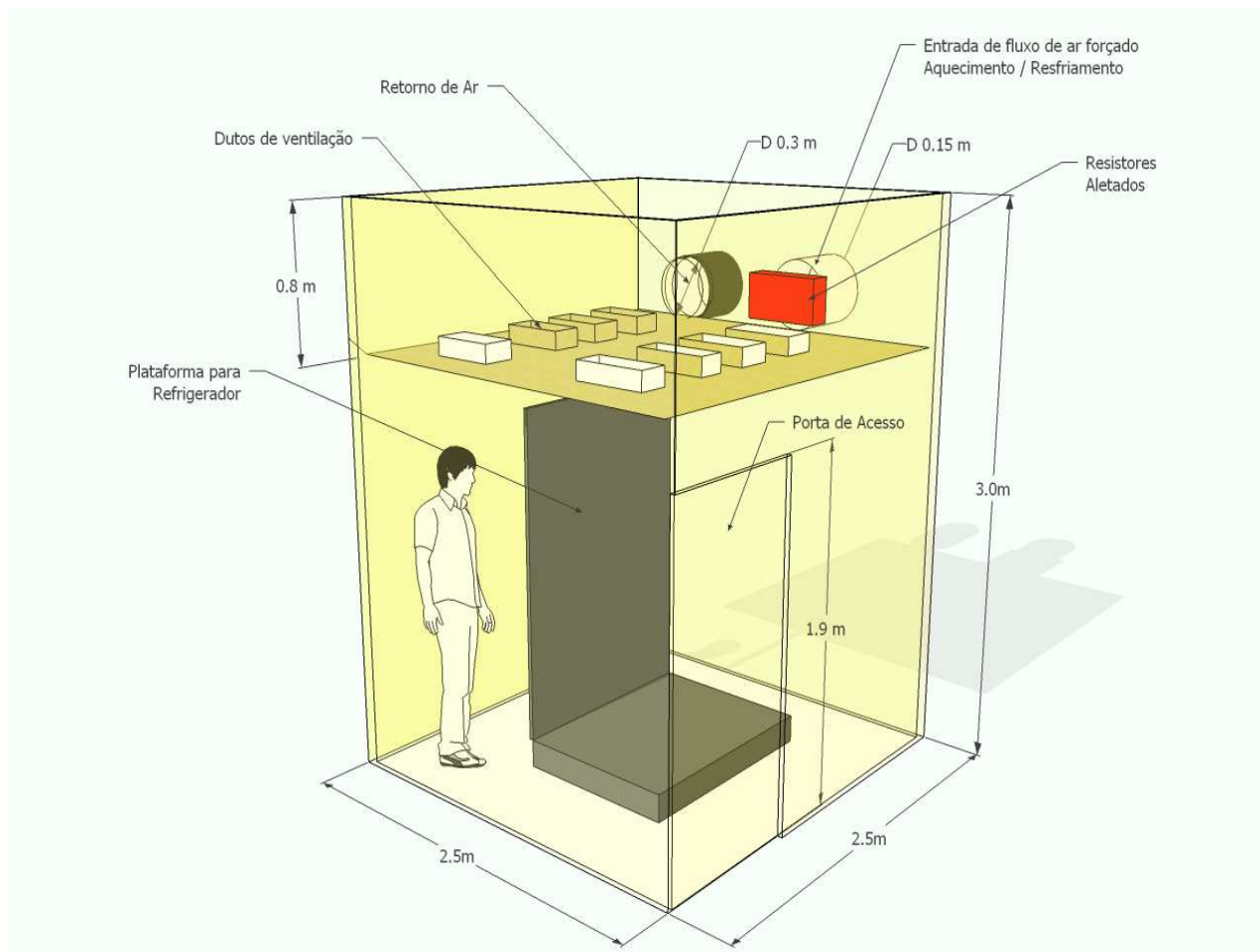


Figura 3.3: Câmara de testes estruturada segundo Norma NBR 12863.

3.1.2 Refrigerador

O Estudo experimental foi desenvolvido num refrigerador domestico (GBT01) da marca BRASTEMP® modelo Duplex 440®. Suas características são apresentadas na **Tabela 3.4**.

Tabela 3.4: Configuração do refrigerador doméstico utilizado nos testes.

Item	Caraterísticas
Compressor ⁶	Embraco VEGY 7H®
Controle	Embraco VCC3 Electronic Inverter®
Refrigerante	R134a
Volume total de armazenagem	423 L
Volume do compartimento congelador	85 L
Volume do compartimento conservador	338 L
Nº portas	2
Nº Compartimentos	6
Controle	Termostato digital INCONTROL® G92 -50
Ano de Fabricação	a +99 °C 1998

Embora o compressor original tenha sido substituído pelo VCC3 com controle de capacidade variável, interligou-se a lógica ON-OFF para assemelhar-se ao equipamento inicial e convencional.

3.1.3 Dispositivo de condensação evaporativa (DCE)

O dispositivo desenvolvido (DCE001) consiste de uma estrutura hidráulica de distribuição de água sobre o condensador, alimentado por um recipiente retangular de 130x155x450 mm, construído em plástico acrílico de 3 mm de espessura e 8 litros de volume. O reservatório foi fixado na parte posterior e inferior do gabinete, abaixo do condensador (CDS001) tendo a função de reservatório de água (RSV001).

Adicionalmente foi instalada uma bomba hidráulica submersa ATMAN®, modelo AT-010 de 1,2 L/h de vazão máxima e 1200 mm de recalque (BSB001), que desloca a água do reservatório por meio de uma tubulação vertical de silicone e diâmetro interno de

⁶O compressor original do gabinete foi substituído pelo Embraco VEGY7H®, 115-127 V, 53-150 Hz, 380-1070 BTU/h, 111-270 W, 96-314 kcal/h. (<http://www.embraco.com/vccmodels>)

19,0 mm até o topo do condensador e outra horizontal de PVC e 12,7 mm de diâmetro interno. A tubulação horizontal apresenta 37 orifícios distribuídos proporcionalmente e separação de 150 mm no comprimento, para oferecer um fluxo contínuo descendente de água em toda a superfície do condensador.

O fluxo de água no condensador cria uma cortina úmida em contato direto com a serpentina de cobre do condensador, substituindo o ar como meio de transferência de calor para a condensação convencional por água em evaporação.

O fluido refrigerante troca calor por convecção com a serpentina e rejeita calor à atmosfera por evaporação da água. Assim ocorre a diminuição da temperatura de condensação, pela troca de calor com a água resfriada, próxima a temperatura de bulbo úmido, uma ilustração do sistema em funcionamento é apresentada na **Foto N°11 do Apêndice G**.

Os detalhes do condensador evaporativo (DCE01) proposto são mostrados na **Figura 3.4**.

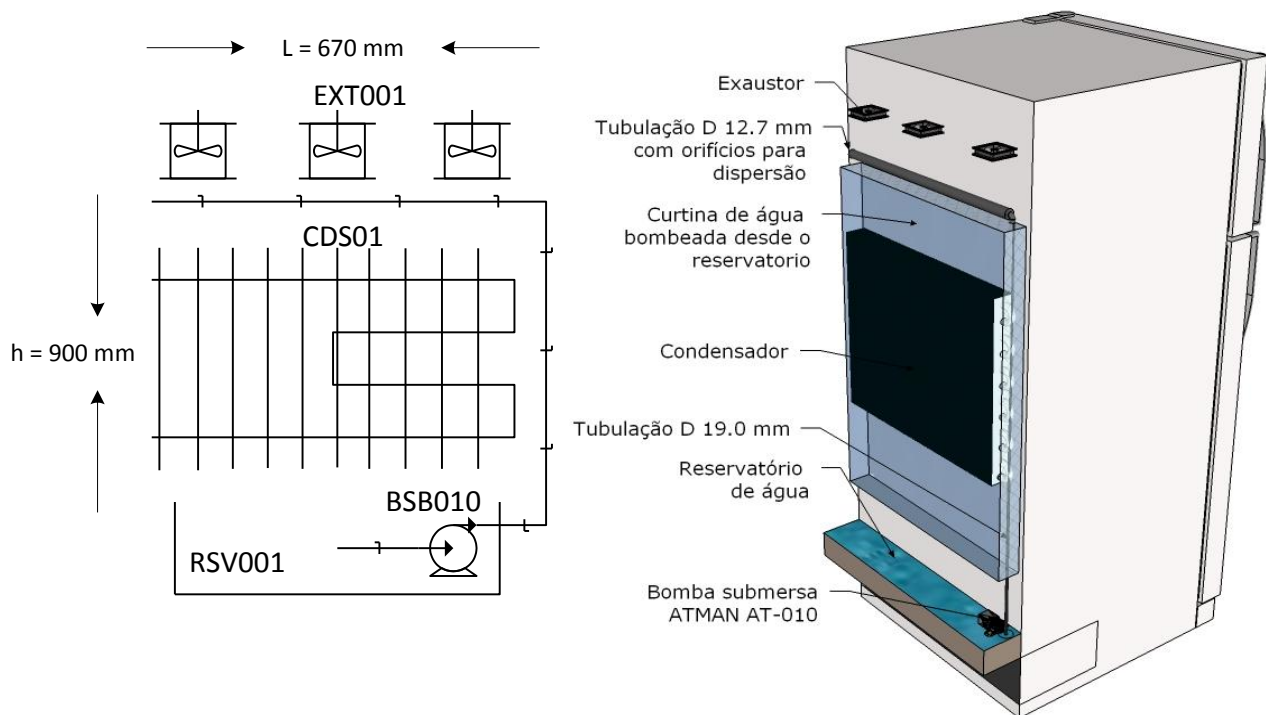


Figura 3.4: Condensador evaporativo montado na estrutura do refrigerador.

Durante o funcionamento do dispositivo, transferências de calor e massa acontecem simultaneamente desde a camada de água em contato com a serpentina e o ar circundante. HWANG et al. (2009) explica que estes processos são altamente influenciados pela velocidade do ar circundante e pela umidade relativa do mesmo.

Considerando este comportamento, a umidade relativa foi monitorada dentro da câmara, e para promover uma corrente de ar forçado no condensador, foram instalados três exaustores (EXT001) na parte superior do gabinete. As dimensões de cada exaustor são 80 x 80 x 25 mm e fornecem um fluxo total de ar vertical de 49 cm³/h a 2500 rpm, a uma potência de 10 W cada, conforme se observa na **Foto N°12 do Apêndice G**.

O conjunto de bomba e exaustores foi conectado à alimentação elétrica do compressor, (CPS01) de maneira que seja ativado em função do compressor.

3.2 Instrumentação do Sistema

A câmara foi equipada com sistemas compensadores de resfriamento e aquecimento, além de sensores de temperatura e umidade relativa seguindo os requerimentos da norma NBR12863 (Câmara de ensaios para refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico – construção e controle).

No refrigerador equipado com o DCE, foram instalados sensores de temperatura, pressão e um transdutor de corrente para medir o consumo de energia, conforme mostrado na **Figura 3.1**.

A instrumentação do sistema utilizou sinais analógicos para o processamento das informações originadas das variáveis físicas, a partir das quais foi possível controlar e monitorar o comportamento do DCE. A seguir, descreve-se a instrumentação de todo o sistema.

3.2.1. Controle de temperatura na da câmara.

A câmara de testes foi dotada de um sistema de aquecimento composto por um conjunto de três resistências aletadas retangulares para ar (RST01) da marca ENGETHERM® de 1000 W cada uma, utilizadas para elevar a temperatura interior da

câmara e mantê-la constante durante os ensaios, controlada com controle ON-OFF pelo CLP.

Para o resfriamento do ambiente utilizou-se um aparelho de ar condicionado (ACD01) da marca SPRINGER® de 15.000 BTU/h modificado para poder acionar o compressor e/ou o ventilador (VTL01) individualmente. A sucção de ar e a descarga (ar resfriado) do condicionador de ar foram separadas e isoladas termicamente para aproveitar cada efeito em separado. A montagem estrutural deste sistema foi externa, de maneira que foi necessário utilizar tubulações de alumínio na entrada e saída do equipamento para a conexão com a câmara. Uma ilustração da montagem é apresentada a seguir na Figura 3.5

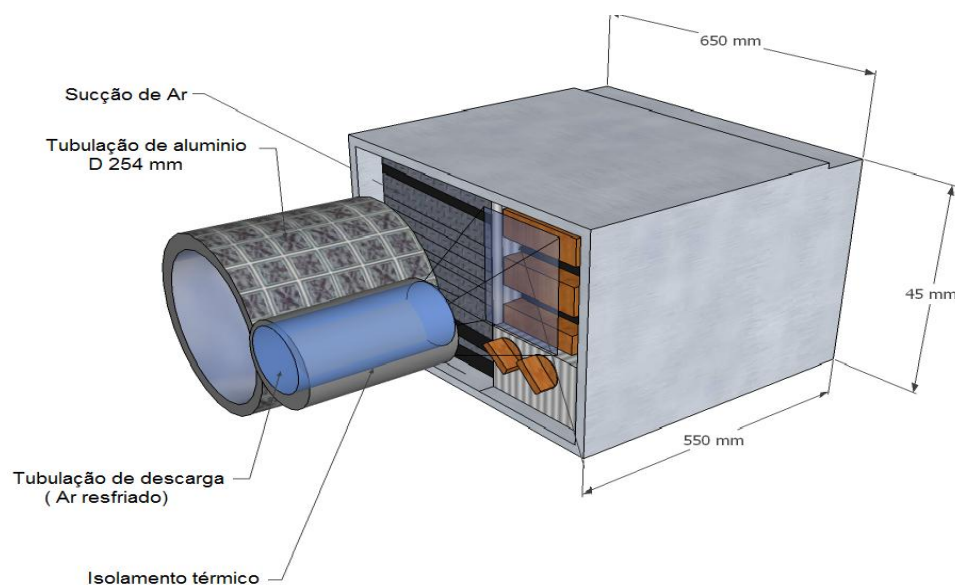


Figura 3.5. Acondicionador de ar SPRINGER® modificado na sucção e descarga utilizado para resfriamento da câmara.

O sistema de ar condicionado e as resistências elétricas foram acionados por meio de comandos eletrônicos em duas chaves contadoras (CCT01) e (CCT02), normalmente abertas bifásicas da marca WEG® modelo CWM9-10-30V26 bobina de 220 Vac. O comando das mesmas foi programado no controlador lógico (CLP01) programável MCI02-QC® da marca HI TECNOLOGIA®.

3.2.2. Elementos primários de temperatura.

Para a monitoração da temperatura interior na câmara, utilizou-se 16 elementos primários de temperatura, dos quais 14 foram termopares tipo T ((+) cobre (-) constantan) com tolerância da junção a 0°C de $\pm 0,5$ °C e dois Pt100 classe A (3 fios) com isolamento cerâmico e precisão de $0,15 + 0,002(t)$ °C. (KRESS-ROGERS; BRIMELOW, 2001, p.90, tradução nossa).

Os sensores de temperatura foram calibrados, utilizando um banho termostático com uma solução de propileno glicol 37% (p/p), ajustado para trabalhar na faixa de -20 a 90 °C. As medições foram feitas em intervalos de 5 e 10°C. As temperaturas obtidas pelos sensores foram comparadas com um termômetro padrão de mercúrio marca Incoterm®, precisão de 0,05 °C escala -30 a +50 °C, segundo a metodologia descrita por Ismail K.A.R. (2003). Os dados foram tratados numa planilha de Microsoft Excel® graficando-se a temperatura lida no sensor versus a temperatura indicada pelo termômetro padrão.

As temperaturas no circuito de refrigeração foram obtidas por contato direto do sensor de temperatura com as paredes da tubulação, o qual foi isolado termicamente do meio ambiente, considerando-se aproximadas as temperaturas do centro e da superfície da tubulação do sistema de refrigeração, desde que o erro da medida seja de menor importância quando a condutância do sólido é alta em comparação com a condutância do sensor (ISMAIL K.A.R. 2003, p. 342).

Os sensores de temperatura utilizaram transmissores marca Novus modelo TxRAIL® como interface com o CLP, conforme se observa na **Foto N°9 do Apêndice G**. O TxRail® tem entrada programável para termopares tipo T, e Pt100 a dois ou três fios, e tensão de 0 a 50 mV. A saída é de 4 a 20 mA a 2 fios. A ligação do transmissor e sua configuração do mesmo são mostradas a seguir na **Figura 3.6**.

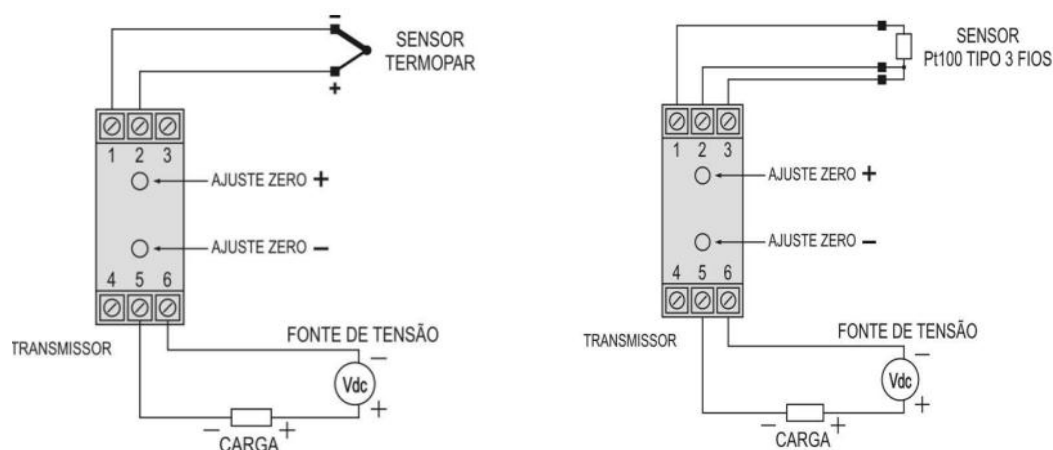


Figura 3.6: Ligação dos sensores de temperatura no transmissor TxRAIL®.(Adaptado do <http://novus.com.br>)

Depois de ligar os termopares, é necessário realizar um ajuste nos transmissores de temperatura, configurando o tipo de sensor utilizado e a faixa de medição. Para esse fim, utilizou-se o programa TxConfig® fornecido pelo fabricante.

O TxConfig® possui uma interface e de fácil manejo para o usuário. Após escolher o tipo de sensor, escolhe-se os limites inferior e superior da faixa de medida e salva a configuração escolhida no transmissor. Este procedimento foi aplicado nos 16 sensores. Uma ilustração da tela inicial do TxConfig® é apresentada na pagina seguinte.

3.2.3. Sensores de umidade relativa

Além dos sensores de temperatura, foram instalados dois sensores (HT001) e (HT002) marca ECI modelo RH2®, para monitorar a umidade relativa interior na câmara durante os ensaios.

Os sensores RH2® permitem leituras de umidade desde 0 a 100%, calibrados em fábrica. Utilizam uma saída de 4 a 20 mA compatível com os módulos AIM utilizados.

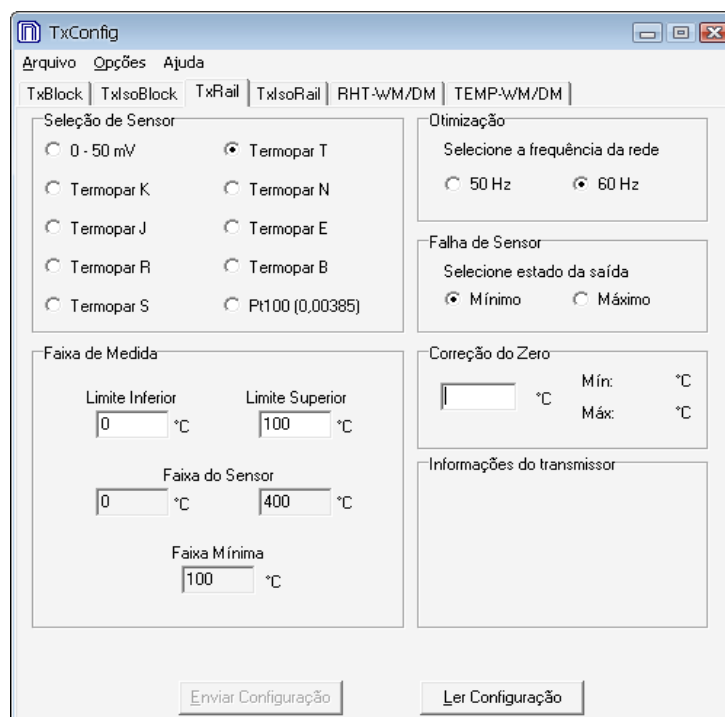


Figura 3.7. Tela de configuração do programa TxConfig®, utilizado para ajuste dos transmissores de temperatura TxRail®.

Depois de calibrados, os sensores de umidade foram conectados no modulo AIM230 N°2 / Sub-bastidor N°2 do CLP, conforme **Figura 3.8**.

CLP MCI02-QC							
	CPU	RDM 216	AIM 230	AIM 230	AIM 230	AIM 230	AIM 230
		1	2	3	1	2	3
FONTE							
		SUB-BASTIDOR 1			SUB-BASTIDOR 2		

Figura 3.8. Esquema de distribuição de módulos no controlador MCI02-QC.

3.2.4. Sensores de pressão

A pressão, além da temperatura, é uma grandeza muito importante a ser considerada na avaliação do DCE referente ao ciclo de refrigeração; é por isso que, para

monitorar a linha de descarga e sucção no compressor, foram instalados dois transmissores de pressão piezoresistivos marca RSV, modelo TPI-PRESS, (PT1) e (PT2).

Os transmissores apresentam invólucro e diafragma em aço Inox, garantindo sua aplicação com o fluido refrigerante, além de utilizar saída de 4-20 mA, calibrada em fábrica e compatível com a entrada do CLP. A faixa de medição selecionada foi 0 a 25 bar manométrica.

Para conectar os transmissores na linha de pressão, se utilizaram válvulas perfuradoras para tubos de cobre de 1/4 até 5/16 polegada, adaptadas no transmissor com um niple de redução 1/2 x 1/4 polegada com rosca NPT.

Para o monitoramento e coleta de dados os transmissores de pressão foram conectados no modulo AIM230 N°2 / sub-bastidor N°2 do CLP.

3.2.5. Transdutor de corrente

O consumo de energia elétrica do sistema é um parâmetro decisivo na avaliação do DCE. Para esse fim foi instalado um transdutor de corrente marca Hartmann&Braun, modelo TNI (TDC001), ligado na alimentação do compressor e dos motores do DCE. O transdutor apresenta entrada de 0 – 5 A e saída de 0 – 5 mA, DC.

Como a saída do transdutor não era compatível com nenhuma das opções de configuração de entrada do modulo de entrada, foi necessário instalar uma resistência de 1 kΩ, que seguindo a lei de ohm, conectada em série, resultará num valor de tensão em Volts, proporcional ao sinal de corrente. Esta ligação do transdutor com o modulo AIM230 do CLP, se amostra na pagina seguinte na **Figura 3.9**

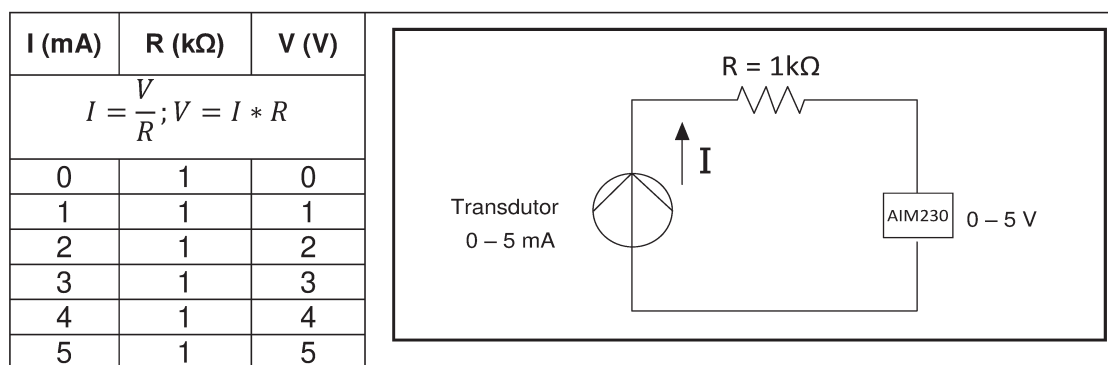


Figura 3.9: Esquema de ligação elétrica do transdutor utilizando uma resistência de 1KΩ.

Adicionalmente o módulo de entrada foi configurado para receber leituras de tensão de 0 -5 V DC e deste modo pode fazer coincidir as duas escalas. Com essa modificação a leitura final será um valor de tensão numericamente igual ao valor de corrente, enviado pelo transdutor.

3.3 Configuração do Software

Depois da instalação física dos equipamentos no conjunto experimental, foi preciso configurar o software a ser utilizado para monitorar e controlar o sistema.

O MCI02-QC® foi o elemento de controle utilizado em todos os ensaios e se caracteriza por ser um controlador industrial de médio porte, indicado para processos e máquinas com até 369 pontos de entrada e saída. As especificações técnicas do MCI02-QC, estão detalhadas no **Anexo 1**.

Uma vez que o CLP utilizado nos ensaios foi o MCI02-QC®, utilizou-se o software SPDSW de configuração , fornecido pela empresa HI -TECNOLOGIA LTDA.

O monitoramento do sistema foi planejado considerando três passos gerais.

1. Implementação física do controlador e de suas interfaces com o processo;
2. Definição da função lógica a ser programada;
3. Transformação desta função em programa assimilável pelo CLP.

A montagem física do conjunto inclui a configuração da interface utilizada para conexão com o controlador. Vários tipos de módulos de (E/S) foram utilizados para esse fim. O endereçamento dos módulos de (E/S) para a utilização simultânea de várias placas no controlador é especificada através de três “straps” na superfície de cada placa, identificados com S1, S2 e S3, segundo o manual do fabricante. A tabela 3.5;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** mostra a configuração do controlador proposta e os módulos utilizados:

Tabela 3.5 Estruturação do controlador MCI02-QC.

CONTROLADOR MCI02-QC						
MODULO	SUB-BASTIDOR 1				SUB-BASTIDOR 2	
	RDM216		AIM230	AIM230	AIM230	AIM230
CANAIS	0	8	0	8	16	24
	1	9	1	9	17	25
	2	10	2	10	18	26
	3	11	3	11	19	27
	4	12	4	12	20	28
	5	13	5	13	21	29
	6	14	6	14	22	30
	7	15	7	15	23	31

Os módulos AIM230 disponibilizam oito canais de entrada analógicos independentes, de 12 bits, com possibilidade de configuração das entradas para operar com vários padrões de sinais de instrumentação. Este tipo de modulo foi utilizado para as medições de temperatura, pressão e umidade relativa no sistema.

Para a monitoração da temperatura utilizou-se o segundo e terceiro modulo do sub-bastidor 1, ligando os transmissores de temperatura nos 16 canais de entrada. A interação dos elementos utilizados na coleta de dados de temperatura é esquematizada na Figura 3.10 a seguir.

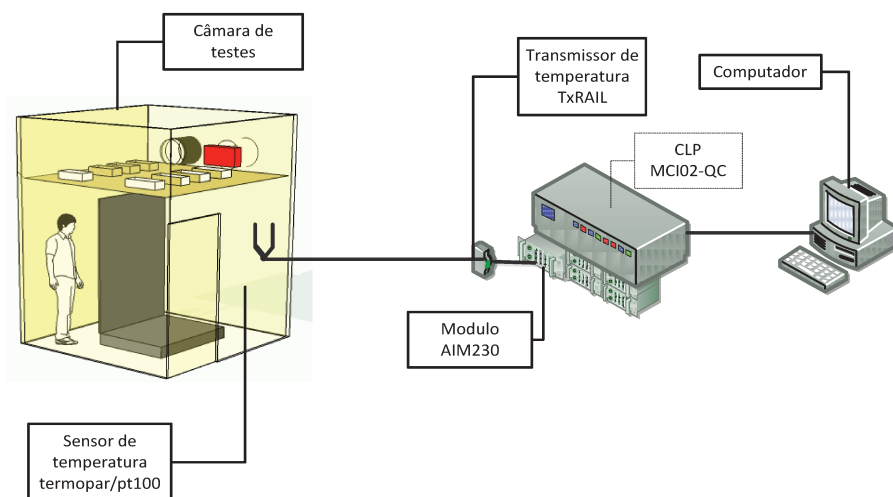


Figura 3.10: Principais elementos utilizados na coleta de temperaturas na câmara de testes.

Seguidamente, o sinal de entrada dos módulos foi configurado para leitura de corrente elétrica de 4 a 20 mA, utilizando os “jumpers” da placa. O cabo de conexão com os transmissores foi configurado, segundo as 18 vias do código de cor especificado no descritivo funcional do fabricante.

O endereçamento das entradas analógicas provenientes dos transmissores de temperatura se amostra no **Apêndice B-2**.

Além disso, foi instalado um módulo RDM 216 para atuar nos sistemas compensadores de temperatura da câmara (RST001) e (ACD001). O módulo RDM216 incorpora ao controlador a capacidade de atuação em dispositivos, através de contatos de reles (contato seco). Possui 16 canais de saída digitais, sendo que cada canal comanda um relé independente com um contato normalmente aberto (NA). A alimentação dos reles é gerada internamente pelo controlador que possui capacidade para alimentar a etapa de saída (reles) de até 5 módulos RDM216. A potência e tensão máxima de chaveamento é de 60 W e 250 VAC, respectivamente. A especificação técnica detalhada deste módulo se encontra no **Anexo 2**. A montagem do módulo RDM216, assim como o endereçamento utilizado para os dois sistemas compensadores são mostrados na **Tabela 3.6**

Tabela 3.6: Configuração e endereçamento do módulo RDM216.

CLP	SUB-BASTIDOR	Nº MODULO RDM216	CÓDIGO DE COR CABO RDM216	ENDEREÇAMENTO MODULO	TAG	Equipamento
MCI02-	1	1	Laranja	-CH00	O-0	Resistências
QC			Cinza/amarelo	-CH15	O-15	Ar cond.

Igualmente para a monitoração dos transmissores de pressão, umidade relativa e o transdutor de corrente, utilizou-se dois módulos AIM230 do sub-bastidor 2, mostrados na Foto N°10 do **Apêndice G** mostrados na foto N° 10 do apêndice H. O módulo N°2 foi configurado para leitura de corrente de 4 a 20 mA, de acordo com as saídas dos sensores utilizados, e o módulo N°1 foi configurado para leitura de tensão de 0 – 5 V para poder receber o sinal modificado do transdutor de corrente. A configuração destes elementos estão mostrados na **Tabela 3.7**

Tabela 3.7: Entradas analógicas configuradas para sensores de pressão, umidade relativa e transdutor de corrente.

CLP	SUB-BASTIDOR	Nº MODULO AIM230	CÓDIGO DE COR CABO AIM230	ENDEREÇAMENTO MODULO	TAG	TIPO DE SENSOR
		1 ^a				
MCI02-QC	2	2	Vermelho	AICH0	E-16	Transd. Corrente
			Vermelho	AICH0	E-24	Trans. Umidade
			Laranja	AICH1	E-25	Trans. Umidade
			Amarelo	AICH2	E-26	Trans. Pressão
			Verde	AICH3	E-27	Trans. Pressão

Legenda: ^a Este modulo foi configurado para ler tensão de 0 a 5 V, conforme a ligação elétrica do transdutor.

Visto que a montagem física do conjunto foi completada com sucesso, passou-se a definir as funções lógicas e a interpretação das mesmas no software SPDSW.

O SPDSW versão 1.1.5.4 é o ambiente de software desenvolvido para a configuração, programação, depuração e supervisão dos controladores da empresa HI TECNOLOGIA. Integrado em um único aplicativo, o SPDSW tem interface Windows® e acesso aos controladores via porta serial RS232-C padrão, oferece todos os recursos encontrados nos pacotes de programação para PLC's de grande porte, incluindo depuração, monitoramento on-line de variável e completa integração com as IHM's (Interfaces homem máquina) da HI -TECNOLOGIA.

Inicialmente, identificou-se e selecionou-se o modelo de controlador na tela de configuração do programa. O programa atribui um número de estação de 0 a 250 para identificar ao controlador. Posteriormente especificou-se o número de sub-bastidores e módulos de (E/S) instalados. Como já foi explicado anteriormente, a configuração do controlador selecionada para os ensaios, considerou um modulo RDM216 e quatro módulos AIM230, além de uma fonte de alimentação UPS 1090-3 de 24V/5A.

Para configurar e programar as aplicações, o SPDSW utiliza a linguagem Ladder, caracterizada por um conjunto de blocos funcionais disponíveis. Os blocos funcionais são capazes de trocar dados através das conexões de software e podem conter declarações de variáveis globais, as quais podem ser acessíveis através do uso de variáveis externas.

As leituras dos sinais de saída dos sensores de temperatura foram colocadas em memórias reais, utilizando blocos de movimentação no editor Ladder do programa. Com isto foi possível utilizar os blocos de operações matemáticas para introduzir as equações obtidas do processo de calibração para cada um dos valores de temperatura registrados em campo, ainda foi possível criar as equações de interpolação para os valores intermediários da escala do transmissor de temperatura (0 a 100) em função da escala do modulo AIM230 de 12 bits (0 a 4095), de acordo com a equação de interpolação lineal:

$$f(x) = f(X_o) + \frac{f(X_1) - f(X_o)}{X_1 - X_o} \cdot (X - X_o) \quad (3.1)$$

O mesmo procedimento foi seguido para os sinais dos sensores de pressão e umidade relativa. O transdutor de corrente não foi calibrado, porém foram realizadas medições em diferentes equipamentos eletrônicos com valores de consumo de corrente conhecido para comparar e validar as medições.

A descrição detalhada das operações com os blocos de movimentação de memórias e de operações matemáticas realizadas, utilizando os blocos funcionais se encontra no **Apêndice H**.

Com os valores de temperatura, pressão, umidade relativa e corrente calibrados e depositados em memórias reais, elaborou-se uma tabela resumo com as memórias relacionadas aos TAGS criados na codificação do conjunto, esta tabela servirá para configurar os gráficos de monitoração e criação de históricos no software HILOG®.

O software HILOG® é um datalogger (coletor de dados) para gerenciamento de dados históricos, integrado à linha do controlador MCI02-QC®. Permite salvar históricos de dados de até 16 variáveis de tipo real, configuradas pelo usuário. Ainda permite visualizar o comportamento das variáveis em tempo real através de gráficos de monitoração.

3.4 Ensaios com a câmara de testes

3.4.1 Teste de resfriamento e monitoração da temperatura e umidade relativa

Foi necessário provar o funcionamento dos sistemas compensadores de temperatura dentro da câmara, para garantir condições estáveis durante todos os ensaios. Com esse propósito utilizou-se o editor Ladder para criar um bloco de controle (ON/OFF) no relê (O-0) da chave contatora (CCT002) do sistema de resfriamento (ACD001) da câmara. O relê foi atuado desde o controlador, em função de um bloco de comparação entre a temperatura lida no sensor (TE009) e um valor fixo de temperatura ajustado em $24 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$. Assim a variável manipulada, ou seja, o sistema de resfriamento, foi acionado quando a temperatura interior fosse maior a $25,5^{\circ}\text{C}$ e desligado quando a temperatura interior da câmara atingisse um valor menor a $22,5^{\circ}\text{C}$. Dessa maneira a temperatura permaneceu oscilando em torno ao “set point” estabelecido. A programação do bloco de comparação no editor Ladder encontra-se detalhada no **Apêndice H**.

Com o “set point” de temperatura ajustado em 24°C e o sistema funcionando, procedeu-se a testar o resfriamento, monitorando a temperatura interior e exterior durante um tempo de 24 horas, assim como a umidade relativa dentro da câmara. O objetivo do ensaio foi provar a capacidade do sistema compensador de manter a temperatura na câmara num valor estável durante longos períodos de tempo, já que esta característica foi imprescindível nos ensaios com o DCE. Ainda foi possível testar o funcionamento dos sensores de temperatura e umidade instalados no conjunto.

3.4.2 Teste de aquecimento e monitoração do consumo de corrente elétrica.

Igualmente, para testar o sistema de aquecimento (RST001), criou-se um bloco de controle (ON/OFF) no rele (0 -15) da chave contatora (CCT001), atuando em função do bloco de comparação entre a temperatura interior da câmara e o “set point” de temperatura fixado em $32 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$. A temperatura interior da câmara deve se manter oscilando em torno deste valor, independentemente das mudanças de temperatura no exterior. O comportamento da temperatura interior e a temperatura fora da câmara foram monitorados e salvos num histórico durante 24 horas, para posterior análise. A programação deste ensaio no editor Ladder encontra-se detalhada no **Apêndice H**.

Além de testar o sistema de aquecimento, este ensaio foi utilizado para ligar o transdutor de corrente (TDC001) nas resistências (RST001) e assim monitorar o consumo de corrente elétrica das mesmas, durante 24 horas. Desta maneira confirmou-se o funcionamento do transdutor como instrumento de medição indireta do consumo de energia do sistema, pois este instrumento foi utilizado para a medição de potência durante os testes com o DCE como descrito no item (3.5).

3.5 Testes com o dispositivo de condensação evaporativa (DCE).

Finalizados os testes preliminares para avaliar funcionamento da bancada experimental, incluindo os sistemas de monitoração e coleta de dados, deu-se início aos ensaios com o DCE desenvolvido.

Antes de iniciar ensaios com o refrigerador, este permaneceu ligado por um período de 3 dias sem carga térmica e 3 dias com carga térmica (pacotes térmicos) para assegurar um funcionamento perfeito de sua parte mecânica e de seus controles elétricos, chamado período de amaciamento.

Recomenda-se que este período seja de uma semana sendo que em nenhum caso o compressor deve ficar ligado menos que 24 horas, antes do ensaio, segundo norma (NBR 8888). Este período de funcionamento se deu a temperatura ambiente.

A preparação do refrigerador ainda atendeu às seguintes recomendações específicas. As formas de gelo e bandejas foram colocadas em seus devidos lugares. Nenhum recipiente tampa ou prateleira de alimentos foi removida; o evaporador foi degelado; as bandejas de gelo e o interior do gabinete foram secos após o período de amaciamento; as portas dos gabinetes permaneceram fechadas durante o ensaio; as fiações dos dispositivos de medida (termostato) e sensores de temperatura (termopares e PT100) foram trazidas para fora do gabinete e vedadas com silicone, de forma a evitar infiltrações de ar.

Para simular a carga térmica dentro do refrigerador foram construídos pacotes de ensaio térmico em forma de paralelepípedos, contendo uma mistura de carboximetilcelulósica, água destilada, cloreto de sódio e inibidor de fungo. Esta solução foi colocada em embalagens de polietileno de alta densidade e papelão. A temperatura de

congelamento desta mistura é de -1°C e suas características equivalem às de carne bovina.

A concentração da mistura assim como as dimensões dos pacotes foram preparadas, conforme as especificações da norma: Preparação de pacotes de ensaio (simuladores de carga térmica) para aplicação em refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico (NBR 12864). A distribuição dos pacotes térmicos e as concentrações de cada tipo de pacote dentro do gabinete são apresentados no **Apêndice F**.

Para os ensaios com DCE, antes de tudo, foi estudado o refrigerador em condições de funcionamento convencionais, em outras palavras, foi testado o sistema de refrigeração com condensação à convecção natural a ar (sem DCE), definindo condições iniciais de temperatura no gabinete e monitorando os parâmetros do ciclo. Estes dados serviram de referência para estudar o mesmo refrigerador nas mesmas condições dos ensaios, porém dotado do dispositivo de condensação evaporativa (DCE).

Os parâmetros do sistema de refrigeração monitorados foram: temperaturas de condensação e evaporação, pressões de descarga e sucção do compressor, temperaturas na entrada e na saída do condensador e consumo de corrente elétrica do compressor.

Como o consumo de energia no refrigerador é um parâmetro essencial na avaliação do DCE, o transdutor de corrente elétrica foi ligado em série à alimentação do compressor e o DCE. Porém foi utilizado um switch na ligação do DCE que permitiu ligar ou desligar o mesmo, segundo o tipo de ensaio. Assim foi possível alternar entre os sistemas de condensação sem desmontar o DCE da estrutura do gabinete.

Também foi avaliado o comportamento das variáveis de processo para as diferentes temperaturas ambientes (temperatura no interior da câmara de ensaio), simulando a temperatura ambiente em diferentes regiões do país. Inicialmente, foi considerada a temperatura ambiente referenciada em norma técnica específica NBR 8888, isto é, 32°C e, posteriormente avaliado o comportamento das variáveis de processo para a temperatura ambiental de 24°C . Ao final do capítulo é apresentada uma sistematização dos ensaios desenvolvidos com e sem o dispositivo de condensação evaporativa.

O termostato original do gabinete foi substituído por um termostato eletrônico, montado no exterior da câmara para facilitar o ajuste de temperatura no gabinete, apenas o sensor de temperatura ficou dentro. O termostato eletrônico tem uma IHM (interface homem maquina) com três botões para fixar o “set point” de temperatura e a tolerância. Durante os ensaios foi possível acompanhar a temperatura interna do gabinete pelo display do termostato e monitorar e registrar as medidas verificar o funcionamento dos sensores colocados dentro do mesmo pelo CLP.

Em todos os ensaios, a monitoração foi iniciada somente quando a temperatura interior do gabinete (TE012) fosse 28 °C. Além disso, somente se iniciaram os testes quando a temperatura interior da câmara (TE009) ficasse estabilizada no valor fixado para cada teste (32 ou 24 °C). Dessa forma se uniformizaram os ensaios, partindo-se sempre das mesmas condições iniciais.

O ventilador (VTL001) foi utilizado em todos os ensaios para garantir uma homogeneização do ar circulante na câmara.

Durante os ensaios, dois Leds (LPD001) e (LPD002) ligados ao compressor e as resistências do sistema de aquecimento indicavam visualmente o funcionamento dos aparelhos, como se amostra na Foto N°7 do **Apêndice G**; assim teve-se mais um sinalizador de monitoração do funcionamento da câmara e do compressor.

Segundo a norma NBR8888/1995 as medições dos parâmetros do sistema de refrigeração devem ser iniciadas apenas depois de 24 horas de funcionamento quando as variáveis do sistema atinjam um regime pseudo-permanente (oscilatório em condição de set point). Porém, para efeito do estudo do comportamento do DCE proposto, o sistema foi monitorado nas 24 horas antes de este período, quer dizer que cada ensaio teve uma duração de 48 horas, contadas a partir do momento que o compressor foi ligado, sendo que as primeiras 24 horas estudou-se o comportamento do sistema em regime transiente, e as 24 horas seguintes estudou-se o sistema quando se encontrava em regime pseudo-permanente. O primeiro período de monitoração foi chamado de “Transiente” para diferenciá-lo do período de monitoração segundo a norma NBR.

Durante os ensaios com o DCE, foi colocado um termopar (TE004) no reservatório de água (RSV001), para acompanhar as mudanças de temperatura durante o funcionamento do dispositivo, ainda foi verificado o nível de água no reservatório e

reabastecido quando fosse necessário com água à mesma temperatura lida no termopar entre os ensaios.

Após cada ensaio, o espaço congelador foi desocupado e seco, conforme a norma NBR 8888. Por outro lado, os pacotes térmicos foram colocados fora do gabinete para que voltassem a temperatura ambiente.

Os históricos de monitoração no programa HILOG foram salvos cada 24 horas, assim como os gráficos das variações controladas.

Os parâmetros de desempenho abordados foram objetos para a análise de comparação, além do consumo de energia elétrica do sistema quando submetido aos ensaios. Os ensaios de comparação foram realizados com as diferentes temperaturas ambientes, mantendo a operação convencional do refrigerador comercial e partindo-se das mesmas condições iniciais.

A sistematização dos ensaios com o sistema de refrigeração utilizando o condensador convencional a ar (CCA) e dispositivo de condensação evaporativa (DCE) são mostrados na **Tabela 3.8**.

3.6 Tratamento de Dados

O histórico de dados salvo no programa HILOG® foi exportado ao Microsoft Excel®, em formato de arquivo CSV, com isso foi possível construir as tabelas comparativas dos ensaios e apresentar o comportamento dos parâmetros de funcionamento por meio de gráficos construídos no programa ORIGIN®, onde poderá ser avaliado o desempenho de cada sistema qualitativamente e quantitativamente.

O consumo de energia do compressor foi monitorado, a fim de estudar a eficiência energética de cada sistema durante 24 horas de operação. Com esse propósito foi construído um gráfico da potência elétrica (em quilowatts) versus o tempo de funcionamento (em horas), para integrar todos os períodos e obter a energia em quilowatts – hora, consumida pelo sistema de refrigeração durante cada ensaio.

O valor do COP do sistema de refrigeração foi calculado considerando valores médios dos dados de pressão e temperatura coletados em regime pseudo-permanente, cujo ciclo frigorífico foi construído com a ajuda do software Coolpack®.

Tabela 3.8: Sistematização dos ensaios realizados com o sistema de refrigeração.

Nº	Ensaio	Descrição	Temperatura do gabinete Termostato eletrônico (°C)	Temperatura Programada Câmara de Ensaio (°C)	Tipo de Condensador	Regime	Período de Ensaio (h)
1	CCA32T	Comportamento do sistema de refrigeração convencional a temperatura controlada de 32°C.	8±1	32	Ar	Transiente	0-24
2	CCA32E		8±1	32	Ar	Pseudo-permanente	24-48
3	CCA24T	Comportamento do sistema de refrigeração convencional a temperatura controlada de 24°C.	8±1	24	Ar	Transiente	0-24
4	CCA24E		8±1	24	Ar	Pseudo-permanente	24-48
5	DCE32T	Comportamento do sistema de refrigeração com DCE ⁷ a temperatura controlada de 32°C.	8±1	32	Evaporativo	Transiente	0-24
6	DCE32E		8±1	32	Evaporativo	Pseudo-permanente	24-48
7	DCE24T	Comportamento do sistema de refrigeração com DCE a temperatura controlada de 24°C.	8±1	24	Evaporativo	Transiente	0-24
8	DCE24E		8±1	24	Evaporativo	Pseudo-permanente	24-48

⁷ DCE: Dispositivo de condensação evaporativa

Capítulo 4 : **Resultados e discussão**

4.1 Resultados da calibração dos sensores de temperatura e umidade relativa.

As equações de calibração dos sensores de temperatura e umidade podem ser conferidas no **Apêndice A1 e A2** respectivamente.

4.2 Resultados da configuração dos sensores de temperatura, umidade relativa, pressão e intensidade de corrente.

A codificação de todos os sensores configurados no programa HILOG, utilizados durante os ensaios encontram-se resumidos no **Apêndice B1**.

4.3 Teste de resfriamento e monitoração de temperatura interna da câmara.

Manter a temperatura interna da câmara num valor fixo, programado no controlador lógico, foi uma condição necessária durante todos os ensaios. Esta condição foi conseguida utilizando os sistemas compensadores de temperatura instalados na câmara.

O teste preliminar de resfriamento serviu para avaliar a capacidade de manter a temperatura da câmara próxima ao valor programado, independentemente das mudanças da temperatura externa, durante o período mínimo de 24 horas. Com um valor de temperatura programado em 25 °C e uma variação de $\pm 1,5$ °C, a temperatura interna se manteve oscilando entorno do valor programado e em nenhum momento ultrapassou os limites estabelecidos no controlador, conforme é mostrado na **Figura 4.1**. A variação da temperatura do meio ambiente externo foi significativa, porém não influenciou na condição fixada no interior da câmara. A estabilidade da temperatura interna da câmara foi mantida durante todo o ensaio, mesmo com diferenças de temperatura externa de até 8°C.

Uma vez que a norma NBR12863 indica que os ensaios de monitoração não devem ser desenvolvidos em períodos de tempo inferiores a 20 horas, a monitoração do sistema foi efetuada durante 24 horas. A umidade relativa no interior da câmara não foi

controlada, pois não se contava com equipamentos adequados para esse fim, entretanto foi monitorada, conforme mostrado na **Figura 4.1**. Todos os dados coletados durante os ensaios foram armazenados no programa HILOG e posteriormente exportados a uma planilha do Microsoft Excel®.

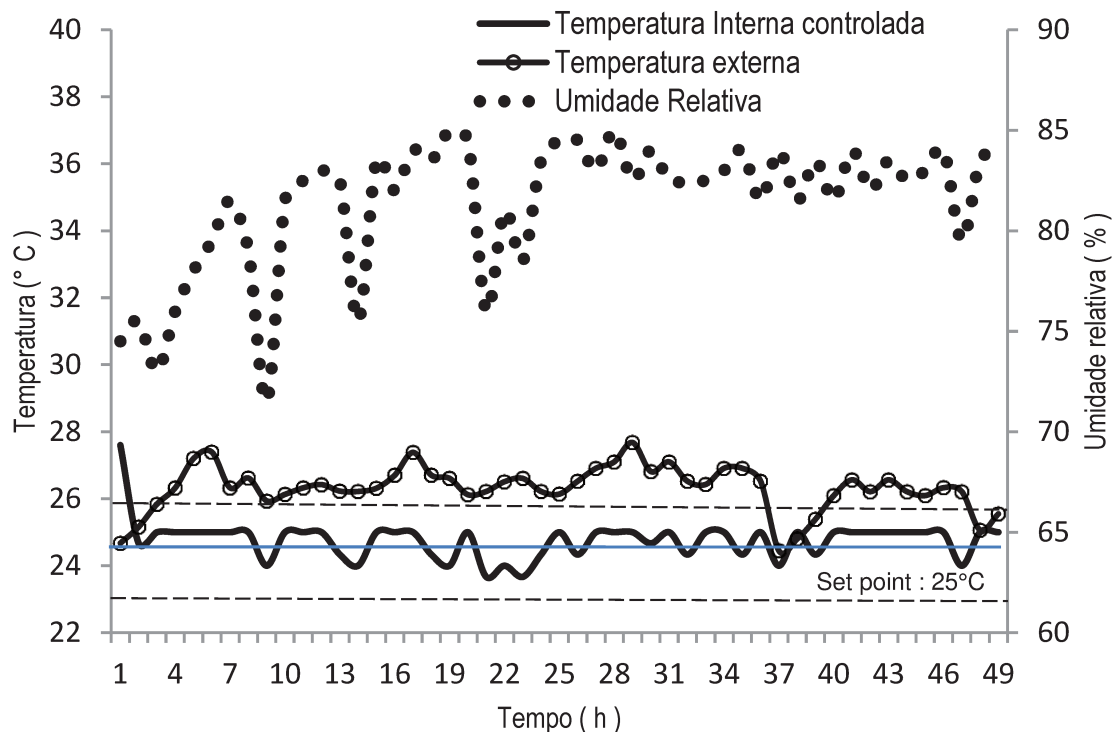


Figura 4.1: Histórico de temperaturas interna, externa e umidade relativa na câmara, durante o ensaio de resfriamento, para temperatura de $25 \pm 1,0$ °C.

4.4 Teste de aquecimento da câmara e monitoração do consumo de corrente elétrica.

O equipamento utilizado para aquecer o interior da câmara foi um conjunto de três resistências elétricas de 1000 W, atuadas por uma chave contatora, comandadas por um controlador lógico programável. O valor da temperatura na câmara, programado para o teste de aquecimento da câmara foi de $32^{\circ} \pm 1,5$ °C. A diferença do ensaio de resfriamento, em relação à esse teste foi o fato de ter sido necessário diminuir a precisão do sistema compensador. Isso foi realizado pois a potência das resistências era muito

alta, e foi observada uma inércia térmica durante os ensaios prévios que diminuía a amplitude e aumentava a velocidade da onda⁸. Uma vez que o período de oscilação da temperatura era menor, o funcionamento (liga/desliga) da chave contatora foi comprometido, chegando a travar a parte mecânica da chave.

A temperatura na câmara se manteve oscilando com uma amplitude de 1,5 °C em torno ao valor programado em 32 °C, como se observa na **Figura 4.2**. Assim da mesma maneira que foi observado no teste de resfriamento, as mudanças na temperatura exterior, não significaram perturbações no valor de temperatura fixado, ao longo das 24 horas de ensaio.

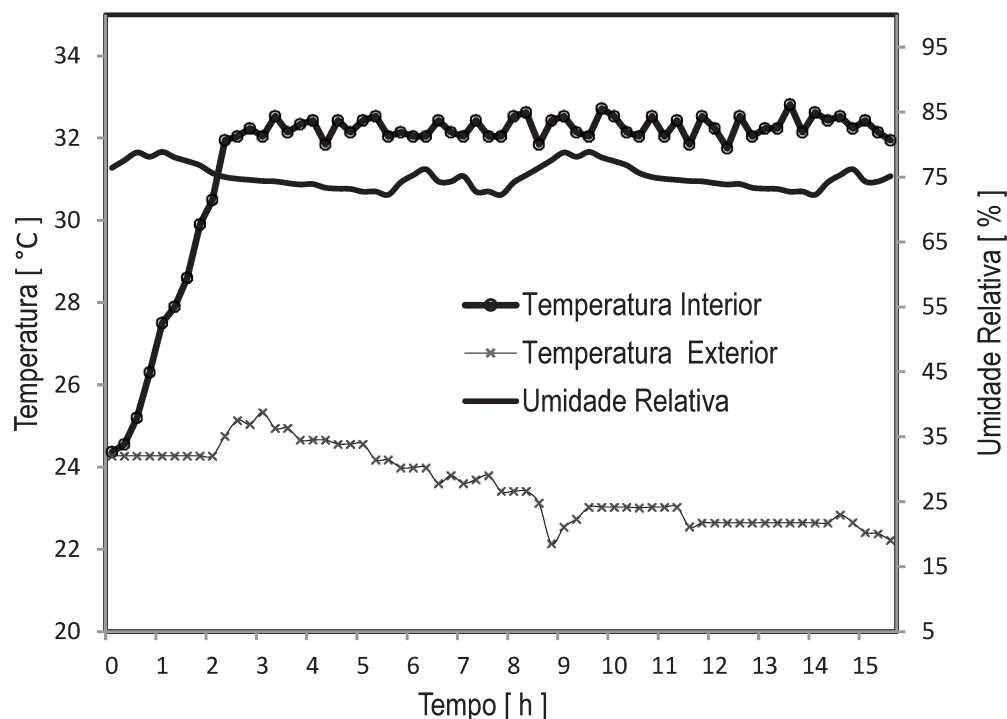


Figura 4.2: Histórico das temperaturas internas e externas da câmara durante o ensaio de aquecimento.

⁸ Considerando um comportamento cíclico na temperatura interna da câmara, a mesma foi tratada como uma perturbação oscilante no espaço e periódica no tempo.

Neste ensaio além de testar o sistema de aquecimento, também utilizou-se um transdutor de corrente conectado ao conjunto de resistências, com o objetivo de monitorar a intensidade de corrente durante o ensaio.

A intensidade de corrente foi monitorada de forma indireta para obtenção da potência elétrica das resistências, uma vez que essa estratégia seria utilizada nos ensaios com o refrigerador doméstico. Os valores de intensidade de corrente em ampères foram coletados num histórico durante 24 horas no programa HILOG, para depois serem exportados para planilha do Microsoft Excel[®]. A potência elétrica (P) em kW, consumida em cada hora de funcionamento das resistências, foi obtida pelo produto da intensidade de corrente (I)⁹ pela tensão da rede elétrica (V). Para este ensaio o valor de tensão foi considerado, após medição constante num valor de 127 V. Dessa maneira, com o valor de potência calculado, foi possível construir um gráfico como se mostra na **Figura 4.3** com o histórico da temperatura e a potência elétrica consumida pelas resistências, para manter a condição de temperatura em 32 °C, durante 24 horas de ensaio.

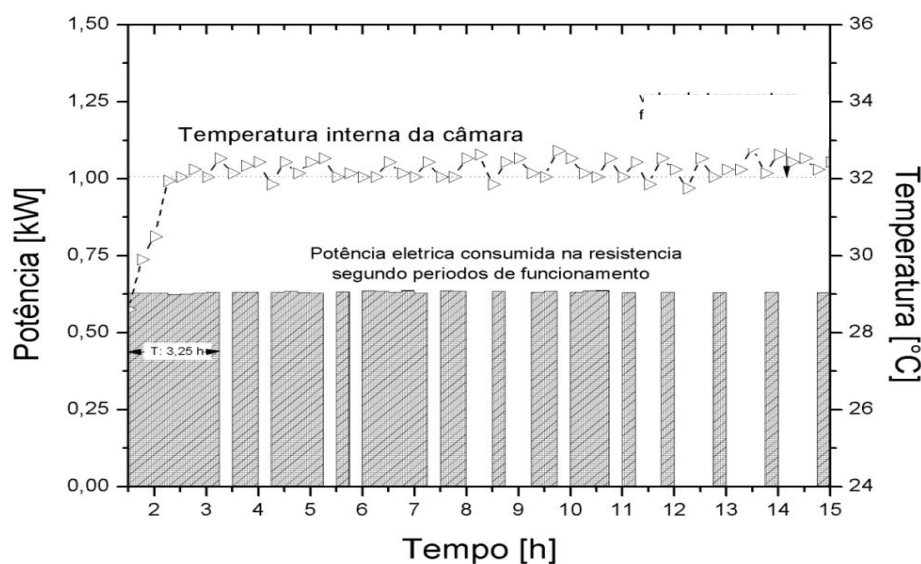


Figura 4.3: Histórico de potência consumida para manter a temperatura interior da câmara em 32°C.

⁹ A intensidade de corrente nas resistências foi fixada em 5 A utilizando um variador de corrente, e dessa maneira possibilitar a leitura do consumo no transdutor de corrente, pois o equipamento utilizado apenas permite leituras de corrente de 0 a 5 A.

A tendência observada no funcionamento das resistências indica que, partindo de uma temperatura ambiente de 28°C, a câmara conseguiu atingir a temperatura de 32°C nas primeiras 3 horas de funcionamento, entretanto, aproximadamente depois de 12 horas a temperatura da câmara entra em regime pseudo-permanente, variando continuamente no tempo, como se observa na **Figura 4.3**. Nesta figura cada barra representa um período de funcionamento.

Esta informação foi utilizada para projetar os ensaios com o refrigerador doméstico, já que a norma NBR 12863, estabelece que a monitoração de parâmetros no refrigerador deve ser iniciada, apenas quando a temperatura da câmara mantiver-se constante.

4.5 Testes com o dispositivo de condensação evaporativa (DCE)

Segundo a sistematização proposta na **Tabela 3.8** do capítulo 3 o programa HILOG, foi configurado para realizar aquisições de dados em intervalos de 30 segundos. O programa além de gerar o histórico, também constrói um gráfico em tempo real, segundo o comportamento dos parâmetros monitorados. Exemplos destes gráficos são mostrados no **Apêndice C**.

Para fins de avaliação dos ciclos, e segundo indica a norma NBR12863, apenas foram considerados os parâmetros monitorados em regime pseudo-permanente, porém o comportamento em regime transiente da temperatura no refrigerador foi registrado para efeitos de comparação com o DCE. Na **Figura N° 4.4** é mostrado o histórico das primeiras 24 horas, quando o sistema ainda estava em regime transiente e em seguida, nas 24 horas posteriores, quando as temperaturas do refrigerador atingiram um regime pseudo-permanente. Os ensaios com o refrigerador em funcionamento convencional e com o DCE foram desenvolvidos em duplicatas para ter uma maior confiabilidade nos resultados. Para uniformizar as condições, todos os ensaios foram iniciados com uma temperatura de 28°C no gabinete e no pacote térmico de referência. A avaliação da eficiência somente foi considerada quando a câmara tivesse atingido a temperatura de ensaio de 24 ou 32 °C, segundo a metodologia proposta no Capítulo 3. Após cada medição aguardou-se um tempo de espera para conseguir que os pacotes térmicos colocados no gabinete, voltassem à temperatura ambiente e assim garantir as mesmas condições iniciais para o teste. O seguinte histórico das temperaturas da câmara, do gabinete e do ciclo de refrigeração, assim como as pressões e potência elétrica foram

tratados numa planilha do Microsoft Excel®, calculando os valores médios para cada hora de teste. Os históricos resumidos para cada um destes parâmetros estão apresentados no **Apêndice E**.

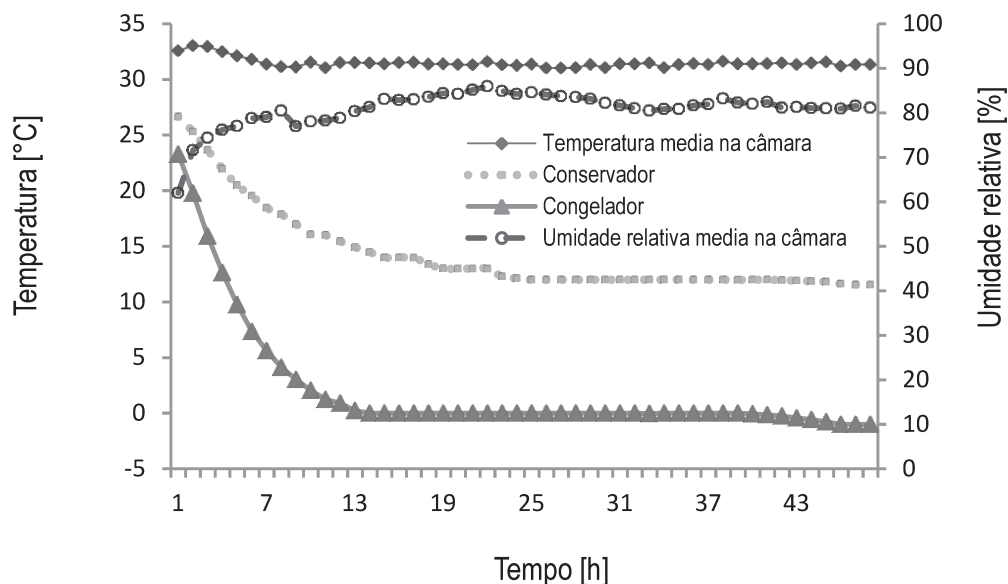


Figura 4.4: Histórico de temperaturas do ensaio com condensador convencional a ar, temperatura programada na câmara: 32°C (1ª Repetição).

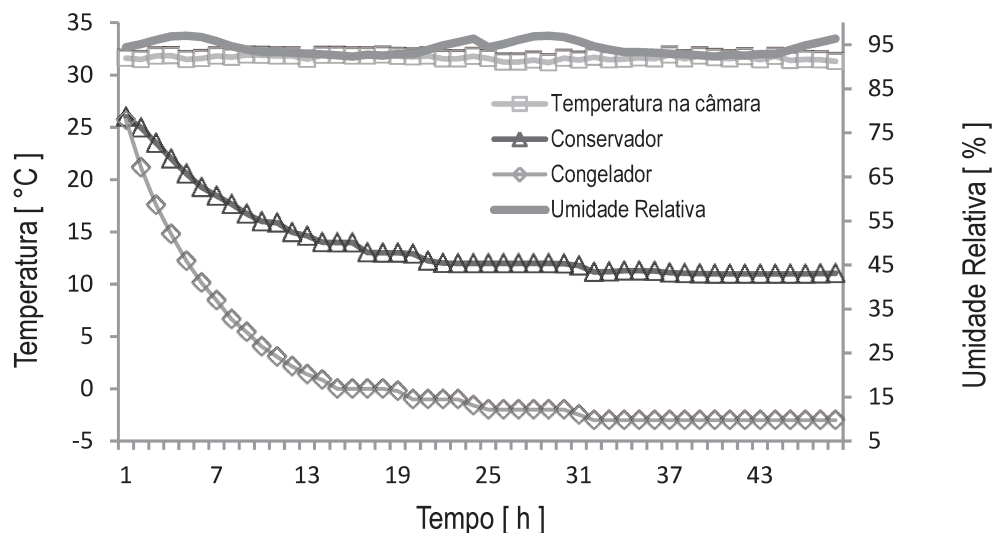


Figura 4.5: Histórico de temperaturas do gabinete e da câmara de ensaio com dispositivo de condensação evaporativa (DCE), temperatura programada na câmara: 32°C (1ª Repetição).

Nas **Figuras 4.4 e 4.5** a temperatura interna do refrigerador (espaço do conservador) decresce desde a temperatura inicial de 28°C até iniciar um regime estacionário próximo à temperatura programada no termostato digital (8 °C).

Observa-se também que a temperatura no espaço do congelador é menor para o refrigerador que utiliza o condensador evaporativo, esse comportamento é observado também na temperatura de condensação quando se comparam os dois ensaios, conforme pode ser observado na **Figura 4.6** a seguir.

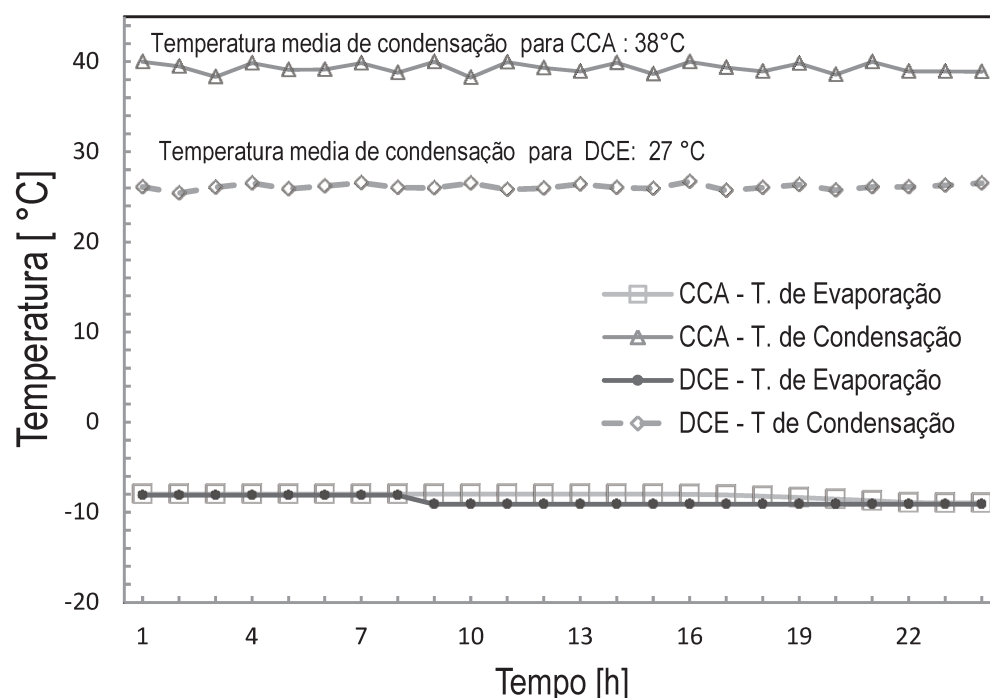


Figura 4.6: Comparação entre a temperatura de condensação do refrigerador utilizando o condensador convencional e o DCE durante o ensaio em regime pseudo-permanente temperatura de 32°C na câmara de ensaio.

Da **Figura 4.6**, pode se observar que o sistema que utiliza condensador evaporativo (DCE) trabalha com uma temperatura de condensação menor que o sistema convencional (CCA), considerando os valores médios para cada ensaio, a diferença de temperatura entre os dois sistemas é de 11 °C. Já as temperaturas de evaporação são muito próximas, sendo que a variação entre os dois sistemas é apenas de 1°C.

A potência média consumida pelo compressor para cada hora de funcionamento durante o período total de ensaio (48 horas), foi menor no sistema dotado do condensador evaporativo, este comportamento é mostrado qualitativamente na **Figura 4.7** a seguir:

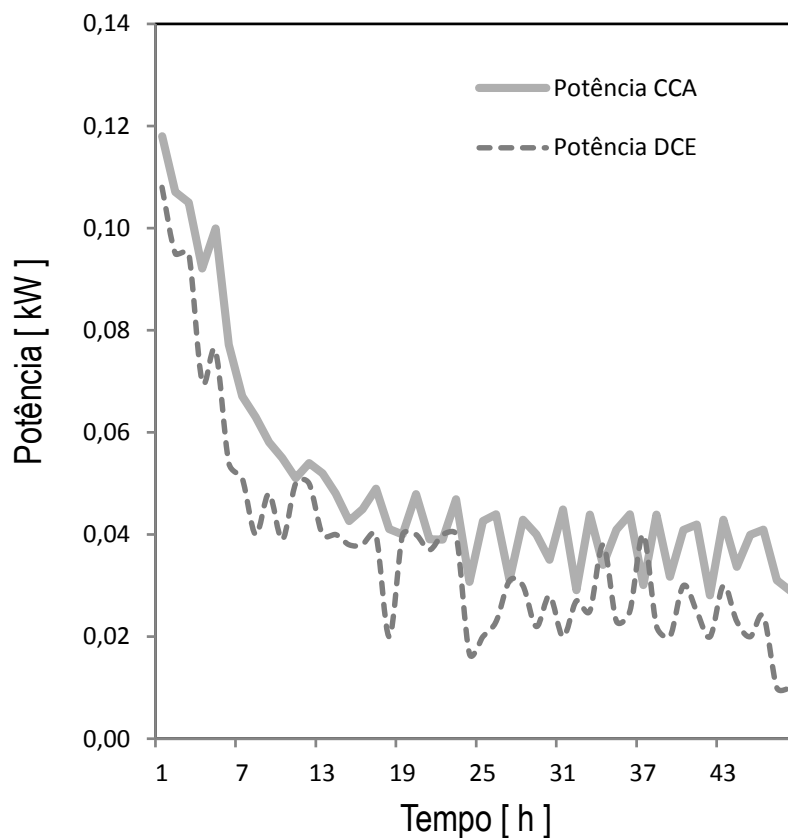


Figura 4.7: Potência média consumida pelo sistema utilizando o condensador convencional e o condensador evaporativo (DCE) durante 48 horas de ensaio.

Uma comparação quantitativa da potência consumida pelos dois sistemas é mostrado na **Tabela 4.4** em função da energia, calculada para 24 horas de funcionamento do refrigerador.

4.6 Resultados dos ensaios no ciclo de refrigeração.

A partir dos dados coletados em cada ensaio, foram calculados os valores médios dos parâmetros monitorados. Na **Tabela 4.1**, é apresentado o resumo dos valores médios experimentais obtidos das repetições de ambos os sistemas: condensador a ar e com DCE, a partir dos históricos mostrados no **Apêndice D**.

Tabela 4.1: Valores experimentais das grandezas dos sistemas de condensação a ar (CCA) e condensado evaporativo (DCE).

Temperatura programada na câmara de ensaios:		32°C		24°C	
Tipo de condensador utilizado		CCA	DCE	CCA	DCE
Parâmetros					
Câmara					
Unidade					
Umidade relativa	%	83,3	93,5	57,0	93,9
Temperatura	°C	31,3	31,5	24,8	24,8
Gabinete					
Temperatura no Conservador	°C	12,2	12,1	10,6	12,2
Temperatura no congelador	°C	-0,1	-3,2	-1,3	-5,2
Temperatura no reservatório de água	°C	-	27,9	-	26,7
Ciclo de Refrigeração					
Temperatura de evaporação	°C	-8,7	-9,3	-7,9	-10,0
Temperatura de condensação	°C	38,8	31,5	38,1	27,2
Temperatura na descarga do compressor	°C	52,0	45,2	40,2	41,7
Temperatura na sucção do compressor	°C	32,2	27,9	27,1	25,6
Pressão de sucção do compressor	bar	2,4	2,0	2,2	1,1
Pressão de descarga do compressor	bar	9,0	7,3	7,1	5,7

Os resultados apresentados na **Tabela 4.1** referem-se apenas aos testes conduzidos no estado pseudo-permanente, porém o total de dados coletados durante toda a monitoração, tanto em regime transiente quanto no regime pseudo-permanente estão apresentados no **Apêndice D**.

Em todos os ensaios experimentais com o DCE, é observada uma diminuição da temperatura de condensação de 8 a 10 °C, em comparação com o ciclo usado como referência. A temperatura ambiente na câmara influi na troca de calor, de maneira que, nos resultados experimentais obtidos, observa-se uma relação diretamente proporcional entre a diminuição da temperatura programada na câmara (24 e 32°C) e a temperatura de condensação.

Uma temperatura de condensação menor resulta numa redução das pressões de operação do ciclo, significando que o sistema tem uma melhora na capacidade de rejeitar calor no condensador. Este comportamento foi mais evidente nos ensaios desenvolvidos à temperatura de 24 °C.

A relação entre a umidade relativa do ar no interior da câmara e a temperatura de condensação é diretamente proporcional, tanto a temperatura ambiente de 24 quanto para 32 °C conforme é mostrado na **Figura 4.8**.

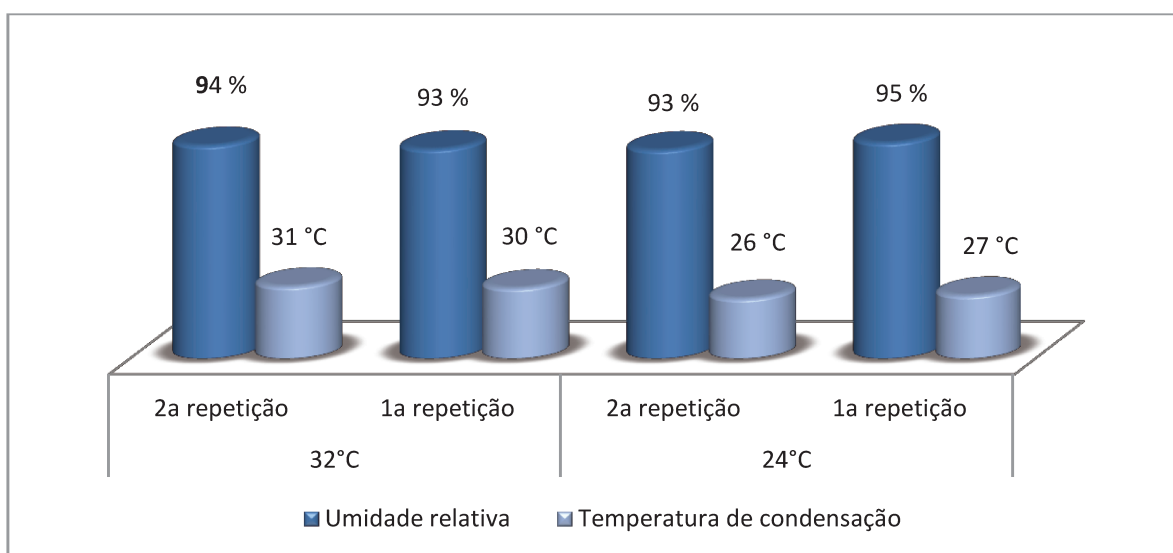


Figura 4.8: Relação entre a umidade relativa e a temperatura de condensação no condensador evaporativo DCE.

Esse comportamento também foi observado por NASR e SALAH HASSA (2009), pois os autores encontraram que para valores de umidade relativa superiores a 80%, o efeito evaporativo diminui, desde que a temperatura de condensação aumente gradualmente. No entanto estes autores consideram a velocidade do ar o parâmetro mais influente na diminuição da temperatura de condensação.

A temperatura de condensação do DCE desenvolvido está limitada pela umidade relativa do ar circundante, no entanto, em todos os ensaios com o DCE, a temperatura média de condensação foi menor do que a temperatura desenvolvida pelo sistema convencional.

Os ensaios com o DCE caracterizaram-se por aumentar a umidade relativa na câmara de testes. O alto índice de evaporação de água no condensador e mesmo no reservatório de água do dispositivo é responsável pela geração da massa de vapor dentro do ambiente isolado. Este comportamento foi mais pronunciado nos ensaios a 32°C de temperatura, sendo que em 48 horas de funcionamento, o volume de água evaporada no reservatório esteve na faixa de 1,8 a 2 litros, e a temperatura da água no reservatório se manteve aproximadamente 2°C abaixo da temperatura na câmara de ensaios como mostra a **Figura 4.9**.

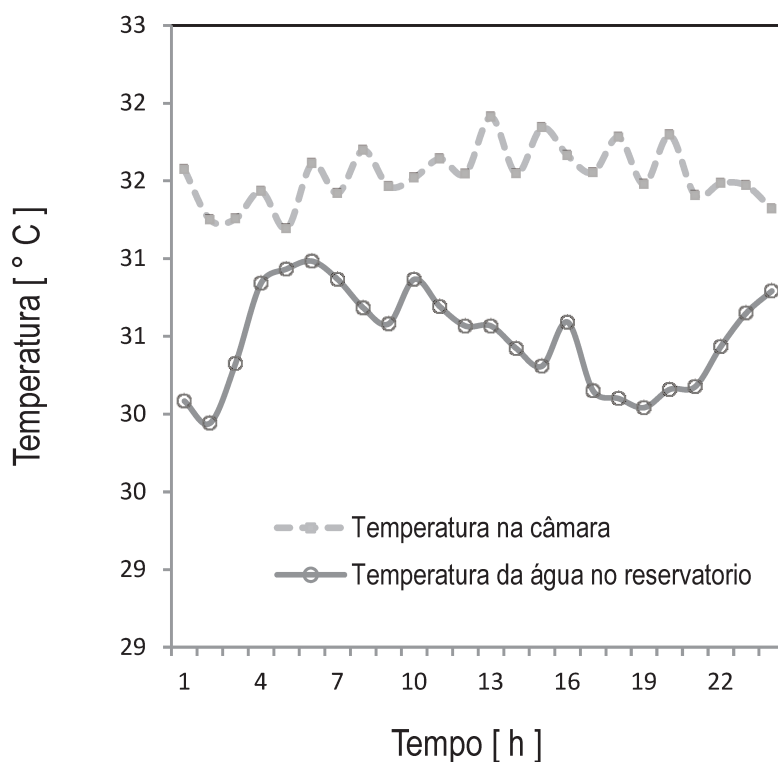


Figura 4.9 : Histórico de temperatura interna da câmara e da água no reservatório, durante o ensaio com o DCE a temperatura ambiente de 32°C / 1ª repetição.

Para calcular o coeficiente de desempenho e os outros parâmetros do ciclo de refrigeração representativos de cada ensaio, utilizou-se o software COOLPACK®, a partir dos valores médios de pressão de evaporação e condensação, assim como de suas respectivas temperaturas medidas em estado pseudo-permanente. A seguir é mostrado um resumo com os resultados:

Tabela 4.2 :Pontos dos ciclos de Refrigeração (R-134a) obtidos em cada ensaio.

1ª Repetição								
Temp. câmara	Condensador.	T _e (°C)	T _c (°C)	Δh _e	Δh _{cond} (kJ/kg)	Δh _{comp} (kJ/kg)	COP _t	Δ Press.
32°C	CCA	-8,17	39,28	137,32	169,32	31,67	4,34	4,62
	DCE	-8,84	31,12	151,81	178,07	26,25	5,78	3,57
24°C	CCA	-8,51	38,31	138,56	169,96	31,41	4,41	4,56
	DCE	-9,36	27,86	153,22	179,22	25,93	5,92	3,51
2ª Repetição								
Temp. câmara	Condensador.	T _e (°C)	T _c (°C)	Δh _e	Δh _{cond} (kJ/kg)	Δh _{comp} (kJ/kg)	COP _t	Δ Press.
32°C	CCA	-9,32	38,27	138,14	170,18	32,03	4,31	4,70
	DCE	-9,82	31,87	150,15	177,65	27,50	5,46	3,79
24°C	CCA	-7,32	37,89	139,89	170,10	30,20	4,63	4,31
	DCE	-10,68	26,51	154,46	180,60	26,14	5,91	3,50

Legenda:

T_e: Temperatura de evaporação

T_c: Temperatura de condensação

Δh_e: Variação da entalpia de evaporação

Δh_{cond}: Variação da entalpia de condensação

Δh_{comp}: Variação da entalpia de compressão

Δ Press: Gradiente de pressão

COP_t: Coeficiente de desempenho do ciclo termodinâmico calculado a partir da equação:

$$COP = \frac{\Delta h_e}{\Delta h_{comp}}$$

Dado que o coeficiente de desempenho (COP) é fortemente influenciado pela temperatura de condensação, o efeito do DCE nesta temperatura é mostrado na **Figura 4.10** pelo diagrama pressão – entalpia, construído a partir dos dados experimentais.

Para avaliação do ciclo termodinâmico e as mudanças de estado específico, escolheu-se o ciclo obtido na primeira repetição do ensaio a 24°C, pois a esta temperatura obteve-se o maior valor de coeficiente de desempenho.

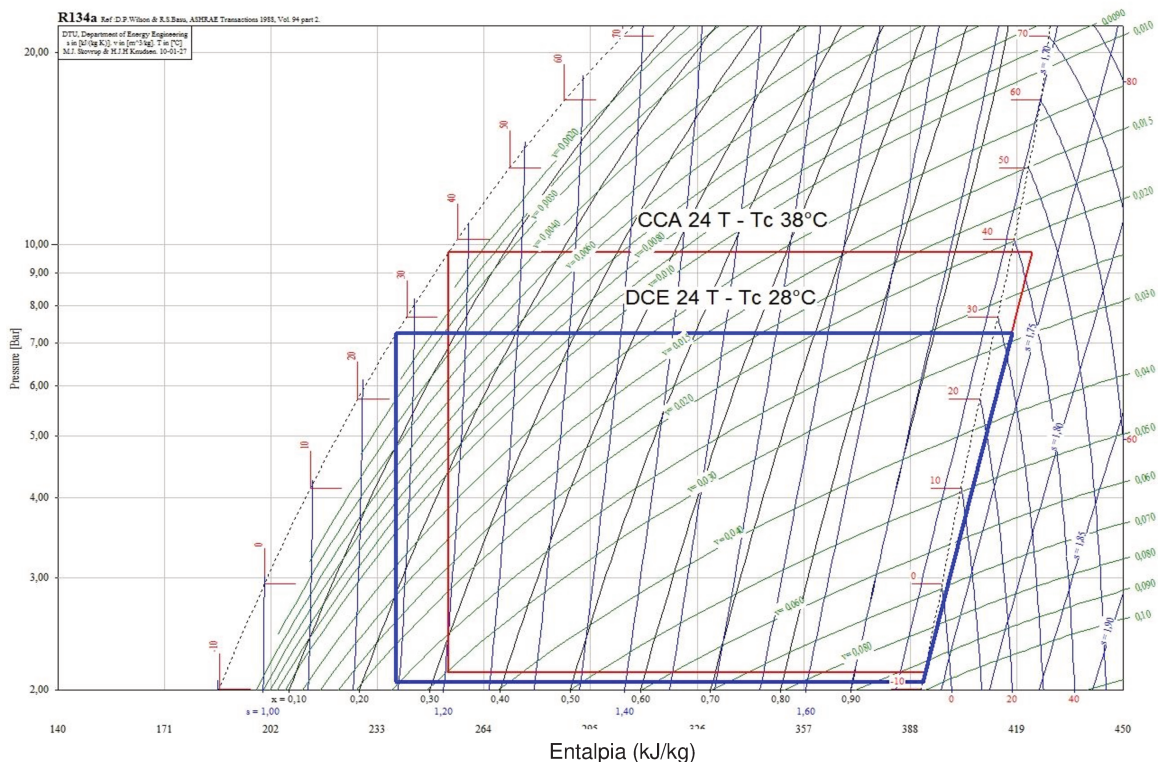


Figura 4.10: Ciclos frigoríficos termodinâmicos obtidos experimentalmente a temperatura ambiente de 24 °C, operando a diferentes temperaturas de condensação para os sistemas condensador a ar (CCA) e evaporativo (DCE).

Para o cálculo do ciclo de refrigeração, não foi considerado sobreaquecimento, sub-resfriamento e nem quedas de pressão no ciclo, pois estas perturbações típicas, não foram medidas fisicamente no equipamento. Contudo, uma vez que estas realidades foram desconsideradas igualmente para todos os ensaios, os valores de coeficiente obtidos, são válidos e servem para quantificar a diferença entre os ciclos em estudo.

Na **Tabela 4.3** é mostrado um resumo dos coeficientes de desempenho calculados para cada sistema.

Tabela 4.3 : Coeficiente de desempenho calculado para cada ensaio.

Temperatura de ensaio	Tipo de condensador	COP		média	Incremento COP
		1ª Repetição	2ª Repetição		
32°C	CCA	4,34	4,31	4,33	23 %
	DCE	5,78	5,46	5,62	
24°C	CCA	4,41	4,63	4,52	24 %
	DCE	5,92	5,91	5,92	

O coeficiente de desempenho do ciclo com o dispositivo de condensação evaporativa foi melhorado em 23 e 24 %, em ambas as temperaturas de câmara comparada com o ciclo convencional, utilizado como base de comparação.

O incremento do COP obtido durante os oito ensaios, confirma a hipótese original, de que o calor latente transferido durante a evaporação da água em contato com a tubulação do trocador de calor proporciona menores temperaturas de condensação. Em comparação com os experimentos desenvolvidos por Hwang, et al. (2000), utilizando um disco submerso para forçar o fluxo de ar no reservatório, o aumento do COP obtido neste trabalho é mais notável, uma vez que os referidos autores obtiveram incrementos de 11 a 26% no valor final do COP, enquanto o dispositivo desenvolvido neste estudo, demonstrou melhoras de até 25% utilizando apenas o efeito evaporativo da água em mudança de fase.

Dos resultados da **Tabela 4.2** e considerando que o equipamento opera no mesmo regime e com a mesma carga térmica, observa-se diferença na temperatura de condensação, para ensaios a diferentes temperaturas ambientais. Pode-se afirmar então, que, embora o dispositivo utilizado altere a temperatura de condensação, a temperatura ambiente (bulbo seco) do espaço circundante limita proporcionalmente o funcionamento do dispositivo; em outras palavras, existe uma relação diretamente proporcional entre a temperatura de condensação a temperatura e a umidade do ambiente na qual se desenvolve o ciclo frigorífico.

Experimentalmente foi observado um maior consumo de energia, nas primeiras 24 horas de teste, quando o sistema encontra-se em estado transiente, este consumo vai diminuindo progressivamente, enquanto a temperatura do sistema diminui, e o sistema se estabiliza.

Na Figura N° 4.11 se mostra a diminuição de períodos de compressor ligado, e a diminuição da potencia consumida no tempo durante os ensaios com temperatura ambiente de 32 °C e utilizando o DCE.

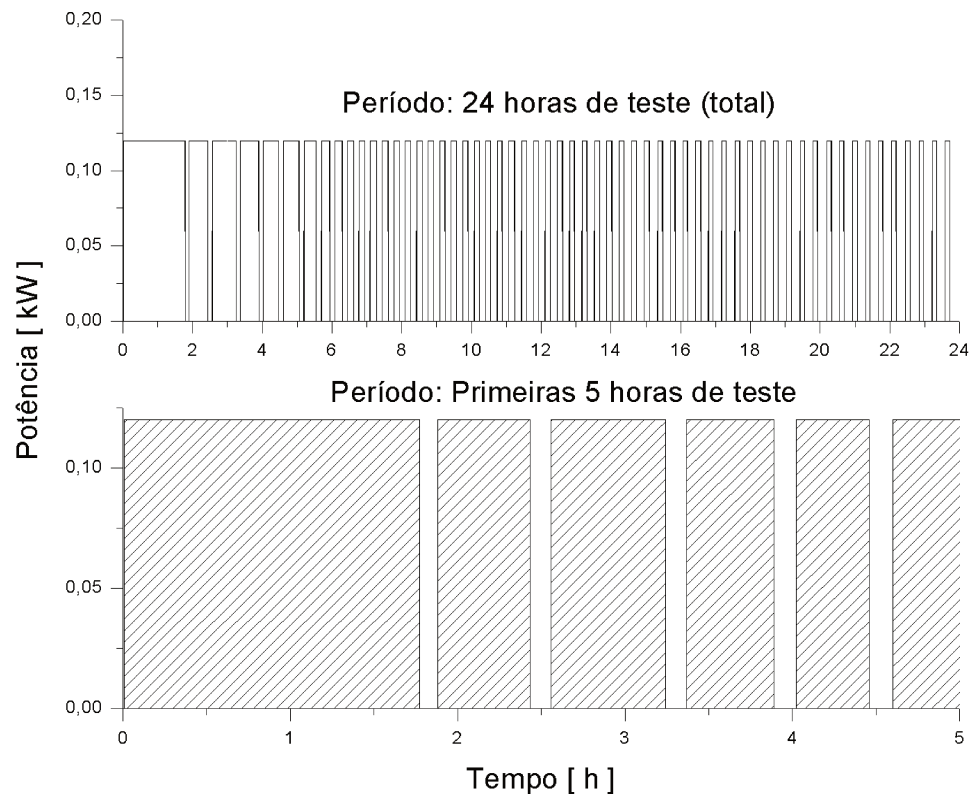


Figura 4.11 : Histórico de potência em função dos períodos de compressor ligado do sistema de refrigeração utilizando o dispositivo de condensação evaporativa (DCE)

Do histórico da potência do compressor, se observa uma tendência a diminuir os períodos de tempo com o compressor ligado, durante o tempo total do teste. A redução destes períodos de funcionamento explica a diminuição da energia consumida em função da potência monitorada.

Para calcular a energia consumida em cada ensaio, se utilizou o software ORIGIN, para integrar graficamente a potência elétrica no tempo efetivo de funcionamento do compressor, durante períodos de tempo de 1 hora de acordo com a seguinte equação:

(4-1)

$$E = \int_{T_1}^{T_2} P \cdot d(T)$$

Dessa maneira calculou-se o consumo médio de energia em kWh, durante as 24 horas de ensaio. Na **Figura 4.12** é mostrada a potência em função do tempo e a energia média calculada

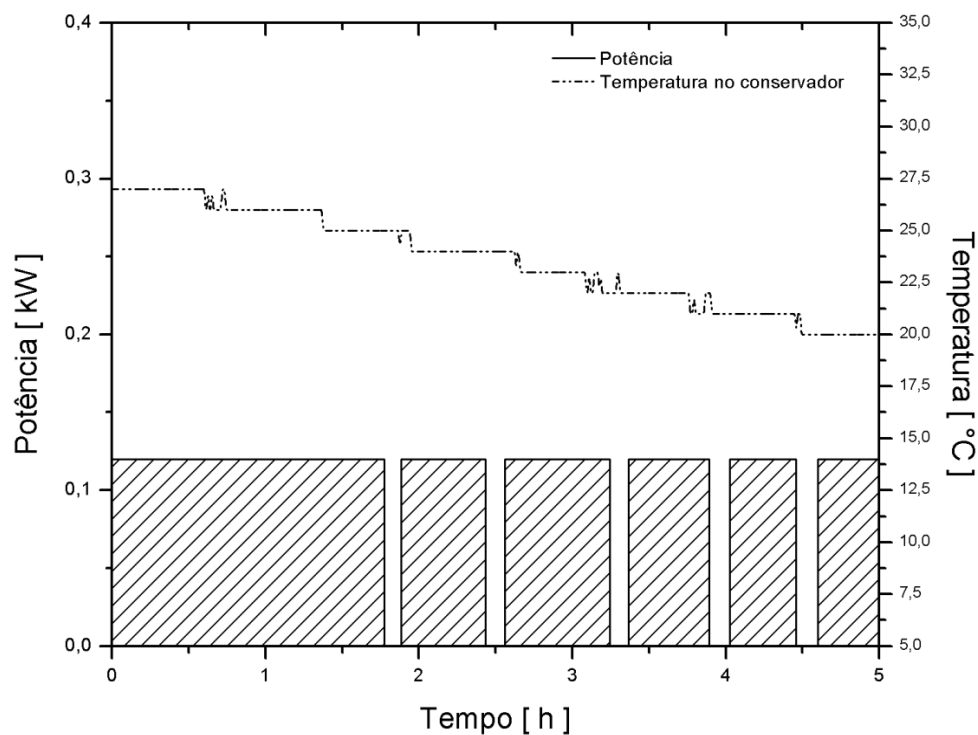


Figura 4.12: Representação das primeiras 5 horas de ensaio, em regime estacionário para o cálculo gráfico da energia consumida em função da potência e o tempo.

O resultado do cálculo da energia média discriminada durante as 24 horas de todos os ensaios encontra-se detalhado no **Apêndice D**.

O consumo de potência dos sistemas utilizando o sistema de condensação convencional a Ar e o dispositivo de condensação evaporativa (DCE), durante as 24 horas de teste em regime pseudo-permanente são mostrados a seguir na **Figura 4.12 e 4.13**

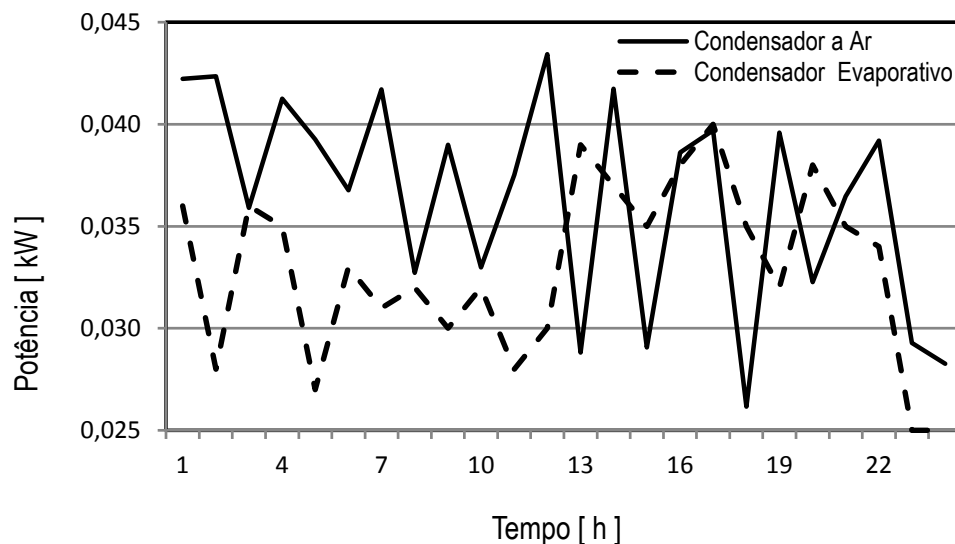


Figura 4.13: Histórico da potência consumida pelo sistema com CCA e DCE durante os ensaios em regime pseudo-permanente e temperatura de 32 °C na câmara de ensaios

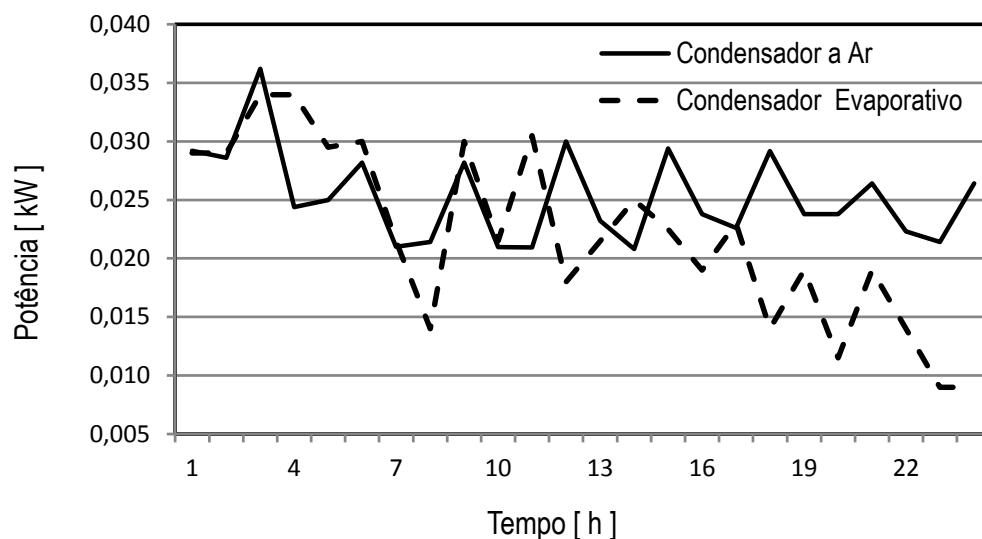


Figura 4.14: Histórico da potência consumida pelo sistema com CCA e DCE durante os ensaios em regime pseudo-permanente e temperatura de 24 °C na câmara de ensaios

A tendência observada nos históricos mostrados anteriormente é uma clara redução da potência consumida pelo sistema utilizando o DCE.

Nos ensaios conduzidos a temperatura ambiente de 24 °C a redução de potência foi mais pronunciada, e ainda observou-se, que este comportamento tende a aumentar após as primeiras 15 horas de teste.

Com os dados de energia elétrica média consumida em cada hora de ensaio, calculou-se o somatório para o período de 24 horas, referentes a cada ensaio proposto. Na **Tabela 4.4 e 4.5** é apresentado o resumo dos valores calculados de energia elétrica, assim como do custo de energia consumida aplicando a tarifa vigente da concessionária de energia CPFL - SP.

Tabela 4.4: Energia elétrica consumida durante 24 horas, para cada ensaio desenvolvido

Temperatura de ensaio	CCA Energia	DCE	% de Economia
1ª Repetição			
32°C	17,60 kWh	14,87kW.h	15,51%
24°C	14,14 kWh	11,60kW.h	17,96%
2da Repetição			
32°C	16,99 kWh	14,52kW.h	14,53%
24°C	14,90 kWh	12,65kW.h	15,10%

Tabela 4. 4.5: Custo total da energia elétrica consumida para cada ensaio desenvolvido**1ª Repetição**

Temperatura de ensaio	24 °C		32 °C	
	CCA	DCE	CCA	DCE
Consumo total de energia elétrica durante 24 horas de teste	14,14kW.h	11,60kW.h	17,60 kW.h	14,87kW.h
Custo total em 24 horas ¹⁰	R\$ 4,68	R\$ 3,84	R\$ 5,83	R\$ 4,92
Custo total mensal	R\$ 140,41	R\$ 115,19	R\$ 174,77	R\$ 147,66

2ª Repetição

Temperatura de ensaio	24 °C		32°C	
	CCA	DCE	CCA	DCE
Consumo total de energia elétrica durante 24 horas de teste	14,90 kW.h	12,65kW.h	16,99kW.h	14,52kW.h
Custo total em 24 horas	R\$ 4,93	R\$ 4,19	R\$ 5,62	R\$ 4,81
Custo total mensal	R\$ 147,96	R\$ 125,61	R\$ 168,71	R\$ 144,18

O consumo de energia elétrica é menor para o equipamento utilizando o DCE, durante todos os ensaios. A economia energética média alcançada foi de 2,6 e 2,4 kW.h

¹⁰Para o cálculo do custo total mensal, considerou-se a tarifa de R\$ 0,331 /kWh segundo, a tarifa residencial vigente em 27 de janeiro de 2010, fornecida pela agência nacional de energia elétrica ANEEL. O valor se refere à tarifa homologada pela ANEEL, expressa na unidade R\$/kWh (reais por quilowatt-hora) e não contempla tributos e outros elementos, tais como: ICMS, Taxa de Iluminação Pública e Encargo de Capacidade Emergencial, cuja cobrança foi encerrada em 22 de dezembro de 2005. Disponível em www.aneel.gov.br

para temperaturas ambientais de 32 e 24 °C respectivamente, significando uma economia média diária de R\$ 0,83.

O resultado da avaliação energética entre os sistemas mostra que a utilização do dispositivo de condensação evaporativa proporciona uma redução média no consumo de energia de 15 %, em relação ao sistema com condensador a ar. Entretanto, caso a temperatura do ambiente seja menor, a economia de energia obtida pelo DCE é progressivamente menor.

Capítulo 5 : **Conclusão**

Os resultados experimentais em relação à condensação a ar mostraram que com a utilização do dispositivo de condensação evaporativa, a temperatura de condensação do refrigerador diminuiu de 8 a 11 °C, em média, ou seja, de 39°C para 31°C e de 38°C para 27°C durante ensaios com temperaturas programadas para o interior da câmara de testes de 32 e 24 °C, respectivamente. Esta nova condição de operação do circuito de refrigeração faz com que ocorra a redução do trabalho do compressor, para a mesma carga térmica, diminuindo também o consumo de energia.

A eficiência do sistema de refrigeração pode ser avaliada através do COP, do ciclo que, devido às mudanças no ciclo, foi fortemente influenciado pela temperatura de condensação, aumentando aproximadamente de 4,0 para 6,0 com a utilização do dispositivo de condensação evaporativa. Este aumento de quase 24 % confirma a eficiência, relacionada à redução do trabalho do compressor.

Ainda observou-se que, no ensaio à temperatura ambiente de 24°C, com o método convencional de convecção natural a ar, o refrigerador consumiu 1,4kW.h de energia durante 24 horas de funcionamento; enquanto que com o método de condensação evaporativa, o mesmo consome 1,2kW.h, o que corresponde a uma diminuição de quase 16,5% de energia consumida no mesmo período de 24 horas.

Os resultados experimentais mostraram uma redução da oscilação da temperatura interna do refrigerador para o sistema dotado condensador evaporativo, e uma diminuição na frequência de paradas e partidas no compressor, condição que possibilita uma maior vida útil do equipamento. A monitoração da energia mostrou um tendência decrescente para o ciclo dotado do DCE.

Embora o dispositivo altere a temperatura de condensação próxima à temperatura de bulbo úmido, a temperatura ambiente (bulbo seco) do espaço circundante limita proporcionalmente o funcionamento do dispositivo, em outras palavras, existe uma relação diretamente proporcional entre a temperatura de condensação e a temperatura ambiente na qual se desenvolve o ciclo frigorífico.

Com a análise dos históricos de temperatura no ciclo frigorífico, e da umidade relativa na câmara de ensaios, observou-se que a diminuição na temperatura de condensação com o dispositivo, é comprometida pela umidade relativa do ar circundante,

e pela temperatura no reservatório de água. No entanto o dispositivo de condensação evaporativa tem a vantagem de operar à menor temperatura de condensação, como foi comprovado durante todos os ensaios.

É necessário informar que durante os ensaios com o dispositivo de condensação evaporativa, foi observado que a água contida no reservatório, precisa de algum tratamento químico ou físico, para evitar a formação de algas, bactérias ou incrustações, dada as condições de temperatura e umidade, pois é propícia para estes microrganismos.

Referências bibliográficas

1. ANEEL (2005^A). **Manual para elaboração do programa de eficiência energética (ciclo 2005/2006)**. Brasília, ANEEL: 121.
2. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Methods of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioning and heating pumps, 1995.
3. AZZOUZ, K., LEDUCQ, D., GOBIN, D. Enhancing the performance of household refrigerators with latent heat storage: **An experimental investigation**, France, v. 32, p. 1634-1644, 2009.
4. CARDOSO, R. B., NOGUEIRA, L.A.H., HADDAD, J. Economic feasibility for acquisition of efficient refrigerators in **Brazil, Applied Energy**, France, v.87, p. 28-37, 2009.
5. EMBRACO Brazilian Compressor Company, Learn how a refrigeration system works. Disponível em: <http://www.embraco.com/ingles/familia_vcc.htm>. Acesso em: novembro de 2010.
6. HEPBASLI, A. Thermoeconomic analysis of household refrigerators, **International journal of energy research**, Turkey, v. 31, p. 947-959, 2006.
7. HWANG, YUNHO, RADERMACHER, REINHARD, KOPKO, WILLIAM An Experimental evaluation of a residential-sized evaporatively cooled condenser, **International Journal of Refrigeration**, USA, v. 24, p. 238-249, 2000.
8. ISMAIL, K.A.R. Técnicas de Medida e Instrumentação, 2ª Ed. 2003, Campinas, Brasil.
9. JANUZZI, G.M **A life-cycle analysis for setting energy-efficiency standards in Brazil: the case of residential refrigerators**, 2003.

10. JANUZZI, G.M. **Programas de Eficiência Energética para consumidores residenciais de baixa renda no Brasil:** Considerações para um programa de substituição de refrigeradores. Relatório de pesquisa, 2007.
11. JANUZZI, G.M., MELO, C.A., **Mechanisms to Promote Energy Efficiency: Refrigerator Replacement in Brazil 9th IAEE European conference**, 2007, Florence. 9th IAEE European conference. Itália: AIEE, 2007. p. 161-162.
12. JANUZZI, G.M., ROMEIRO, A., et al. **Agenda Elétrica sustentável 2020:** estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo. WWF-Brasil. Brasília, p. 80. 2006.
13. KOURY, R.N.N, MACHADO, L., ISMAIL, K.A.R. Numerical simulation of a variable speed refrigeration system, **International Journal of Refrigeration**, France, v. 24, p. 192-200, 2001.
14. KRESS-ROGERS, E; BRIMELOW, C.J.B. Instrumentation and Sensors for the Food Industry (2nd Edition) Edited by: © 2001 Woodhead Publishing.
15. MANINI PAOLO, RIZZI ENEA, PASTORE, GUIDO, 2003. **Advances in VIP design for super insulation of domestic appliances**. In: Proceedings of 4th International Appliance Technical Conference (IATC), West Lafayette, USA.
16. MANSKE, K. A., REINDL, D.T., KLEIN, S.A. Evaporative condenser control in industrial refrigeration systems, **International Journal of Refrigeration**, Madison, v. 24, p. 676-691, 2001.
17. MARKEY, B.A. **The evaporatively cooled condenser**, Masters Thesis, Maryland, 1996.
18. MIN, GAO, ROWE, D. M., Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators, **Applied Energy**, France, v. 83, p. 133-152, 2006.
19. NASR, M.M., SALAH HASSAN, M. Experimental and theoretical investigation of an innovative evaporative condenser for residential refrigerator, **Renewable Energy**, Egypt, v. 34, p. 2447-2454, 2009.

20. NOGUEIRA, L.A.H. (2006). **Avaliação de Resultados do Programa do Selo PROCEL**. Apresentação, PROCEL/Eletróbras.
21. NORMA NBR12863 - Norma de câmaras de **ensaios para refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares**. Atualização em 30/04/1993
22. NORMA NBR12864 - Preparação de pacotes de ensaio (**simuladores de carga térmica**) para **aplicações em refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares** de uso domésticos; em vigor. Atualização em 30/04/1993.
23. NORMA NBR8888 (Orig. MB2187) - **Refrigeradores e congeladores elétricos - Medição do consumo de energia**; em vigor. Atualização em 14/06/1985.
24. PROCEL (2002b).National Energy Conservation Program. Brazilian Energy Efficiency and Endorsement Labels. (nd.) .Disponível em:<<http://www.eletrabras.com/procel/site/seloprocel/apresentacao.asp>>. Acesso em: 2010.
25. STOECKER, W.F., JABARDO, J.M.S. **Refrigeração Industrial**. 2ªEd..EditoraEdgardBlücher LTDA. 2002, p. 199 -204.
26. VENDRUSCULO, E. A., QUEIROZ, G. C., JANUZZI, G. M., JUNIOR, H. X. S., POMILIO, J. A. Life cycle cost analysis of energy efficiency design options for refrigerators in Brazil, **Energy Efficiency**, Brazil, v. 2, p. 271-286,2008.
27. VRACHOPOULOS, MICHALIS, E. FILIOS, ANDRONIKOS, T. KOTSIOVELOS, GEORGIOS, D. KRAVVARITIS, ELEFTHERIOS Incorporated evaporative condenser.**Applied Thermal Engineering**, Greece, v. 27,p. 823-828, 2007.

Apêndices

Resultados da calibração

A.1 Sensores de temperatura

Tabela A-1 :Equações de calibração dos sensores de temperatura utilizados nos ensaios experimentais.

Sensor	Equação de calibração	R ²	Equação
E00	$t_c = 0.9850 \cdot t_l - 1.3788$	0,98	(4.1)
E01	$t_c = 0.9798 \cdot t_l - 1.6857$	0,99	(4.2)
E02	$t_c = 0.9843 \cdot t_l - 1.9329$	0,98	(4.3)
E03	$t_c = 0.9822 \cdot t_l - 2.1094$	0,98	(4.4)
E04	$t_c = 0.9940 \cdot t_l - 1.9396$	0,98	(4.5)
E05	$t_c = 0.9887 \cdot t_l - 2.2021$	0,98	(4.6)
E06	$t_c = 0.9801 \cdot t_l - 1.2167$	0,99	(4.7)
E07	$t_c = 0.9830 \cdot t_l - 1.7746$	0,98	(4.8)
E08	$t_c = 0.9731 \cdot t_l - 1.2109$	0,98	(4.9)
E09	$t_c = 0.9825 \cdot t_l - 1.9918$	0,99	(4.10)
E10	$t_c = 0.9949 \cdot t_l - 2.0524$	0,99	(4.11)
E11	$t_c = 0.9846 \cdot t_l - 0.9816$	0,99	(4.12)
E12	$t_c = 1.0018 \cdot t_l - 0.3607$	0,99	(4.13)
E13	$t_c = 1.0035 \cdot t_l - 0.2985$	0,99	(4.14)
E14	$t_c = 1.0058 \cdot t_l - 0.4217$	0,99	(4.15)
E15	$t_c = 1.0010 \cdot t_l - 0.9406$	0,99	(4.16)

Legenda: t_c significa temperatura corrigida, t_l significa temperatura lida no sensor.

A-2 Sensores de umidade relativa

Tabela A-2 : Calibração dos sensores de umidade relativa

Sensor	Equação de calibração	R ²	Equação
E25	$U_c = 0.0316 \cdot U_l + 75.901$	0.99	(4.17)
E26	$U_c = 0.0325 \cdot U_l + 75.063$	0.99	(4.18)

Legenda: U_c significa umidade relativa corrigida, U_l significa umidade relativa lida no sensor.

B-1 : Tabela de relação de sensores configurados para monitoração no programa HILOG®

Entrada analógica	Memória real	Código TAG	Tipo de Sensor	Escala	Unidade	Localização	
						Geral	Específica
E03	D44	TE09	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C	CDT01	Direita do refrigerador
E07	D48	TE08	E.P. T (termopar)	0 - 100	°C		Esquerda do refrigerador
E04	D45	TE06	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C		Encima do refrigerador
E10	D51	TE07	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C		Em frente do refrigerador
E25	D106	HT01	Trans. Umidade	0 - 100	%		Em frente do refrigerador
E24	D107	HT02	Trans. Umidade	0 - 100	%		Atrás do refrigerador
E13	D54	TE12	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C	GBT01	Conservador
E14	D55	TE14	E.P.T (PT100)	-20 - 100	°C		Congelador
E15	D56	TE10	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C		Conservador
E05	D46	TE13	E.P.T (PT100)	-20 - 100	°C		Porta do conservador
E09	D50	TE11	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C		Porta do conservador
E08	D49	TE04	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C	RSV01	Submerso no reservatório
E02	D43	TE05	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C	CDS01	Entrada do condensador
E06	D47	TE03	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C		Saída do condensador
E00	D41	TE01	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C	CPS01	Sucção do compressor
E01	D42	TE02	E.P.T (termopar)	0 - 100	°C		Descarga do compressor
E26	D202	PT01	Trans. Pressão	0 - 25	bar		Sucção do compressor
E27	D203	PT02	Trans. Pressão	0 - 25	bar		Descarga do compressor
E16	D118	TDC01 ^(a)	Transd. Corrente	0 - 5	A		Alimentação elétrica

Legenda: ^(a) A bomba submersa e os ventiladores do DCE, foram monitorados pelo transdutor (TDC01) já que estão ligados na alimentação do compressor, porém foram desativados utilizando um interruptor manual segundo o tipo de ensaio.

B-2 : Tabela de entradas Analógicas configuradas para sensores de temperatura.

CLP	SUB-BASTIDOR	Nº MODULO	CÓDIGO DE COR	ENDEREÇAMENTO DO MÓDULO	TAG	TIPO DE SENSOR
		AIM230	CABO AIM230			
MCI02-QC	1	2	Vermelho	AICH0	E-0	Termopar T
			Laranja	AICH1	E-1	Termopar T
			Amarelo	AICH2	E-2	Termopar T
			Verde	AICH3	E-3	Termopar T
			Azul	AICH4	E-4	Termopar T
			Roxo	AICH5	E-5	Termopar T
			Cinza	AICH6	E-6	Termopar T
			Branco	AICH7	E-7	Termopar T
		3	Vermelho	AICH8	E-8	Termopar T
			Laranja	AICH9	E-9	Termopar T
			Amarelo	AICH10	E-10	Termopar T
			Verde	AICH11	E-11	Termopar T
			Azul	AICH12	E-12	PT 100
			Roxo	AICH13	E-13	PT 100
			Cinza	AICH14	E-14	PT 100
			Branco	AICH15	E-15	PT 100

Legenda: (AICH) = analogical input Chanel.

C. Gráficos de monitoração, gerados em tempo real pelo programa HILOG

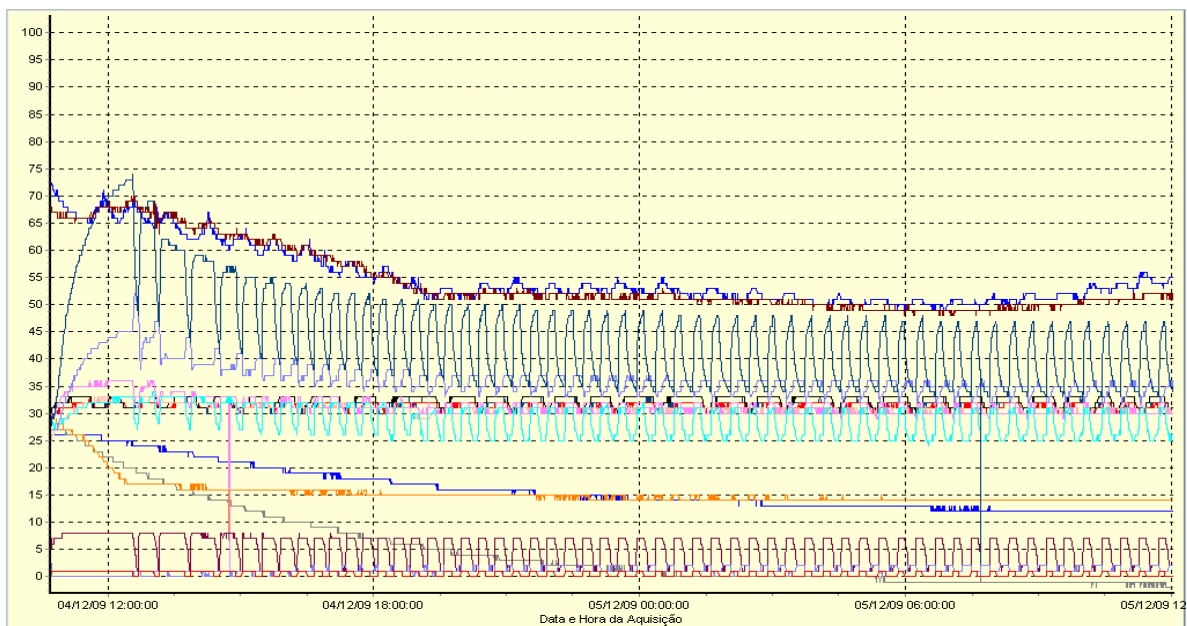


Figura C -1: Gráfico dos parâmetros monitorados durante o ensaio CCA 32T– 1ª Repetição

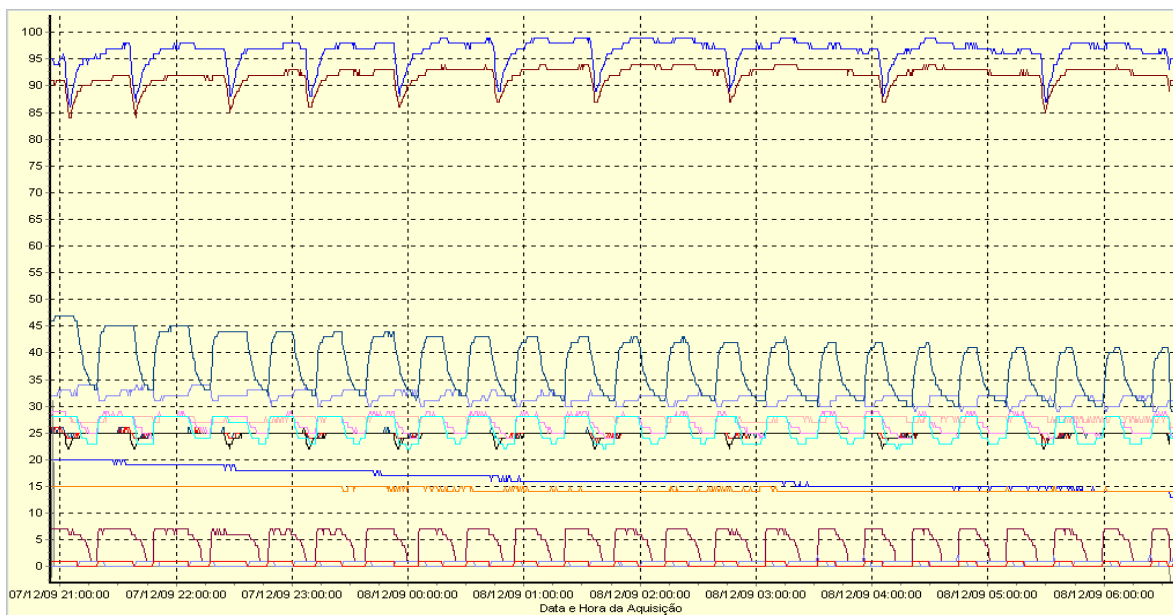


Figura C -2: Gráfico dos parâmetros monitorados durante o ensaio CCA 32E– 2ª Repetição

D. Resumo de valores médios dos parâmetros adquiridos durante 24 horas (Para todos os ensaios)

Ensaio CCA-32T (1era repetição) Condensador convencional a ar - Temperatura programada no interior da câmara: 32°C - Regime transiente																			
Tempo	Câmara							Gabinete				Ciclo						Compressor	
	Esquer.	Centro	Direita	$\bar{t}$	U.R. frente	U.R. Atrás	$\overline{UR}$	Conserv.	Congel	P. cons	Reserv	Evapor	condens	Desc	Succ	Succ	Desc	Intens.	Potência
h	°C	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	A	kW
1	32,88	32,46	32,35	32,56	60,01	53,02	56,51	26,64	25,00	25,92		24,00	42,45	65,74	42,26	0,54	13,82	0,98	0,12
2	33,14	33,00	32,94	33,02	58,03	51,24	54,64	25,31	19,78	18,48		18,78	47,10	79,63	52,97	0,17	12,06	0,89	0,11
3	33,14	33,00	32,69	32,95	57,92	50,84	54,38	23,66	15,93	17,14		14,93	45,17	73,34	51,02	0,33	10,93	0,88	0,11
4	32,79	32,53	32,12	32,48	57,10	50,00	53,55	21,97	12,63	16,96		10,63	42,63	65,24	48,18	0,51	9,64	0,77	0,09
5	32,33	32,00	32,00	32,11	59,08	50,76	54,92	20,49	9,77	16,51		7,77	41,67	62,59	45,70	1,05	9,86	0,83	0,10
6	31,94	31,91	31,58	31,81	60,35	51,73	56,04	19,54	7,35	16,00		5,35	39,73	58,42	44,78	1,12	8,89	0,64	0,08
7	31,62	31,46	31,00	31,36	60,87	52,00	56,43	18,46	5,62	16,00		2,62	38,39	54,41	43,43	1,27	8,09	0,56	0,07
8	31,39	31,05	31,00	31,15	61,03	52,02	56,52	17,88	4,11	16,00		1,11	37,76	52,33	42,48	1,31	7,84	0,53	0,06
9	31,28	31,00	31,00	31,09	61,46	52,45	56,96	17,00	3,03	15,95		0,03	37,24	50,39	41,71	1,36	7,56	0,48	0,06
10	31,62	31,53	31,43	31,53	61,57	52,28	56,92	16,07	2,07	15,64		-0,93	37,16	49,25	41,35	1,41	7,09	0,46	0,06
11	31,16	31,01	31,00	31,06	61,32	52,54	56,93	16,00	1,25	15,38		-2,75	36,64	48,82	41,46	1,44	6,79	0,43	0,05
12	31,60	31,47	31,48	31,52	61,28	52,17	56,73	15,45	0,90	15,06		-3,10	37,12	48,77	41,48	1,43	7,00	0,45	0,05
13	31,57	31,47	31,48	31,51	61,75	52,48	57,11	14,92	0,24	15,00		-3,76	36,74	47,97	41,31	1,47	6,60	0,43	0,05
14	31,52	31,46	31,48	31,48	60,92	52,53	56,73	14,48	0,00	15,00		-4,00	36,09	46,92	41,19	1,56	6,14	0,40	0,05
15	31,40	31,36	31,46	31,41	59,55	51,69	55,62	14,00	0,00	15,00		-4,00	35,82	46,40	40,98	1,55	6,07	0,36	0,04
16	31,64	31,49	31,44	31,52	59,70	51,17	55,43	14,00	0,00	15,00		-4,00	36,60	46,99	40,94	1,51	6,50	0,37	0,04
17	31,58	31,48	31,61	31,55	60,09	51,91	56,00	13,98	0,00	15,00		-4,00	36,43	46,62	40,33	1,52	6,40	0,41	0,05
18	31,36	31,34	31,43	31,38	60,26	51,97	56,11	13,40	0,00	14,97		-4,00	35,20	44,93	40,37	1,62	5,42	0,34	0,04
19	31,41	31,39	31,43	31,41	61,26	52,32	56,79	13,00	0,00	15,00		-4,00	35,84	45,59	40,71	1,59	5,73	0,33	0,04
20	31,35	31,28	31,43	31,35	63,01	53,66	58,33	13,00	0,00	14,89		-4,00	36,21	45,89	40,15	1,53	6,31	0,40	0,05
21	31,24	31,21	31,50	31,32	63,78	54,00	58,89	13,00	0,00	14,92		-4,00	34,99	44,05	39,82	1,64	5,42	0,33	0,04
22	31,56	31,44	31,78	31,59	63,92	54,00	58,96	12,99	0,00	14,78		-4,00	35,92	45,17	39,96	1,56	5,96	0,33	0,04
23	31,32	31,20	31,44	31,32	63,60	54,16	58,88	12,29	0,00	14,70		-4,00	36,11	45,16	40,03	1,55	6,04	0,39	0,05
24	31,22	31,21	31,36	31,26	64,32	54,54	59,43	12,12	0,00	14,52		-4,00	34,60	43,21	40,09	1,69	4,91	0,26	0,03
Valores médios:				31,66			56,62	16,65	4,41	15,99		1,21	38,07	52,41	42,61	1,28	7,54	0,51	0,06

Ensaio CCA-32E (1era repetição)																			
Condensador convencional a ar - Temperatura programada no interior da câmara: 32°C - Regime estacionário																			
Tempo	Câmara							Gabinete				Ciclo						Compressor	
	Esquer.	Centro	Direita	$\bar{t}$	U.R. frente	U.R. Atrás	$\overline{UR}$	Conserv.	Congel	P. cons	Reserv	Evapor	Condens	Desc	Succ	Succ	Desc	Intens.	Potência
h	°C	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	A	kW
1	31,35	31,23	31,50	31,36	87,70	81,50	84,60	12,00	0,00	14,32		-7,96	40,00	51,01	31,59	1,51	9,69	0,36	0,04
2	31,04	31,00	31,00	31,01	87,33	80,90	84,12	12,00	0,00	14,32		-7,96	39,47	50,38	31,53	1,56	9,24	0,37	0,04
3	31,07	31,00	31,00	31,02	86,97	80,51	83,74	12,00	0,00	14,16		-7,96	38,32	49,27	31,68	1,67	8,41	0,26	0,03
4	31,15	31,00	31,00	31,05	86,81	80,17	83,49	12,00	0,00	14,27		-7,96	39,82	50,97	31,82	1,58	9,28	0,36	0,04
5	31,26	31,26	31,47	31,33	86,45	79,80	83,13	12,00	0,00	14,21		-7,96	39,11	49,72	31,59	1,63	8,58	0,33	0,04
6	31,17	31,00	31,00	31,06	85,65	78,81	82,23	12,00	0,00	14,11		-7,96	39,13	50,18	31,82	1,63	8,67	0,29	0,04
7	31,44	31,33	31,46	31,41	85,08	78,16	81,62	12,00	0,00	14,12		-7,96	39,83	50,46	31,43	1,56	9,44	0,37	0,04
8	31,43	31,35	31,44	31,41	84,66	77,33	81,00	12,00	0,00	14,12		-7,96	38,77	49,31	32,24	1,72	7,90	0,24	0,03
9	31,49	31,46	31,51	31,49	84,19	76,83	80,51	12,00	-0,01	14,08		-7,96	39,98	50,82	31,37	1,55	9,54	0,37	0,04
10	31,00	31,01	31,11	31,04	84,36	77,29	80,82	12,00	0,00	14,12		-7,96	38,25	48,97	31,80	1,71	8,07	0,28	0,03
11	31,27	31,30	31,41	31,33	84,53	77,19	80,86	12,00	0,00	14,13		-7,96	39,95	50,97	31,45	1,56	9,59	0,34	0,04
12	31,35	31,35	31,56	31,42	85,05	78,22	81,63	12,00	0,00	14,11		-7,96	39,30	49,84	31,48	1,60	9,00	0,37	0,04
13	31,37	31,23	31,40	31,34	85,26	78,59	81,92	12,00	0,00	14,17		-7,96	38,93	49,78	32,17	1,67	8,37	0,25	0,03
14	31,64	31,42	31,82	31,63	86,24	80,14	83,19	12,00	0,00	14,15		-7,96	39,88	50,44	31,69	1,57	9,30	0,37	0,04
15	31,32	31,31	31,55	31,39	85,33	79,31	82,32	11,98	0,00	14,11		-7,96	38,63	49,25	32,05	1,69	8,16	0,26	0,03
16	31,37	31,28	31,53	31,39	84,86	79,09	81,97	12,00	-0,03	14,06		-7,99	39,98	50,78	31,49	1,54	9,46	0,34	0,04
17	31,37	31,27	31,66	31,43	85,30	79,61	82,46	12,00	-0,13	14,04		-8,09	39,35	49,88	31,30	1,59	9,14	0,35	0,04
18	31,43	31,36	31,68	31,49	84,04	78,29	81,16	11,96	-0,25	14,05		-8,21	38,92	49,40	32,13	1,70	8,06	0,23	0,03
19	31,35	31,21	31,46	31,34	84,11	78,39	81,25	11,92	-0,41	14,02		-8,36	39,80	50,69	31,73	1,56	9,39	0,36	0,04
20	31,43	31,34	31,72	31,50	83,93	78,23	81,08	11,87	-0,57	14,00		-8,53	38,55	49,19	31,74	1,69	8,16	0,28	0,03
21	31,56	31,41	31,76	31,57	83,93	78,03	80,98	11,81	-0,77	14,01		-8,73	39,98	50,70	32,01	1,59	9,08	0,33	0,04
22	31,37	30,97	31,20	31,18	83,70	78,07	80,89	11,63	-0,99	13,91		-8,95	38,91	49,34	31,13	1,62	8,69	0,34	0,04
23	31,32	31,24	31,46	31,34	84,24	78,92	81,58	11,55	-1,00	14,00		-8,96	38,90	49,73	31,92	1,64	8,67	0,26	0,03
24	31,32	31,24	31,46	31,34	83,86	78,49	81,17	11,55	-1,00	14,00		-8,96	38,89	49,72	31,90	1,64	8,73	0,25	0,03
Valores médios:				31,33			81,99	11,93	-0,22	14,11		-8,17	39,28	50,03	31,71	1,62	8,86	0,32	0,04

Ensaio CCA-24T (1era repetição)

Condensador convencional a ar - Temperatura programada no interior da câmara: 24°C - Regime transiente

Temp o	Câmara							Gabinete				Ciclo						Compressor	
	Esquer.	Centro	Direita	$\bar{t}$	U.R. frente	U.R. Atras	$\overline{UR}$	Conser v.	Congel	P. cons	Reserv	Evapor	Conde ns	Desc	Succ	Succ	Desc	Intens.	Potênci a
h	°C	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	A	kW
1	26,49	25,84	24,44	25,59	60,01	53,02	56,51	26,72	26,82	25,25		21,82	42,02	66,45	32,90	9,55	35,28	0,98	0,117
2	25,95	25,40	24,14	25,16	58,03	51,24	54,64	25,25	23,09	16,97		18,09	43,41	71,65	40,38	6,72	40,48	0,76	0,091
3	25,66	25,02	24,08	24,92	57,92	50,84	54,38	23,61	19,32	15,88		13,32	42,30	64,04	35,53	6,40	32,87	0,87	0,104
4	25,30	24,87	24,17	24,78	57,10	50,00	53,55	22,01	15,77	15,28		9,77	38,75	56,05	34,03	4,78	24,88	0,58	0,069
5	25,27	24,78	24,08	24,71	59,08	50,76	54,92	20,56	12,77	15,07		6,77	38,90	54,07	32,45	5,07	22,90	0,59	0,071
6	25,22	24,76	24,29	24,76	60,35	51,73	56,04	19,26	10,14	15,00		3,14	37,88	51,22	31,55	4,51	20,05	0,53	0,063
7	25,22	24,75	24,20	24,72	60,87	52,00	56,43	18,37	8,01	14,93		1,01	36,85	48,78	30,78	3,94	17,61	0,45	0,054
8	25,19	24,90	24,41	24,84	61,03	52,02	56,52	17,67	6,23	14,54		-1,77	36,09	46,95	30,18	3,53	15,78	0,38	0,046
9	25,27	24,88	24,34	24,83	61,46	52,45	56,96	14,53	1,54	13,74		-6,46	36,24	45,32	29,30	3,56	14,15	0,36	0,043
10	25,04	24,78	24,39	24,74	61,57	52,28	56,92	12,95	-0,98	13,07		-8,98	33,67	41,95	28,43	2,08	10,78	0,20	0,024
11	25,03	24,75	24,43	24,74	61,32	52,54	56,93	12,23	-1,00	13,00		-9,00	34,96	42,65	27,75	2,96	11,48	0,31	0,037
12	24,81	24,64	24,35	24,60	61,28	52,17	56,73	12,00	-1,00	13,00		-9,00	33,74	41,14	27,60	2,06	9,97	0,19	0,023
13	24,78	24,64	24,42	24,62	61,75	52,48	57,11	12,00	-1,00	13,00		-9,00	34,79	41,84	27,32	2,78	10,67	0,29	0,035
14	24,78	24,62	24,26	24,55	60,92	52,53	56,73	12,00	-1,00	13,00		-9,00	33,64	40,95	27,43	2,22	9,78	0,19	0,023
15	24,93	24,71	24,47	24,70	59,55	51,69	55,62	12,00	-1,00	13,00		-9,00	33,93	40,97	27,23	2,35	9,80	0,25	0,030
16	24,87	24,60	24,33	24,60	59,70	51,17	55,43	11,95	-1,00	12,96		-9,00	34,35	41,45	27,39	2,64	10,28	0,23	0,028
17	24,80	24,75	24,48	24,68	60,09	51,91	56,00	11,50	-1,02	13,00		-9,02	33,62	40,65	27,19	1,99	9,48	0,20	0,024
18	24,63	24,54	24,24	24,47	60,26	51,97	56,11	11,13	-1,37	12,99		-9,37	33,78	40,83	27,03	2,27	9,66	0,23	0,028
19	24,84	24,72	24,43	24,67	61,26	52,32	56,79	11,00	-1,97	12,99		-9,97	34,61	41,53	27,33	2,66	10,36	0,24	0,029
20	24,82	24,70	24,47	24,66	63,01	53,66	58,33	11,00	-2,00	13,00		-10,00	33,45	40,45	27,01	2,00	9,28	0,18	0,022
21	24,67	24,67	24,35	24,56	63,78	54,00	58,89	11,00	-1,99	12,98		-9,99	33,98	40,82	26,82	2,49	9,65	0,27	0,033
22	24,52	24,60	24,32	24,48	63,92	54,00	58,96	11,00	-1,98	12,99		-9,98	33,72	40,54	26,52	2,46	9,37	0,34	0,041
23	24,62	24,67	24,33	24,54	63,60	54,16	58,88	11,00	-1,98	12,98		-9,98	34,68	41,61	27,08	2,88	10,44	0,54	0,065
24	24,43	24,54	24,07	24,34	64,32	54,54	59,43	11,00	-1,98	12,98		-9,98	32,79	39,96	26,90	1,77	8,79	0,43	0,052
Valores médios:				24,72	56,62			15,07	4,27	14,23		-3,15	35,92	46,74	29,42	3,49	15,57	0,40	0,05

Ensaio CCA-24E (1era repetição)

Condensador convencional a ar - Temperatura programada no interior da câmara: 24°C - Regime estacionário

Tempo	Câmara							Gabinete				Ciclo							Compressor	
	Esquer.	Centro	Direita	$\bar{t}$	U.R. frente	U.R. Atrás	$\overline{UR}$	Conserv.	Congel	P. cons	Reserv	Evapor	Condens	Desc	Succ	Succ	Desc	Intens.	Potência	
h	°C	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	A	kW	
1	24,93	24,83	24,69	24,82	53,30	47,00	50,15	11,00	-2,23	12,97		-9,12	33,42	40,18	26,80	1,69	7,50	0,18	0,02	
2	25,01	24,78	24,68	24,82	53,92	47,44	50,68	11,00	-2,13	12,89		-9,02	33,03	39,66	26,78	1,73	7,16	0,19	0,02	
3	25,01	24,81	24,70	24,84	54,24	47,89	51,06	11,00	-1,85	12,76		-8,74	33,82	40,50	26,73	1,63	7,84	0,29	0,04	
4	24,99	24,82	24,68	24,83	53,57	47,24	50,41	11,00	-1,69	12,86		-8,58	33,50	40,35	26,92	1,67	7,57	0,19	0,02	
5	24,91	24,76	24,68	24,78	55,34	47,93	51,64	11,00	-1,58	12,92		-8,47	32,93	39,72	26,80	1,72	7,17	0,18	0,02	
6	25,34	25,00	25,00	25,11	58,31	50,10	54,20	11,00	-1,40	12,92		-8,29	34,16	40,72	26,75	1,64	7,81	0,28	0,03	
7	24,96	24,79	24,66	24,80	59,09	50,99	55,04	11,00	-1,40	12,88		-8,29	33,56	40,34	26,96	1,67	7,56	0,18	0,02	
8	24,96	24,83	24,71	24,83	59,60	51,08	55,34	11,00	-1,38	12,83		-8,27	32,98	39,76	26,88	1,72	7,16	0,18	0,02	
9	25,07	24,77	24,66	24,83	59,54	51,22	55,38	11,00	-1,42	12,92		-8,31	34,09	40,69	26,73	1,62	7,92	0,27	0,03	
10	25,12	25,00	25,00	25,04	59,92	51,51	55,72	11,00	-1,47	12,92		-8,36	33,41	40,11	27,01	1,70	7,45	0,18	0,02	
11	25,01	24,84	24,72	24,86	60,07	51,74	55,91	11,00	-1,48	12,79		-8,37	33,02	39,42	26,64	1,72	7,11	0,18	0,02	
12	24,88	24,71	24,44	24,67	60,40	52,00	56,20	11,00	-1,61	12,83		-8,50	33,91	40,35	26,53	1,60	7,91	0,27	0,03	
13	24,86	24,77	24,51	24,71	59,75	52,00	55,87	11,00	-1,65	12,76		-8,54	32,98	39,77	26,72	1,72	7,33	0,19	0,02	
14	24,88	24,83	24,66	24,79	58,99	51,30	55,14	11,00	-1,75	12,95		-8,64	32,93	39,52	26,57	1,72	7,17	0,19	0,02	
15	24,91	24,76	24,51	24,73	57,67	50,69	54,18	11,00	-1,76	13,00		-8,65	33,67	40,33	26,45	1,60	7,82	0,26	0,03	
16	24,71	24,61	24,32	24,55	57,01	49,75	53,38	11,00	-1,74	12,98		-8,63	33,08	39,75	26,62	1,68	7,34	0,18	0,02	
17	24,73	24,62	24,46	24,61	57,04	49,82	53,43	11,00	-1,68	12,92		-8,57	32,69	39,12	26,24	1,72	7,12	0,18	0,02	
18	24,80	24,65	24,37	24,61	56,51	49,20	52,85	11,00	-1,57	12,91		-8,46	33,43	39,94	26,36	1,65	7,68	0,27	0,03	
19	24,71	24,70	24,36	24,59	56,62	49,03	52,83	11,00	-1,57	12,91		-8,46	33,23	39,89	26,52	1,66	7,53	0,19	0,02	
20	24,72	24,62	24,33	24,56	57,26	49,60	53,43	11,00	-1,52	12,92		-8,41	32,56	39,34	26,50	1,73	7,11	0,18	0,02	
21	24,64	24,61	24,34	24,53	58,03	50,24	54,14	11,00	-1,49	12,81		-8,38	33,33	39,89	26,33	1,66	7,58	0,26	0,03	
22	24,80	24,65	24,33	24,59	58,43	50,47	54,45	11,00	-1,53	12,82		-8,42	33,42	40,03	26,47	1,65	7,61	0,20	0,02	
23	24,87	24,81	24,49	24,72	59,58	51,08	55,33	11,00	-1,43	12,99		-8,32	32,91	39,57	26,70	1,70	7,16	0,18	0,02	
24	24,86	24,82	24,50	24,72	59,62	50,23	55,33	10,99	-1,47	12,93		-8,36	33,30	39,83	26,65	1,67	7,48	0,23	0,03	
Valores médios:				24,75	53,84			11,00	-1,62	12,89		-8,51	33,31	39,95	26,65	1,68	7,46	0,21	0,03	

Ensaio DCE-32T (1era repetição)

Condensador Evaporativo - Temperatura programada no interior da câmara: 32°C - Regime transiente

Tempo	Câmara							Gabinete				Ciclo							Compressor	
	Esquer.	Centro	Direita	t	U.R. frente	U.R. Atrás	UR	Conserv.	Congel	P. cons	Reserv	Evapor	Condens	Desc	Succ	Succ	Desc	Intens.	Potência	
h	°C	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	A	kW	
1	31,23	31,27	32,35	31,61	67,58	66,29	66,94	26,00	25,72	26,41	29,78	21,60	28,09	56,31	27,70	0,77	10,69	0,98	0,12	
2	31,34	31,37	31,78	31,49	67,44	68,09	67,77	24,98	21,16	19,20	32,80	17,05	30,21	74,38	37,73	0,83	10,50	0,87	0,11	
3	31,61	31,57	32,34	31,84	65,35	66,45	65,90	23,50	17,56	16,93	32,52	13,45	30,57	68,12	34,70	1,03	10,57	0,87	0,11	
4	31,58	31,62	32,34	31,85	62,74	64,08	63,41	21,99	14,78	16,19	31,88	9,66	29,49	60,74	32,70	1,46	9,74	0,73	0,09	
5	31,18	31,31	31,97	31,49	61,10	62,19	61,65	20,58	12,23	16,00	31,61	7,11	29,05	57,73	31,29	1,49	9,33	0,72	0,09	
6	31,18	31,31	32,23	31,57	59,75	60,58	60,16	19,29	10,13	15,88	31,31	5,02	27,96	53,81	30,76	1,73	8,53	0,53	0,06	
7	31,57	31,48	32,48	31,84	56,94	58,00	57,47	18,45	8,45	15,60	31,23	3,34	27,88	52,53	30,05	1,80	8,45	0,51	0,06	
8	31,31	31,43	32,38	31,71	55,22	55,27	55,24	17,67	6,66	15,08	30,96	1,55	27,71	51,67	29,30	1,85	8,51	0,56	0,07	
9	31,61	31,57	32,58	31,92	52,64	52,32	52,48	16,75	5,42	15,00	29,76	-0,69	26,28	49,61	28,79	1,71	7,90	0,48	0,06	
10	31,58	31,48	32,59	31,88	52,48	51,84	52,16	16,00	4,05	15,00	30,23	-2,06	26,26	48,43	28,91	1,93	7,68	0,41	0,05	
11	31,56	31,43	32,50	31,83	53,08	51,95	52,52	15,89	3,08	14,99	30,75	-3,04	26,80	48,99	28,48	1,97	8,14	0,50	0,06	
12	31,58	31,44	32,43	31,82	52,52	51,52	52,02	14,98	2,13	14,80	30,92	-3,98	25,98	47,10	28,85	2,06	7,44	0,33	0,04	
13	31,24	31,10	32,24	31,53	53,23	51,39	52,31	14,62	1,39	14,49	30,78	-4,72	26,75	47,96	28,06	2,07	8,01	0,48	0,06	
14	31,62	31,54	32,48	31,88	52,82	51,49	52,15	14,01	0,85	14,22	30,85	-6,26	25,93	46,42	28,35	2,09	7,39	0,33	0,04	
15	31,57	31,52	32,55	31,88	52,22	51,06	51,64	14,00	0,01	14,42	30,83	-7,10	26,22	46,32	27,90	2,12	7,54	0,40	0,05	
16	31,53	31,43	32,53	31,83	51,76	50,82	51,29	13,98	0,00	14,18	30,79	-7,11	26,32	46,89	27,96	2,08	7,79	0,40	0,05	
17	31,62	31,29	32,56	31,82	51,31	50,48	50,89	13,04	0,00	14,09	30,36	-7,11	25,50	45,18	28,08	2,17	7,08	0,31	0,04	
18	31,60	31,58	32,56	31,91	50,60	49,70	50,15	13,00	0,00	14,03	30,43	-7,11	26,43	46,51	27,61	2,02	7,79	0,33	0,04	
19	31,54	31,38	32,50	31,81	50,45	49,25	49,85	13,00	-0,22	14,01	30,42	-7,33	25,80	45,67	27,95	2,10	7,38	0,32	0,04	
20	31,53	31,20	32,48	31,74	50,10	49,02	49,56	12,91	-1,00	14,00	30,18	-8,11	25,53	44,66	27,64	2,24	7,07	0,30	0,04	
21	31,61	31,37	32,54	31,84	50,16	48,89	49,53	12,24	-1,00	14,00	30,23	-8,11	26,12	45,99	27,17	2,07	7,74	0,39	0,05	
22	31,40	31,24	32,03	31,56	50,74	49,19	49,97	12,02	-1,00	14,00	30,15	-8,11	25,51	44,41	27,30	2,24	7,07	0,29	0,04	
23	31,30	31,12	32,26	31,56	51,49	49,78	50,64	12,00	-1,00	14,00	30,15	-8,11	26,11	45,24	27,08	2,14	7,54	0,28	0,03	
24	31,48	31,41	32,48	31,79	52,39	50,70	51,55	12,00	-1,60	14,00	30,26	-8,71	25,91	45,26	27,34	2,11	7,38	0,22	0,03	
Valores médios:				31,75	54,88			16,37	5,32	15,44	30,80	-0,79	27,02	50,83	29,24	1,84	8,22	0,48	0,06	

Ensaio DCE-32T (1era repetição)

Condensador Evaporativo - Temperatura programada no interior da câmara: 32°C - Regime estacionário

Tempo	Câmara							Gabinete				Ciclo						Compressor	
	Esquer.	Centro	Direita	$\bar{t}$	U.R. frente	U.R. Atras	$\overline{UR}$	Conserv.	Congel	P. cons	Reserv	Evapor	Condens	Desc	Succ	Succ	Desc	Intens.	Potência
h	°C	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	A	kW
1	31,23	31,23	32,25	31,57	92,38	96,52	94,45	12,00	-2,00	14,00	30,08	-8,11	26,10	45,717	27,34	2,08	7,57	0,34	0,04
2	30,95	30,99	31,81	31,25	93,26	97,13	95,19	12,00	-2,00	14,00	29,94	-8,11	25,43	44,283	27,27	2,28	6,96	0,28	0,03
3	30,97	31,02	31,78	31,26	94,28	98,00	96,14	12,00	-2,00	14,00	30,33	-8,11	26,05	44,608	27,20	2,19	7,29	0,34	0,04
4	31,09	31,21	32,00	31,43	95,20	98,57	96,88	12,00	-2,00	14,00	30,84	-8,11	26,52	46,008	27,38	2,06	7,64	0,33	0,04
5	30,92	31,00	31,66	31,19	95,33	98,84	97,08	12,00	-2,00	14,00	30,93	-8,11	25,87	44,875	27,90	2,16	7,03	0,27	0,03
6	31,30	31,34	32,19	31,61	94,79	98,77	96,78	11,98	-2,00	14,00	30,98	-8,11	26,20	44,917	27,89	2,18	7,14	0,32	0,04
7	31,13	31,14	31,99	31,42	93,64	98,01	95,83	11,80	-2,48	14,00	30,87	-8,60	26,55	46,325	27,71	2,00	7,61	0,43	0,05
8	31,41	31,42	32,27	31,70	92,18	97,15	94,66	11,17	-2,98	14,00	30,68	-9,10	26,03	45,433	28,09	2,11	7,26	0,31	0,04
9	31,16	31,14	32,09	31,46	91,63	96,28	93,96	11,21	-3,00	14,00	30,58	-9,11	25,98	44,779	28,03	2,20	6,90	0,29	0,04
10	31,20	31,28	32,08	31,52	90,86	95,83	93,35	11,31	-3,00	14,00	30,87	-9,11	26,52	45,808	27,68	2,04	7,51	0,40	0,05
11	31,39	31,22	32,32	31,64	90,88	95,75	93,32	11,31	-3,00	14,00	30,69	-9,11	25,82	44,983	27,89	2,11	7,10	0,28	0,03
12	31,30	31,23	32,10	31,54	90,73	95,63	93,18	11,28	-3,00	14,00	30,57	-9,11	25,95	44,55	27,85	2,25	7,05	0,29	0,04
13	31,63	31,54	32,57	31,91	90,37	95,60	92,98	11,13	-3,00	14,00	30,57	-9,11	26,43	45,958	27,60	1,95	7,60	0,42	0,05
14	31,28	31,22	32,14	31,55	90,30	95,41	92,86	11,06	-3,00	14,00	30,42	-9,11	26,02	45,091	27,74	2,08	7,14	0,27	0,03
15	31,57	31,42	32,54	31,84	90,01	95,28	92,64	11,01	-3,00	14,00	30,31	-9,11	25,92	44,617	27,65	2,14	6,99	0,25	0,03
16	31,35	31,37	32,28	31,66	89,67	95,03	92,35	11,00	-3,00	14,00	30,59	-9,11	26,68	46,175	27,50	2,08	7,69	0,33	0,04
17	31,33	31,08	32,24	31,55	90,18	95,32	92,75	11,00	-3,00	14,00	30,15	-9,11	25,71	44,95	27,80	1,98	6,99	0,29	0,04
18	31,51	31,36	32,48	31,78	89,88	95,18	92,53	11,00	-3,00	14,00	30,10	-9,11	26,01	44,517	27,56	2,14	6,99	0,25	0,03
19	31,16	31,18	32,10	31,48	90,30	95,48	92,89	11,00	-3,00	14,00	30,04	-9,11	26,34	45,942	27,27	2,03	7,63	0,33	0,04
20	31,54	31,32	32,53	31,79	90,44	95,18	92,81	11,00	-3,00	14,00	30,16	-9,11	25,72	44,642	27,60	2,01	6,86	0,28	0,03
21	31,13	31,05	32,04	31,41	91,75	95,98	93,87	11,00	-3,00	14,00	30,18	-9,11	26,10	44,955	27,41	2,15	7,27	0,25	0,03
22	31,27	31,08	32,11	31,48	92,88	96,88	94,88	11,00	-3,00	14,00	30,43	-9,11	26,10	45,175	27,62	2,08	7,13	0,28	0,03
23	31,22	31,09	32,10	31,47	93,68	97,49	95,59	11,01	-3,00	14,00	30,65	-9,11	26,28	44,817	27,60	2,08	7,03	0,17	0,02
24	31,08	30,97	31,92	31,32	94,68	98,15	96,41	11,04	-3,00	14,00	30,79	-9,11	26,52	45,692	27,79	1,94	7,34	0,17	0,02
Valores médios:				31,54	94,31			11,35	-2,73	14,00	30,49	-8,84	26,12	45,20	27,64	2,10	7,24	0,30	0,04

Ensaio DCE-24T (1era repetição)

Condensador Evaporativo - Temperatura programada no interior da câmara: 24°C - Regime transiente

Tempo	Câmara							Gabinete				Ciclo							Compressor	
	Esquer.	Centro	Direita	$\bar{t}$	U.R. frente	U.R. Atras	$\overline{UR}$	Conserv.	Congel	P. cons	Reserv	Evapor	condens	Desc	Succ	Succ	Desc	Intens.	Potência	
h	°C	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	A	kW	
1	25,30	24,81	24,14	24,75	76,13	67,59	71,86	24,20	23,62	21,48	26,53	21,55	26,19	59,58	27,54	0,99	10,84	0,96	0,12	
2	25,51	24,59	24,08	24,73	84,89	76,94	80,92	22,55	18,78	17,67	27,93	16,71	27,58	70,03	29,39	1,11	8,25	0,83	0,10	
3	25,51	24,78	24,39	24,89	89,77	83,12	86,44	20,00	13,92	17,01	28,02	11,85	28,14	71,37	30,13	1,12	7,21	0,75	0,09	
4	25,53	24,78	24,38	24,90	90,63	85,59	88,11	18,00	9,25	16,93	27,85	7,18	28,14	71,12	30,10	1,11	7,00	0,42	0,05	
5	25,57	24,82	24,52	24,97	95,39	89,63	92,51	17,98	5,30	16,12	27,57	2,23	28,09	71,05	30,00	1,15	7,28	0,42	0,05	
6	25,44	24,84	24,44	24,91	95,44	90,36	92,90	17,31	2,24	16,00	27,80	-0,83	27,50	64,73	29,27	1,70	7,40	0,42	0,05	
7	25,39	24,87	24,50	24,92	95,99	91,00	93,50	16,71	0,25	16,00	27,43	-2,82	27,38	60,38	28,96	1,18	7,05	0,33	0,04	
8	25,51	25,00	24,66	25,05	97,12	91,93	94,52	16,15	0,00	15,98	28,61	-3,07	27,35	59,03	28,65	1,19	6,97	0,25	0,03	
9	25,04	24,79	24,55	24,79	96,10	91,41	93,76	16,00	0,00	15,20	28,18	-3,07	26,84	56,95	27,99	1,19	6,87	0,25	0,03	
10	24,99	24,82	24,72	24,84	96,03	91,42	93,73	16,00	0,00	15,00	28,02	-4,07	26,76	56,05	27,90	0,82	6,85	0,25	0,03	
11	25,02	24,91	24,77	24,90	96,94	91,90	94,42	15,50	0,00	14,00	28,21	-4,07	27,14	56,43	28,17	1,13	7,00	0,17	0,02	
12	24,91	24,72	24,52	24,72	95,87	91,46	93,66	15,00	0,00	14,00	28,37	-4,07	26,45	54,48	27,68	1,20	6,72	0,17	0,02	
13	24,88	24,74	24,60	24,74	96,28	91,85	94,06	15,00	0,00	14,00	28,39	-4,07	26,43	54,02	27,66	1,28	6,72	0,17	0,02	
14	24,93	24,84	24,67	24,82	97,07	92,35	94,71	15,00	0,00	13,99	28,68	-4,07	26,66	54,81	27,88	1,27	6,81	0,17	0,02	
15	24,92	24,84	24,64	24,80	96,88	92,47	94,67	14,66	0,00	13,99	28,26	-5,07	26,42	53,92	27,67	1,29	6,68	0,17	0,02	
16	24,83	24,78	24,48	24,70	96,26	91,93	94,09	14,10	0,00	13,97	28,12	-5,07	26,22	53,03	27,59	1,29	6,59	0,21	0,03	
17	24,91	24,81	24,63	24,78	96,60	92,26	94,43	14,00	0,00	13,97	28,36	-5,07	26,40	52,93	27,48	1,28	6,69	0,18	0,02	
18	24,81	24,73	24,48	24,67	94,63	91,01	92,82	14,00	0,00	13,93	28,23	-5,07	26,04	52,39	27,50	1,30	6,53	0,17	0,02	
19	24,92	24,76	24,73	24,80	90,10	88,81	89,46	14,00	0,00	13,99	28,07	-5,07	26,30	52,71	27,26	1,30	6,69	0,20	0,02	
20	25,00	25,00	25,00	25,00	86,50	85,78	86,14	14,00	0,00	13,91	28,00	-5,07	25,89	51,85	27,11	1,30	6,52	0,15	0,02	
21	24,78	24,67	24,64	24,70	86,51	84,82	85,66	14,00	0,00	13,50	27,77	-5,07	25,59	50,12	26,95	1,31	6,48	0,25	0,03	
22	25,01	24,98	25,00	24,99	86,42	83,69	85,06	14,00	0,00	13,65	27,83	-5,07	25,76	47,65	26,85	1,32	6,57	0,17	0,02	
23	24,78	24,78	24,69	24,75	87,71	83,95	85,83	14,00	0,00	13,33	27,16	-5,07	25,28	46,11	26,66	1,35	6,38	0,17	0,02	
24	24,78	24,78	24,55	24,70	88,95	84,72	86,83	14,00	0,00	13,56	27,02	-5,07	25,83	45,01	26,93	1,30	6,63	0,17	0,02	
Valores médios:				24,83	90,00			16,09	3,06	15,05	27,93	-0,89	26,68	56,91	28,06	1,23	7,03	0,31	0,04	

Ensaio DCE-24T (1era repetição)

Condensador Evaporativo - Temperatura programada no interior da câmara: 24°C - Regime estacionário

Tempo h	Câmara							Gabinete				Ciclo						Compressor	
	Esquer.	Centro	Direita	$\bar{t}$	U.R. frente	U.R. Atras	$\overline{UR}$	Conserv.	Congel	P. cons	Reserv	Evapor	Condens	Desc	Succ	Succ	Desc	Intens.	Potência
	°C	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	A	kW
1	25,00	25,00	24,98	24,99	95,43	91,48	93,45	13,00	-3,85	14,00	26,78	-5,66	25,35	42,45	26,57	1,09	6,63	0,17	0,02
2	24,61	24,58	24,64	24,61	96,60	92,33	94,47	13,00	-4,73	14,00	27,00	-6,57	24,54	41,27	26,62	1,14	5,47	0,24	0,03
3	24,70	24,79	24,67	24,72	97,79	93,33	95,56	13,00	-5,64	14,00	27,20	-7,38	23,96	41,27	26,43	1,09	5,69	0,31	0,04
4	24,67	24,68	24,60	24,65	97,13	92,84	94,99	12,98	-6,45	14,00	27,30	-7,97	24,59	42,08	26,42	1,00	6,11	0,33	0,04
5	24,74	24,80	24,82	24,79	97,88	93,54	95,71	12,36	-7,04	14,00	27,69	-8,81	24,54	41,14	26,57	1,08	5,61	0,26	0,03
6	25,00	25,00	25,00	25,00	97,03	92,64	94,83	12,24	-7,88	14,00	27,71	-8,96	24,91	41,25	26,76	1,07	5,48	0,27	0,03
7	25,00	25,00	25,00	25,00	96,46	92,35	94,40	12,18	-8,03	14,00	27,53	-9,59	25,23	42,15	26,57	1,00	6,10	0,17	0,02
8	25,00	25,00	25,00	25,00	95,81	91,93	93,87	12,03	-8,66	14,00	27,28	-9,92	25,29	41,74	26,70	1,05	5,93	0,28	0,03
9	24,99	25,00	25,00	25,00	94,62	91,16	92,89	12,01	-8,99	14,00	27,43	-9,93	25,15	40,87	26,47	1,13	5,29	0,23	0,03
10	25,00	24,98	25,00	24,99	94,01	90,57	92,29	12,00	-9,00	14,00	27,45	-9,93	25,24	41,53	26,22	1,02	5,91	0,17	0,02
11	24,98	24,93	25,00	24,97	93,73	90,34	92,03	12,00	-9,00	14,00	27,31	-9,93	25,17	41,15	26,07	1,12	5,71	0,24	0,03
12	24,88	24,70	25,00	24,86	93,57	90,18	91,88	12,00	-9,00	14,00	27,07	-9,93	24,99	40,63	25,89	1,07	5,36	0,26	0,03
13	24,78	24,48	25,00	24,76	93,40	90,07	91,73	12,00	-9,00	14,00	27,00	-9,93	25,09	40,88	25,77	1,09	5,63	0,17	0,02
14	24,82	24,60	25,00	24,81	93,34	90,08	91,71	12,00	-9,00	14,00	27,00	-9,93	25,10	41,12	25,86	1,06	5,77	0,27	0,03
15	24,60	24,65	25,00	24,75	93,07	89,92	91,49	12,00	-9,00	13,89	27,00	-9,93	25,14	40,14	25,91	1,15	5,05	0,23	0,03
16	24,55	24,49	24,99	24,68	92,86	89,76	91,31	12,00	-9,00	13,86	27,00	-9,93	25,49	41,21	25,72	1,06	5,99	0,17	0,02
17	24,42	24,68	24,99	24,70	92,93	89,70	91,31	12,00	-9,00	13,71	27,00	-9,91	25,11	40,30	25,88	1,15	5,29	0,23	0,03
18	24,36	24,47	24,97	24,60	92,36	89,18	90,77	12,00	-8,98	13,88	27,00	-9,89	24,87	40,27	25,79	1,14	5,39	0,28	0,03
19	24,53	24,40	24,99	24,64	92,22	89,35	90,78	12,00	-8,96	13,92	27,00	-9,91	25,07	41,14	25,81	1,04	5,81	0,17	0,02
20	24,53	24,79	25,00	24,77	92,17	89,76	90,96	12,00	-8,98	13,93	27,00	-9,93	24,54	40,37	25,87	1,10	5,27	0,08	0,01
21	24,75	24,86	25,00	24,87	91,75	90,00	90,87	12,00	-9,00	13,93	27,00	-9,93	24,51	40,60	25,78	1,09	5,53	0,17	0,02
22	24,98	24,98	25,00	24,99	91,78	90,25	91,02	12,00	-9,00	13,89	27,03	-9,93	24,67	41,53	25,83	1,00	5,84	0,08	0,01
23	24,89	24,88	24,83	24,86	91,28	89,95	90,61	12,00	-9,00	13,93	27,15	-9,93	24,52	41,05	26,03	1,06	5,55	0,08	0,01
24	24,75	24,73	24,83	24,77	93,19	91,38	92,28	12,00	-9,00	13,75	27,00	-11,00	24,30	40,40	25,90	1,10	5,23	0,08	0,01
Valores médios:				24,82	92,55			12,20	-8,17	13,95	27,16	-9,36	24,89	41,10	26,14	1,08	5,65	0,21	0,02

E. Históricos dos parâmetros medidos durante 24 horas para todos os ensaios

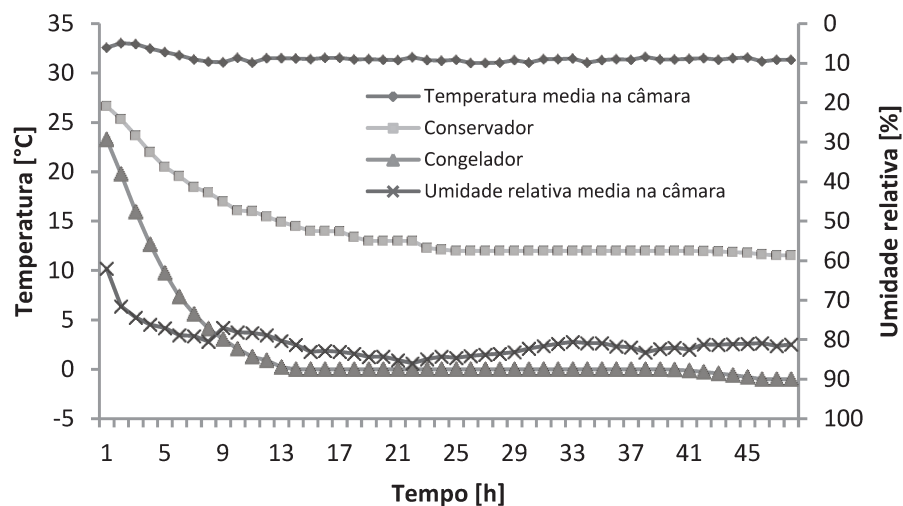


Figura E-1 : Histórico de temperatura e umidade relativa durante o ensaio CCA 32 T 1ª repetição

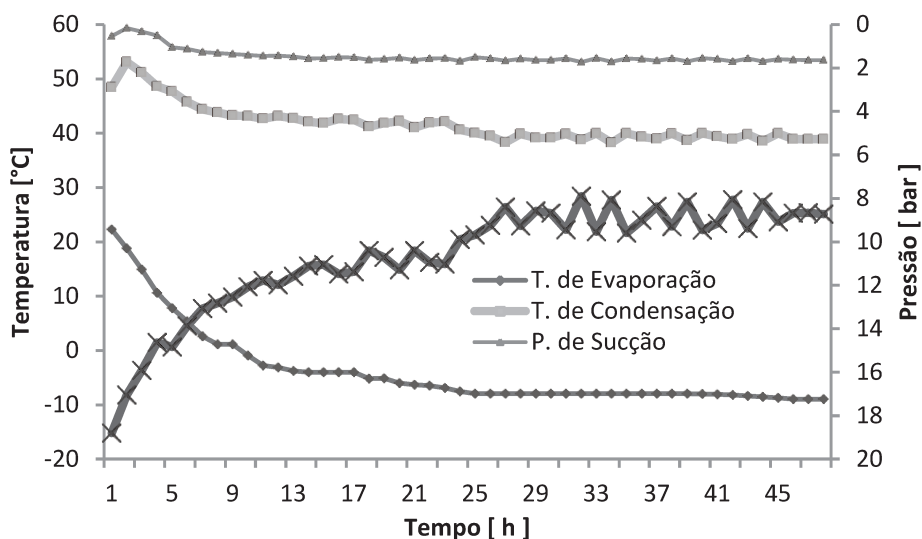


Figura E-2 : Histórico de temperaturas e pressões durante o ensaio CCA 32 T 1ª repetição

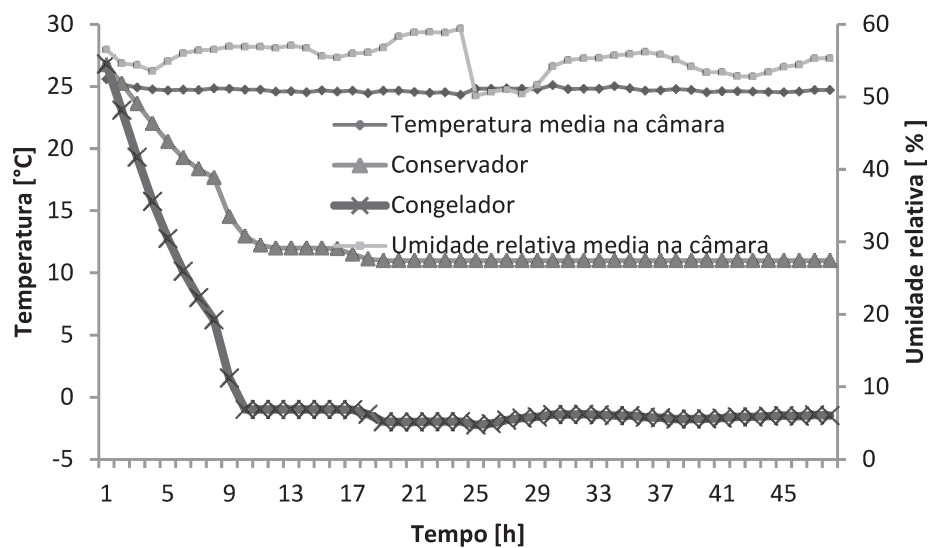


Figura E-3 : Histórico de temperaturas e umidade relativa durante o ensaio CCA 24 T1ª repetição

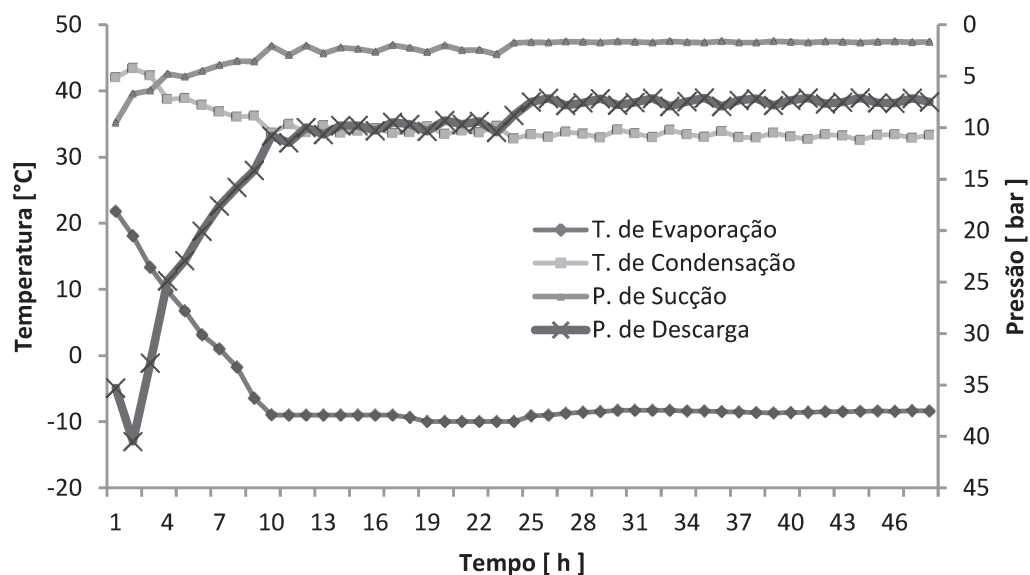


Figura E-4 : Histórico de temperaturas e pressões durante o ensaio CCA 24 T 1ª repetição

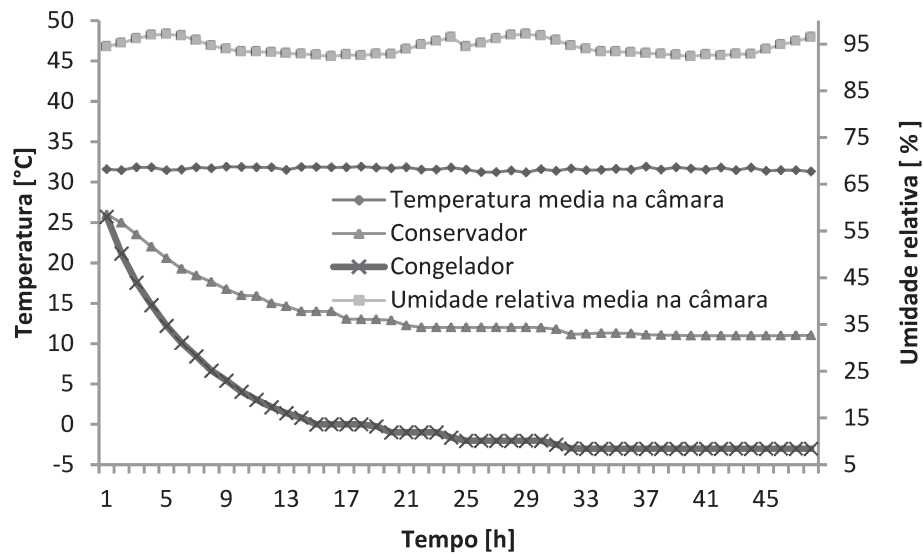


Figura E-5 : Histórico de temperaturas e umidade relativa durante o ensaio DCE 32 T 1ª repetição

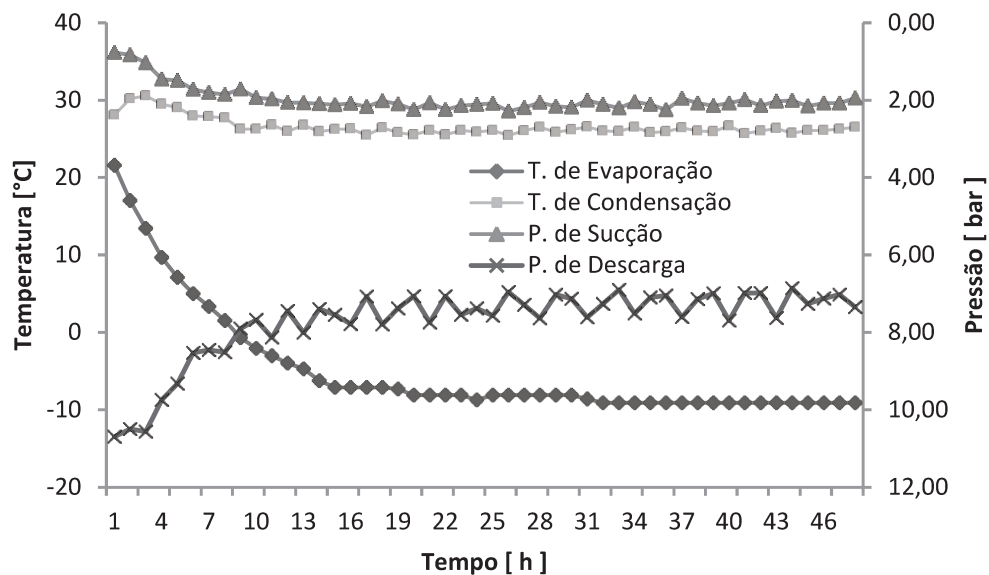


Figura E-6 : Histórico de temperaturas e pressões durante o ensaio DCE 32 T 1ª repetição

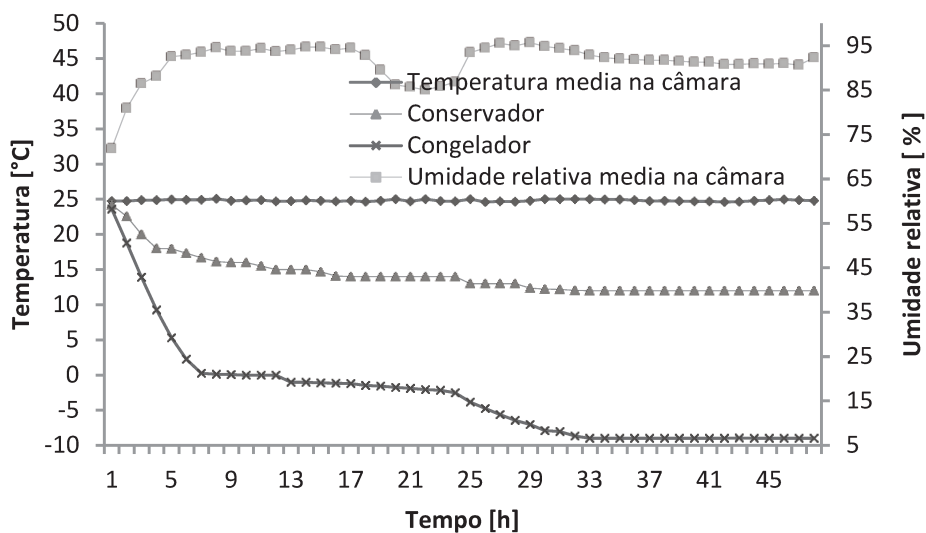


Figura E-7 : Histórico de temperaturas e umidade relativa durante o ensaio DCE 24 T 1ª repetição

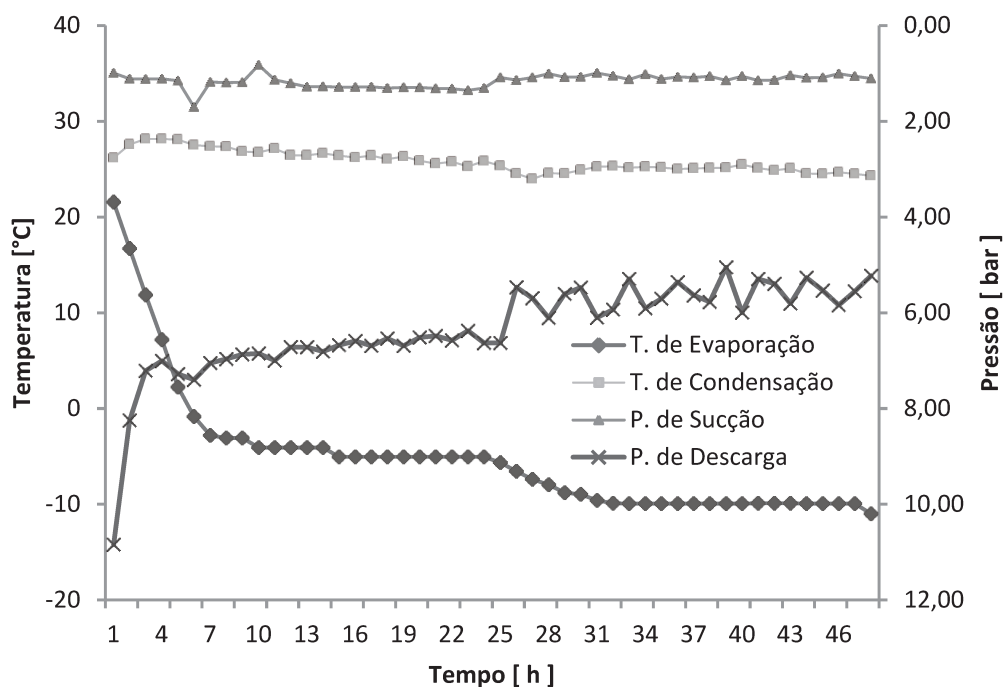


Figura E-8 : Histórico de temperaturas e pressões durante o ensaio DCE 24 T 1ª repetição

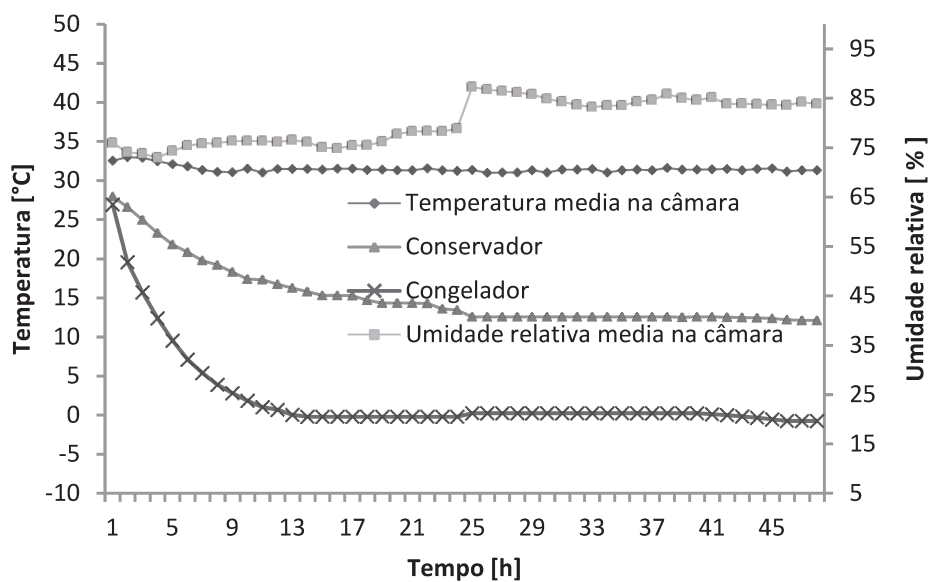


Figura E-9 : Histórico de temperaturas e umidade relativa durante o ensaio CCA 32 T 2ª repetição

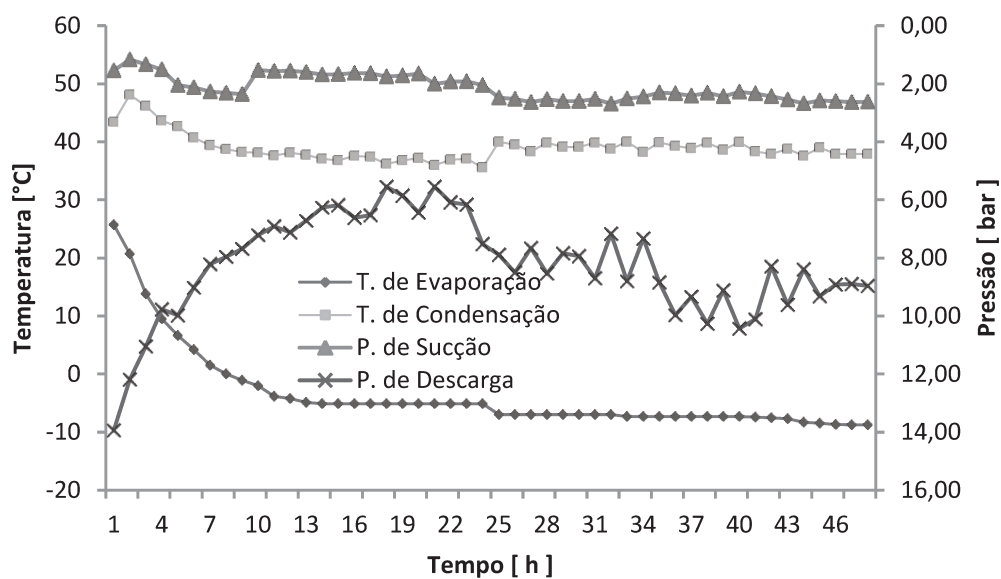


Figura E-10 : Histórico de temperaturas e pressões durante o ensaio CCA32 T 2ª repetição

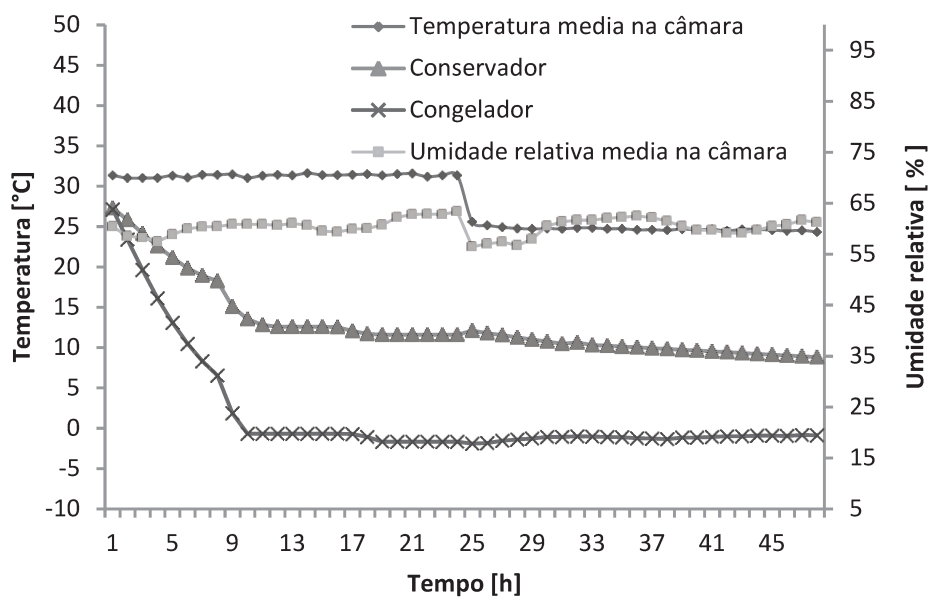


Figura E-11 : Histórico de temperaturas e umidade relativa durante o ensaio CCA 24 T 2ª repetição

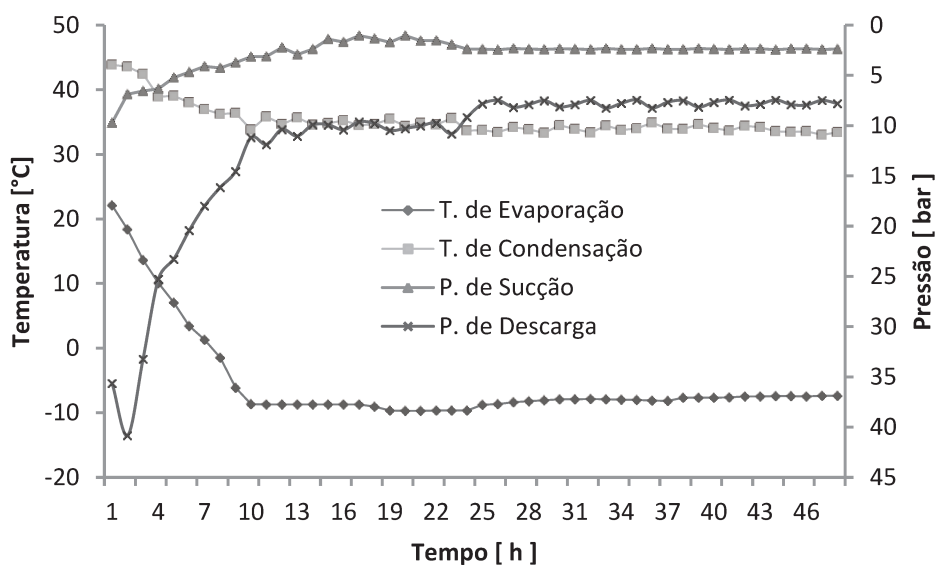


Figura E-12 : Histórico de temperaturas e pressões durante o ensaio CCA 24 T 2ª repetição

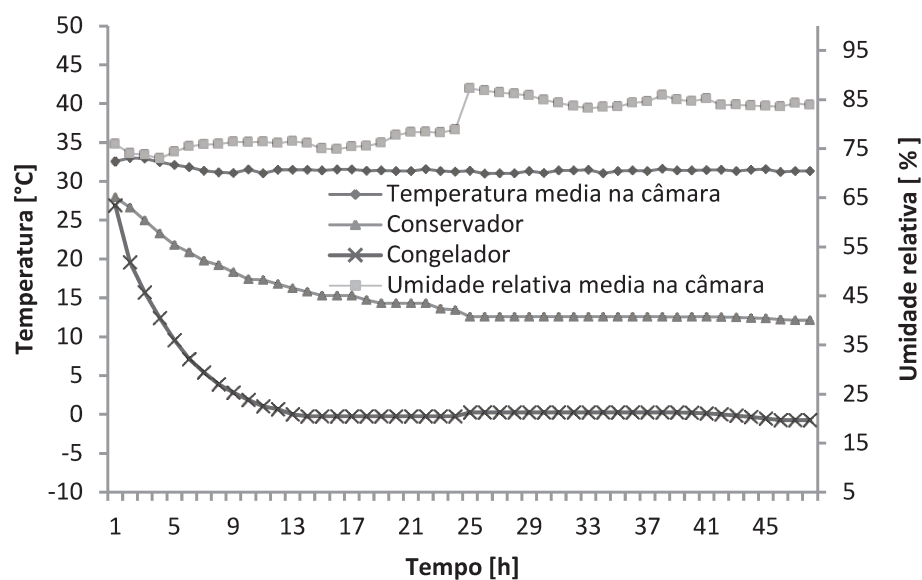


Figura E-13 : Histórico de temperaturas e umidade relativa durante o ensaio DCE 32 T 2ª repetição

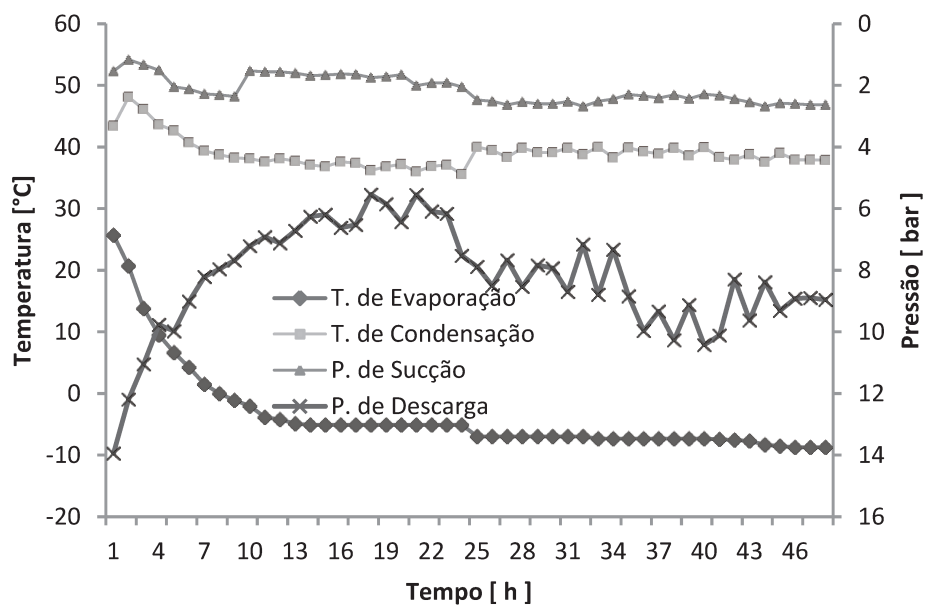


Figura E-14 : Histórico de temperaturas e pressões durante o ensaio DCE 32 T 2ª repetição

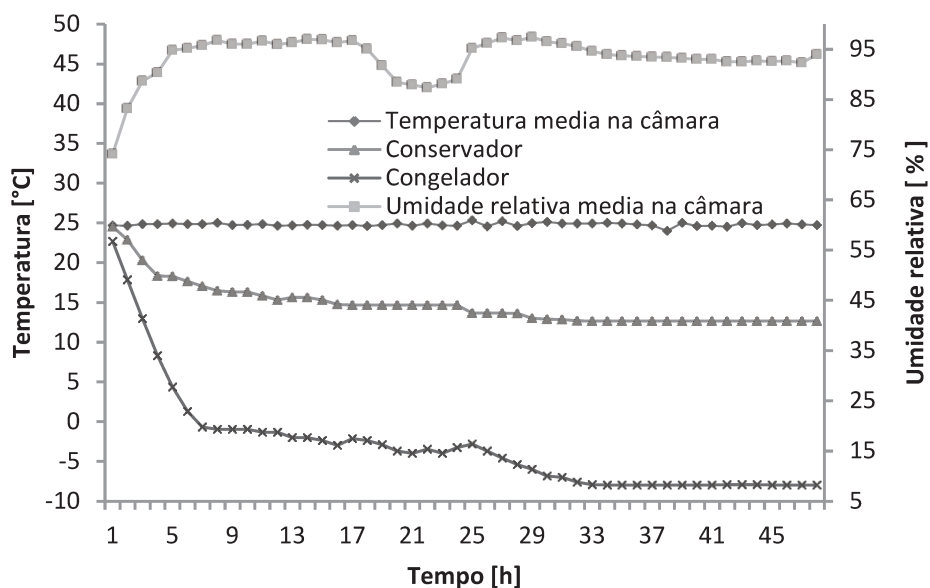


Figura E-15 : Histórico de temperaturas e umidade relativa durante o ensaio DCE 24 T 2ª repetição

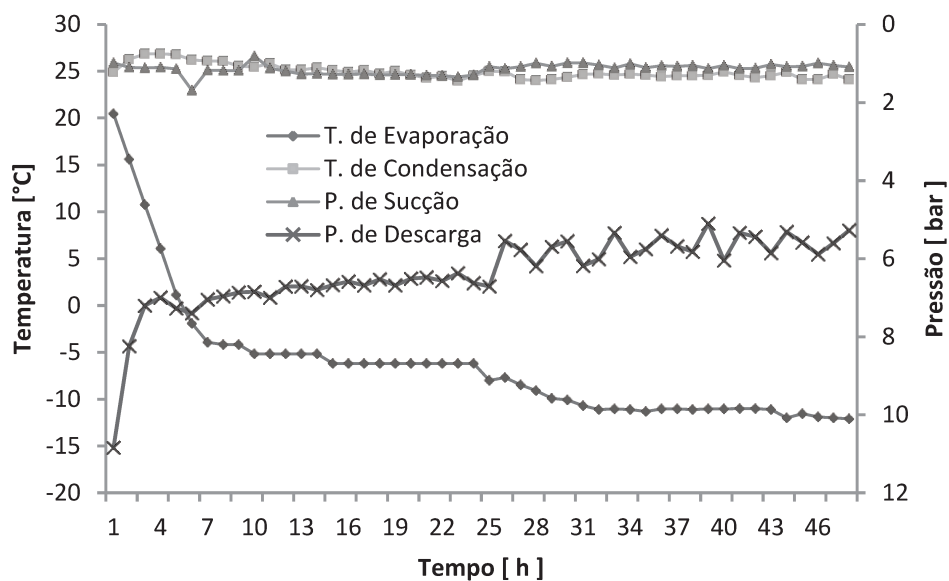
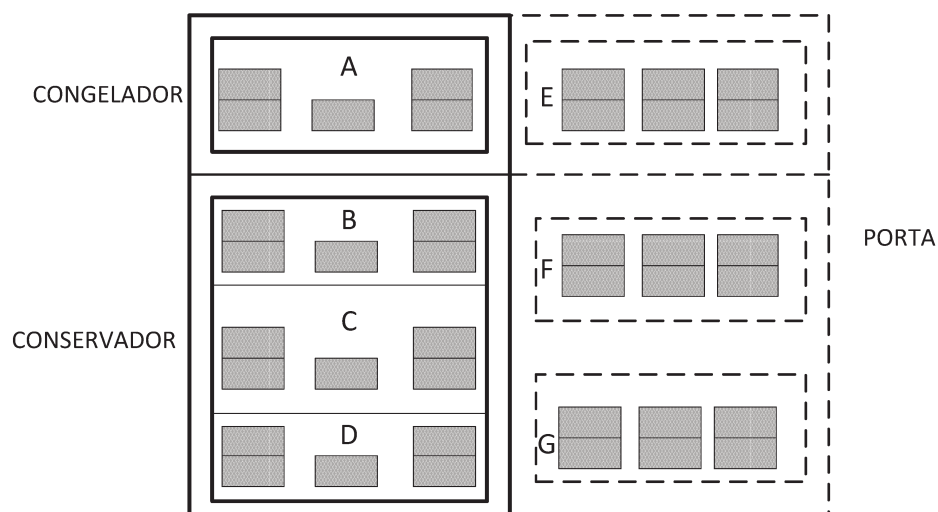


Figura E-16 : Histórico de temperaturas e pressões durante o ensaio DCE 24 T 2ª repetição

F. Composição e distribuição dos pacotes térmicos dentro do refrigerador



PACOTES TERMICOS			
DIMENSÕES[mm]	25X50X100		
MASSA [g]	125		
REGIÃO	Nº DE PACOTES TERMICOS CAPACIDADE TOTAL 100 %	75 % do Volume total	
A	11	8	
B	12	9	
C	8	6	
D	9	7	
E	6	-*	
F	6	-*	
G	6	-*	

- Segundo a norma NBR12864, a porta do refrigerador deve se preencher com o 100 % de sua capacidade.

COMPOSIÇÃO DA MISTURA [g]	
CMC	2,8
AGUA DESTILADA	9,5
CLORETO DE SODIO	0,06
INHIBIDOR DE FUNGO	0,01

G. Fotos do cenário de estudo

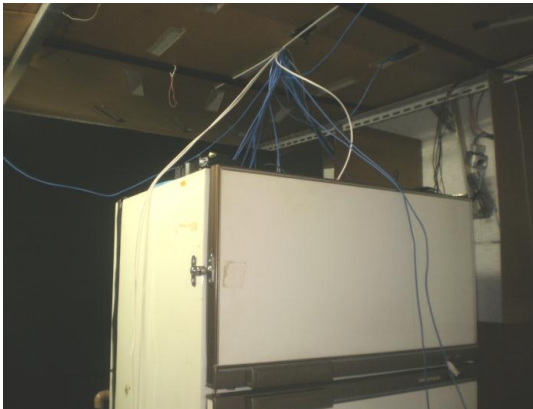
FOTO N°1: Vista frontal da câmara de ensaios e o computador utilizado no controle da câmara	FOTO N°2: Refrigerador com os pacotes térmicos colocados dentro do compartimento congelador.
	
FOTO N°3: Controlador lógico programável montado na estrutura exterior da câmara de ensaios.	FOTO N°4: Refrigerador com termopares dispostos dentro do gabinete.
	

FOTO N°5: Transdutor de corrente



FOTO N°6: Chaves contatoras

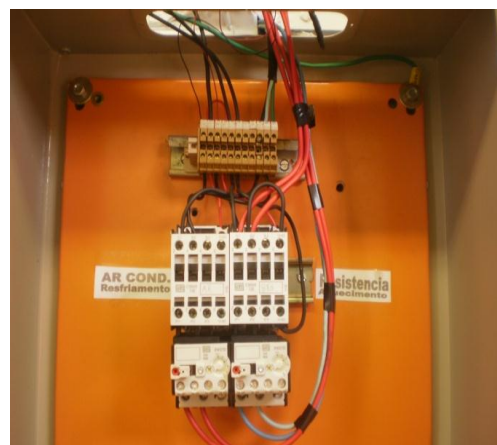


FOTO N°7: Computador ligado ao controlador logico programável.



FOTO N°8: Entrada de ar, para resfriamento



FOTO N°9: Transmissores de temperatura com os sensores de temperatura ligados

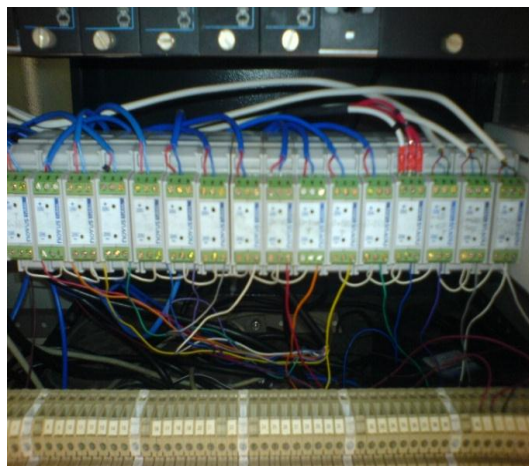


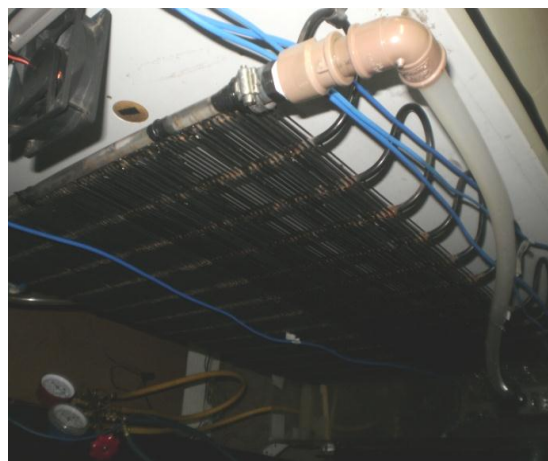
FOTO N°10: Módulos AIM e RDM



FOTO N°11: Reservatório de água com bomba submersa em funcionamento



FOTO N°12: Tubulação vertical e horizontal para deslocamento e dispersão da água no condensador



H. Programa desenvolvido no software SPDSW V.2.5.1.5 para monitoração e controle de parâmetros na câmara de ensaios e ciclo de refrigeração



S P D S W - Versão 2.5.15

Projeto:	controle
Endereço de acesso:	255
Programa de Aplicação:	CONTROLE
Controlador:	MCI02-QC
I H M:	Nenhum
Versão:	1.000
Descrição:	Monitoracao e controle de temperatura UR pressao - resistencia/ar condicic
Responsavel:	MIRKO
Empresa:	HI Tecnologia Ind. e Com. Ltda
Criado por:	SPDSW Ver 1.4.04
Criado em:	01/01/1997 00:58:27
Última carga:	14/01/2010 13:42:42
Última Alteração:	19/01/2010 00:50:50

Especificação dos módulos do controlador

Rack	Slot	Código	Módulo	Canais	S1	S2	S3
00	00	301.102.209.000	CPU209	2	---	---	---

Processador c/ 2 canais seriais, 128 Kbytes de FLASH, 4 Kbytes de NVRAM e Relógio de Tempo Real (RTC)

Canal	Ident.	Tipo	Descrição
00	COM0	Canal serial RS232-C/RS485	

Rack	Slot	Código	Módulo	Canais	S1	S2	S3
00	01	301.102.230.000	AIM230	8	ON	OFF	ON

Módulo de entradas analógicas com 8 canais diferenciais de 10 bits

Canal	Ident.	Tipo	Descrição
00	E0000	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 1
01	E0001	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 2
02	E0002	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 3
03	E0003	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 4
04	E0004	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 5
05	E0005	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 6
06	E0006	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 7
07	E0007	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 8

Rack	Slot	Código	Módulo	Canais	S1	S2	S3
00	02	301.102.230.000	AIM230	8	OFF	OFF	ON

Módulo de entradas analógicas com 8 canais diferenciais de 10 bits

Canal	Ident.	Tipo	Descrição
00	E0008	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 9
01	E0009	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 10
02	E0010	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 11
03	E0011	Entrada Analógica Simples	TERMOPAR 12
04	E0012	Entrada Analógica Simples	PT100 13
05	E0013	Entrada Analógica Simples	PT100 14
06	E0014	Entrada Analógica Simples	PT100 15
07	E0015	Entrada Analógica Simples	PT100 16

Rack	Slot	Código	Módulo	Canais	S1	S2	S3
00	03	301.102.217.000	DOM217	16	OFF	ON	ON

Módulo de saídas digitais a transistor com 16 canais opto acoplados tipo PNP

Canal	Ident.	Tipo	Descrição
00	O0000	Saída Digital PNP Isolada	
01	O0001	Saída Digital PNP Isolada	
02	O0002	Saída Digital PNP Isolada	
03	O0003	Saída Digital PNP Isolada	
04	O0004	Saída Digital PNP Isolada	
05	O0005	Saída Digital PNP Isolada	
06	O0006	Saída Digital PNP Isolada	
07	O0007	Saída Digital PNP Isolada	
08	O0008	Saída Digital PNP Isolada	
09	O0009	Saída Digital PNP Isolada	
10	O0010	Saída Digital PNP Isolada	

11	O0011	Saída Digital PNP Isolada
12	O0012	Saída Digital PNP Isolada
13	O0013	Saída Digital PNP Isolada
14	O0014	Saída Digital PNP Isolada
15	O0015	Saída Digital PNP Isolada

Rack	Slot	Código	Módulo	Canais	S1	S2	S3
01	00	301.102.600.030	MFB600-FQG	2	OFF	OFF	OFF
Módulo gerador de frequência programável com 2 canais							

Canal	Ident.	Tipo	Descrição
00	T0000	Frequência Programável	
01	T0001	Frequência Programável	

Rack	Slot	Código	Módulo	Canais	S1	S2	S3
01	01	301.102.230.000	AIM230	8	ON	ON	OFF
Módulo de entradas analógicas com 8 canais diferenciais de 10 bits							

Canal	Ident.	Tipo	Descrição
00	E0016	Entrada Analógica Simples	UMIDADE RELATIVA 1
01	E0017	Entrada Analógica Simples	UMIDADE RELATIVA 2
02	E0018	Entrada Analógica Simples	PRESSÃO 1
03	E0019	Entrada Analógica Simples	PRESSÃO 2
04	E0020	Entrada Analógica Simples	PRESSÃO 3
05	E0021	Entrada Analógica Simples	PRESSÃO 4
06	E0022	Entrada Analógica Simples	
07	E0023	Entrada Analógica Simples	

Rack	Slot	Código	Módulo	Canais	S1	S2	S3
01	02	301.102.230.000	AIM230	8	OFF	ON	OFF
Módulo de entradas analógicas com 8 canais diferenciais de 10 bits							

Canal	Ident.	Tipo	Descrição
00	E0024	Entrada Analógica Simples	CORRENTE ELÉTRICA
01	E0025	Entrada Analógica Simples	
02	E0026	Entrada Analógica Simples	
03	E0027	Entrada Analógica Simples	
04	E0028	Entrada Analógica Simples	
05	E0029	Entrada Analógica Simples	
06	E0030	Entrada Analógica Simples	
07	E0031	Entrada Analógica Simples	

Rack	Slot	Código	Módulo	Canais	S1	S2	S3
01	03	301.102.260.000	AOM260	4	ON	OFF	OFF
Módulo de saídas analógicas com 4 canais de 10 bits							

Canal	Ident.	Tipo	Descrição
00	S0000	Saída Analógica simples	
01	S0001	Saída Analógica simples	
02	S0002	Saída Analógica simples	
03	S0003	Saída Analógica simples	

Tabela de Constante inteira (16bits)				
Ident.	NU	Valor	Tag	Descrição
K0000		0	0	cte entera val min de temp [0]
K0001		100	100	cte entera val max de temp [100]
K0002		4095	4095	cte entera val max do range [4095]
K0003		-20	-20	cte entera val min de temp [-20]
K0004		20	20	cte entera val min de temperatura en val abs [20]
K0005	X	25	25	limite maximo do transdutor de pressao [25]
K0006	X	5	5	limite maximo do transdutor de corrente [5]
K0007		10		
K0008		50		

Obs: NU = X -> Constante inteira (16bits) associada não utilizada no programa.

Tabela de Constante longa (32bits)

Ident.	NU	Valor	Tag	Descrição
--------	----	-------	-----	-----------

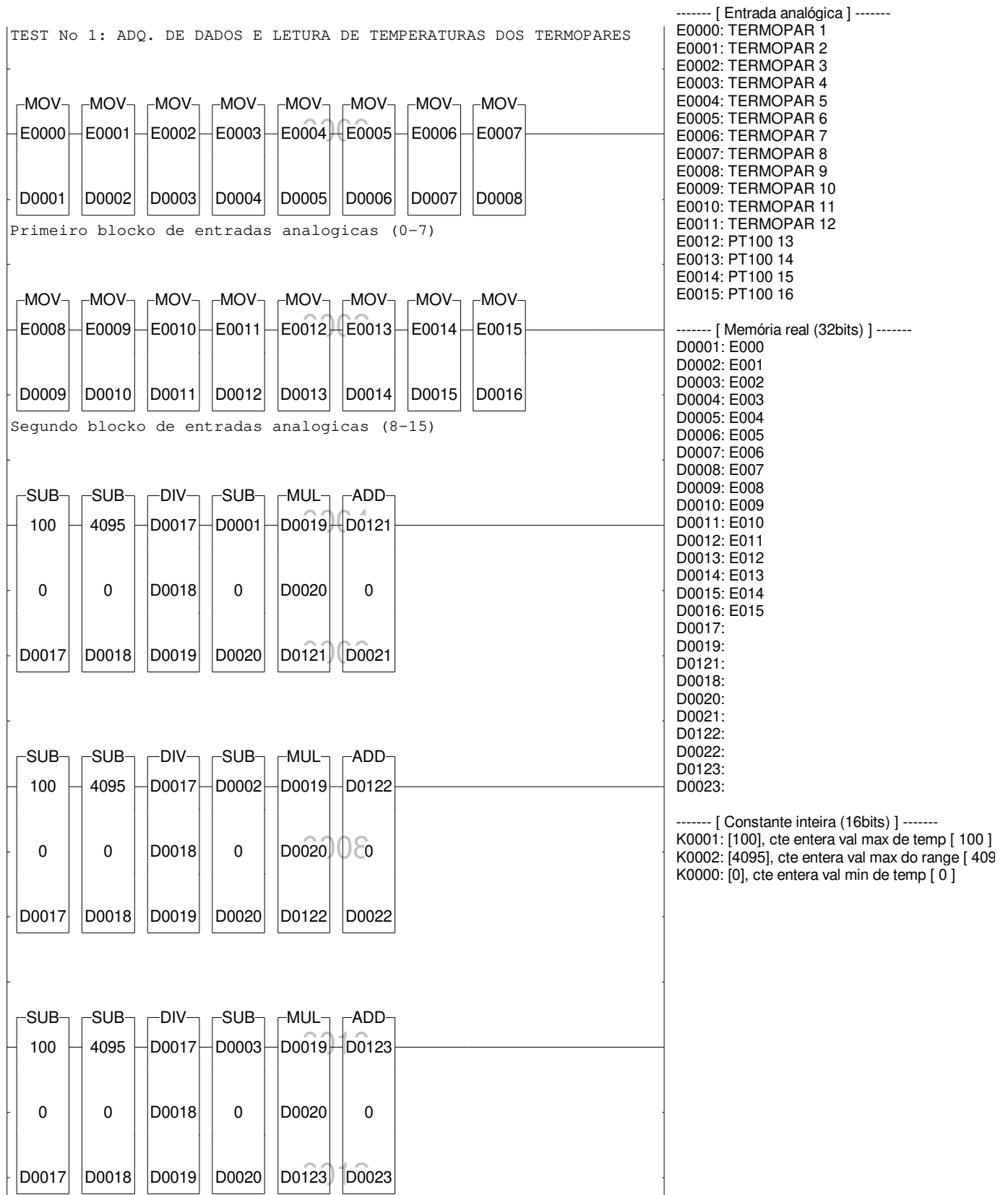
Obs: Sem Constante longa (32bits) definida no programa corrente.

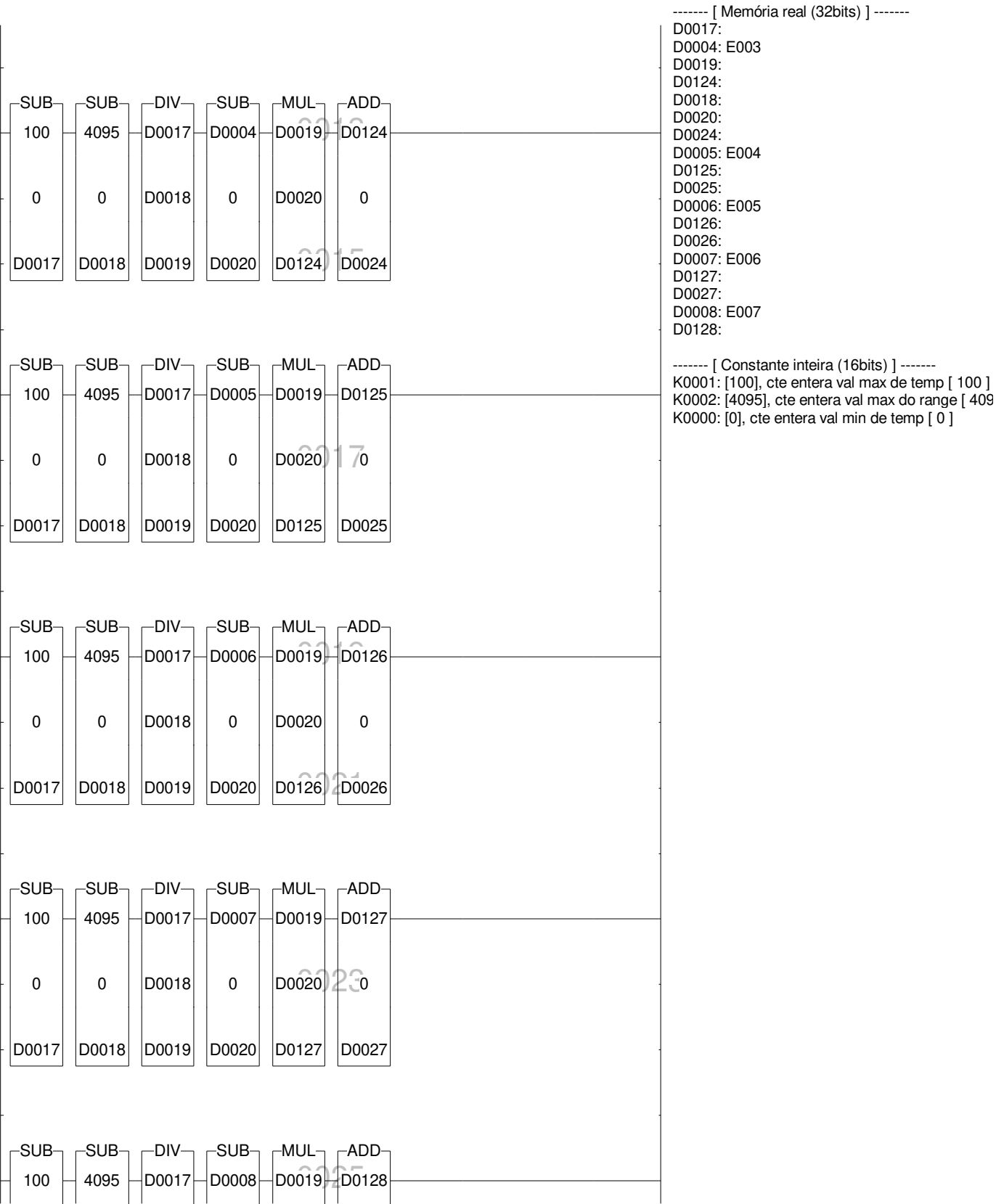
Tabela de Constante real				
Ident.	NU	Valor	Tag	Descrição
Q0000		0.985000		
Q0001		0.979800		
Q0002		0.984300		
Q0003		0.982200		
Q0004		0.994000		
Q0005		0.988700		
Q0006		0.980100		
Q0007		0.983000		
Q0008		0.973100		
Q0009		0.982500		
Q0010		0.994900		
Q0011		0.984600		
Q0012		1.001800		
Q0013		1.003500		
Q0014		1.005800		
Q0015		1.001000		
Q0016	X	60.000000	10	DESLIGA AQUECIMENTO [60.000000]
Q0017	X	1.071800		
Q0018	X	0.020900		
Q0019	X	18.000000	31.9	LIGA AQUECIMENTO [18.000000]
Q0020		1.378800		
Q0021		1.685700		
Q0022		1.932900		
Q0023		2.109400		
Q0024		1.939600		
Q0025		2.202100		
Q0026		1.216700		
Q0027		1.774600		
Q0028		1.210900		
Q0029		1.991800		
Q0030		2.052400		
Q0031		0.981600		
Q0032		0.360700		
Q0033		0.298500		
Q0034		0.421700		
Q0035		0.940600		
Q0036	X	40.000000		
Q0037	X	20.000000		
Q0039	X	0.000004		a transdutor umidade 1 [0.000004]
Q0040	X	0.708300		b transdutor umidade 1 [0.708300]
Q0041	X	25.722000		c transdutor umidade 1 [25.722000]
Q0042	X	0.000020		a transdutor umidade 2 [0.000020]
Q0043	X	1.222800		b transdutor umidade 2 [1.222800]
Q0044	X	-10.378000		c transdutor umidade 2 [-10.378000]
Q0045		0.006105		fator correcao de pressao [0.006105]
Q0046	X	26.000000	26	
Q0047	X	35.000000	35	
Q0048	X	0.702000		FATOR PARA MULTIP CALIB DE TRANS. DE PRESSAO 3 [0.702000]
Q0049	X	3.000000		FATOR PARA SUBST CALIB DE TRANS DE PRESS [3.000000]
Q0050	X	0.698000		FATOR PARA MULT CALIB TRANS DE PRES 4 [0.698000]
Q0051	X	0.938000		FATOR PARA SUBST CALIB DE TRANS DE PRES 4 [0.938000]
Q0052		25.500000		
Q0053		22.500000		
Q0056		2.600000		FATOR CALIBR HUMIDADE D96 [2.600000]
Q0057		6.300000		FATOR CALIBR HUMIDADE D94 [6.300000]
Q0060		0.100000		fator calibra press trans 3 [0.100000]
Q0061		0.010000		fator calibra press trans 4 [0.010000]
Q0093		0.000000		
Q0094		5.000000		
Q0095		4095.000000		
Q0096	X	0.100000		
Q0098		33.500000		

Tabela de Constante real

Ident.	NU	Valor	Tag	Descrição
Q0099		30.500000		

Obs: NU = X -> Constante real associada não utilizada no programa.





SUB

100

0

D0017

SUB

4095

0

D0018

DIV

D0017

D0018

D0019

SUB

D0007

0

D0020

MUL

D0019

D0020

D0127

ADD

D0127

0

D0027

D0017

D0018

D0019

D0020

D0127

D0027

SUB

100

0

D0017

SUB

4095

0

D0018

DIV

D0017

D0018

D0019

SUB

D0008

0

D0020

MUL

D0019

D0020

D0128

ADD

D0128

0

D0028

D0017

D0018

D0019

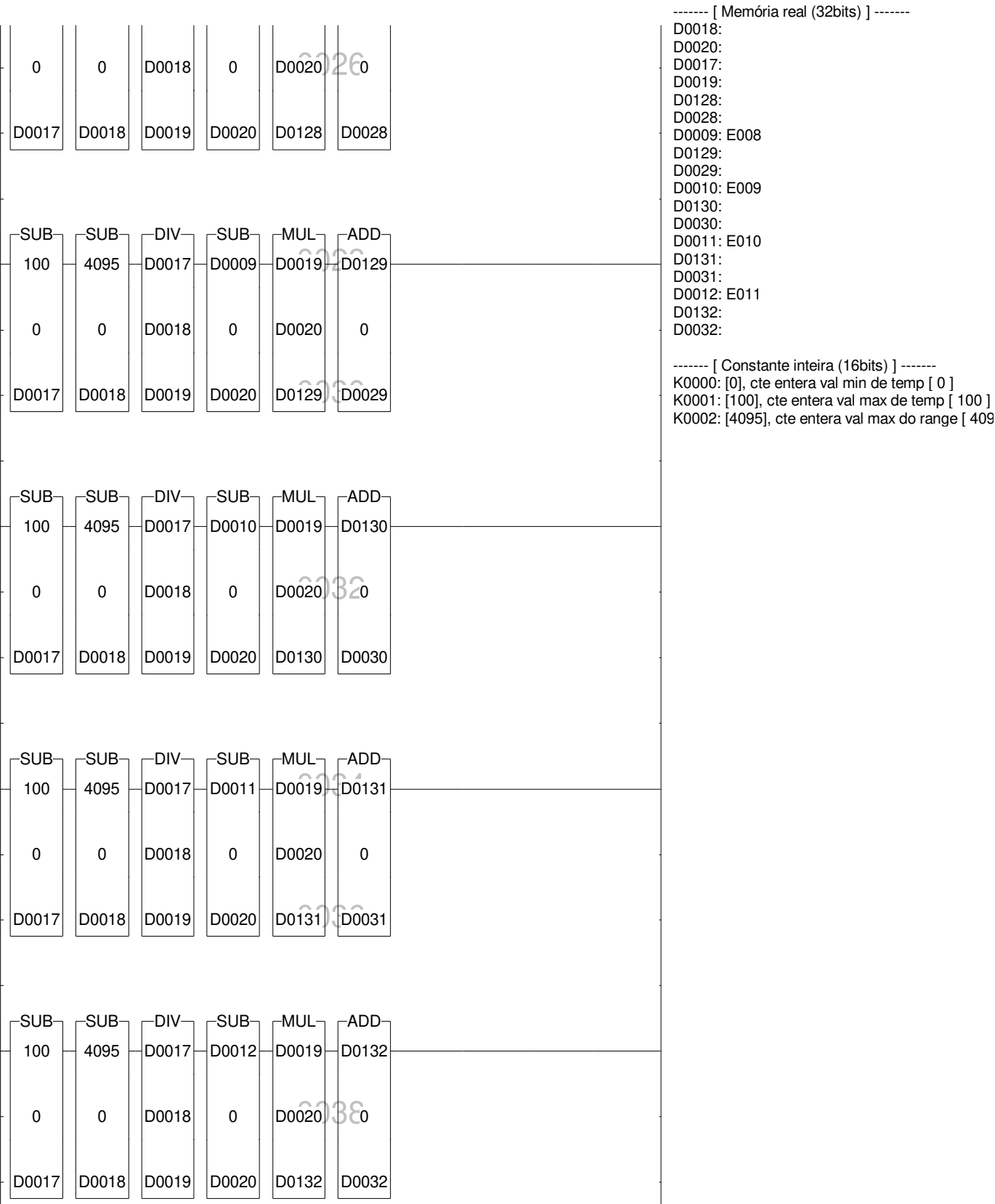
D0020

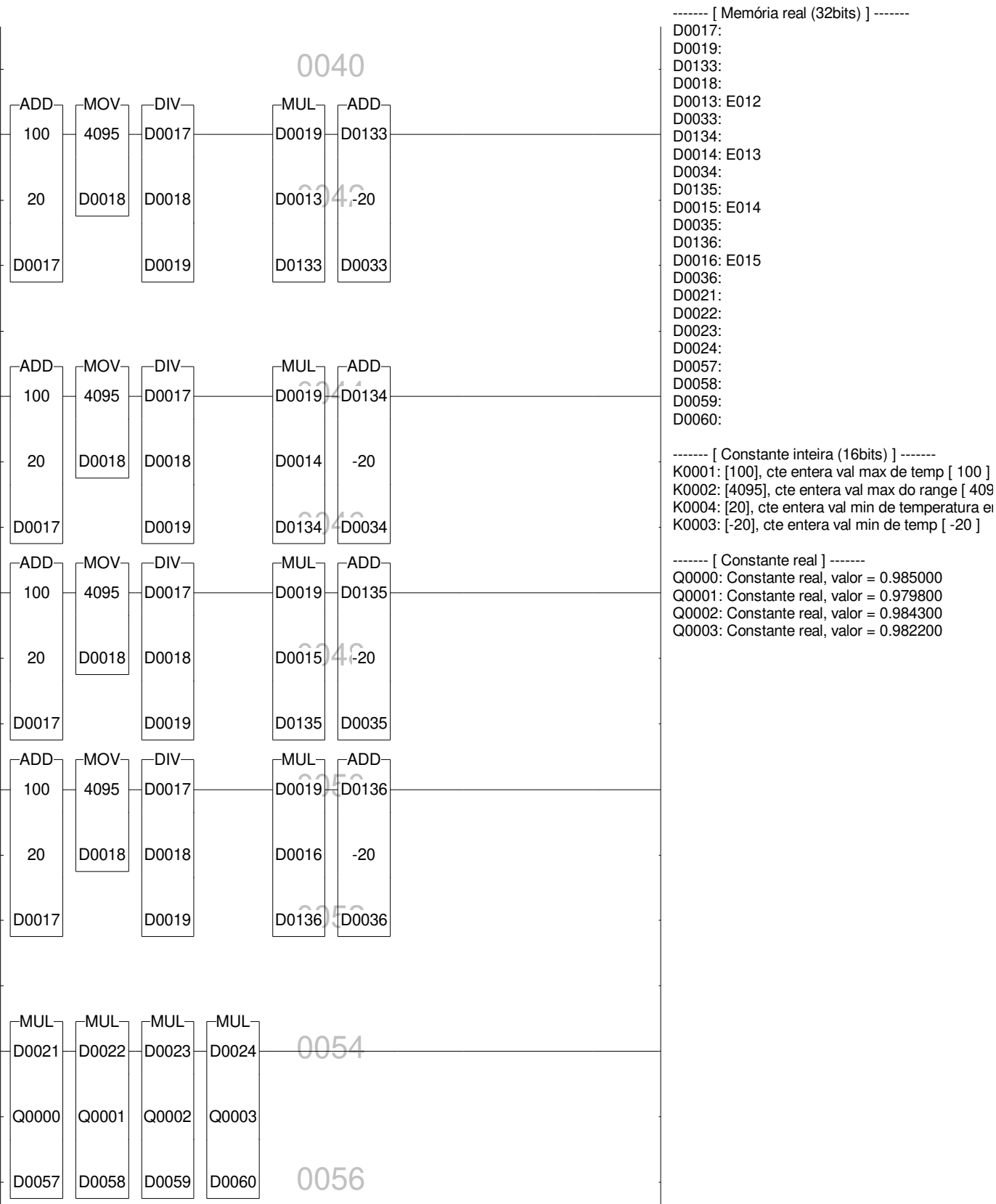
D0128

D0028

----- [Memória real (32bits)] -----
D0017:
D0004: E003
D0019:
D0124:
D0018:
D0020:
D0024:
D0005: E004
D0125:
D0025:
D0006: E005
D0126:
D0026:
D0007: E006
D0127:
D0027:
D0008: E007
D0128:

----- [Constante inteira (16bits)] -----
K0001: [100], cte entera val max de temp [100]
K0002: [4095], cte entera val max do range [409
K0000: [0], cte entera val min de temp [0]





----- [Memória real (32bits)] -----

D0017:

D0019:

D0133:

D0018:

D0013: E012

D0033:

D0134:

D0014: E013

D0034:

D0135:

D0015: E014

D0035:

D0136:

D0016: E015

D0036:

D0021:

D0022:

D0023:

D0024:

D0057:

D0058:

D0059:

D0060:

----- [Constante inteira (16bits)] -----

K0001: [100], cte entera val max de temp [100]

K0002: [4095], cte entera val max do range [409

K0004: [20], cte entera val min de temperatura ei

K0003: [-20], cte entera val min de temp [-20]

----- [Constante real] -----

Q0000: Constante real, valor = 0.985000

Q0001: Constante real, valor = 0.979800

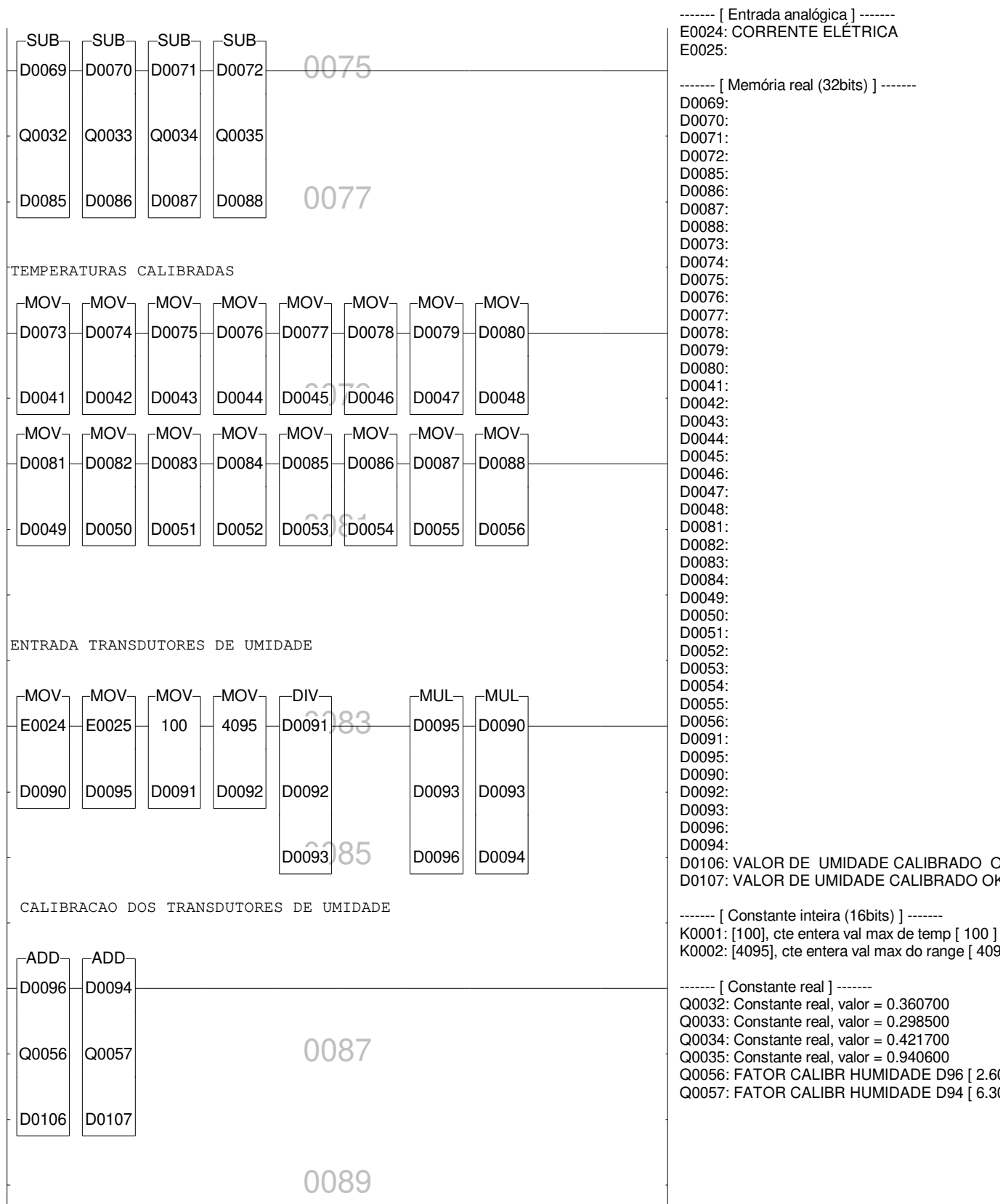
Q0002: Constante real, valor = 0.984300

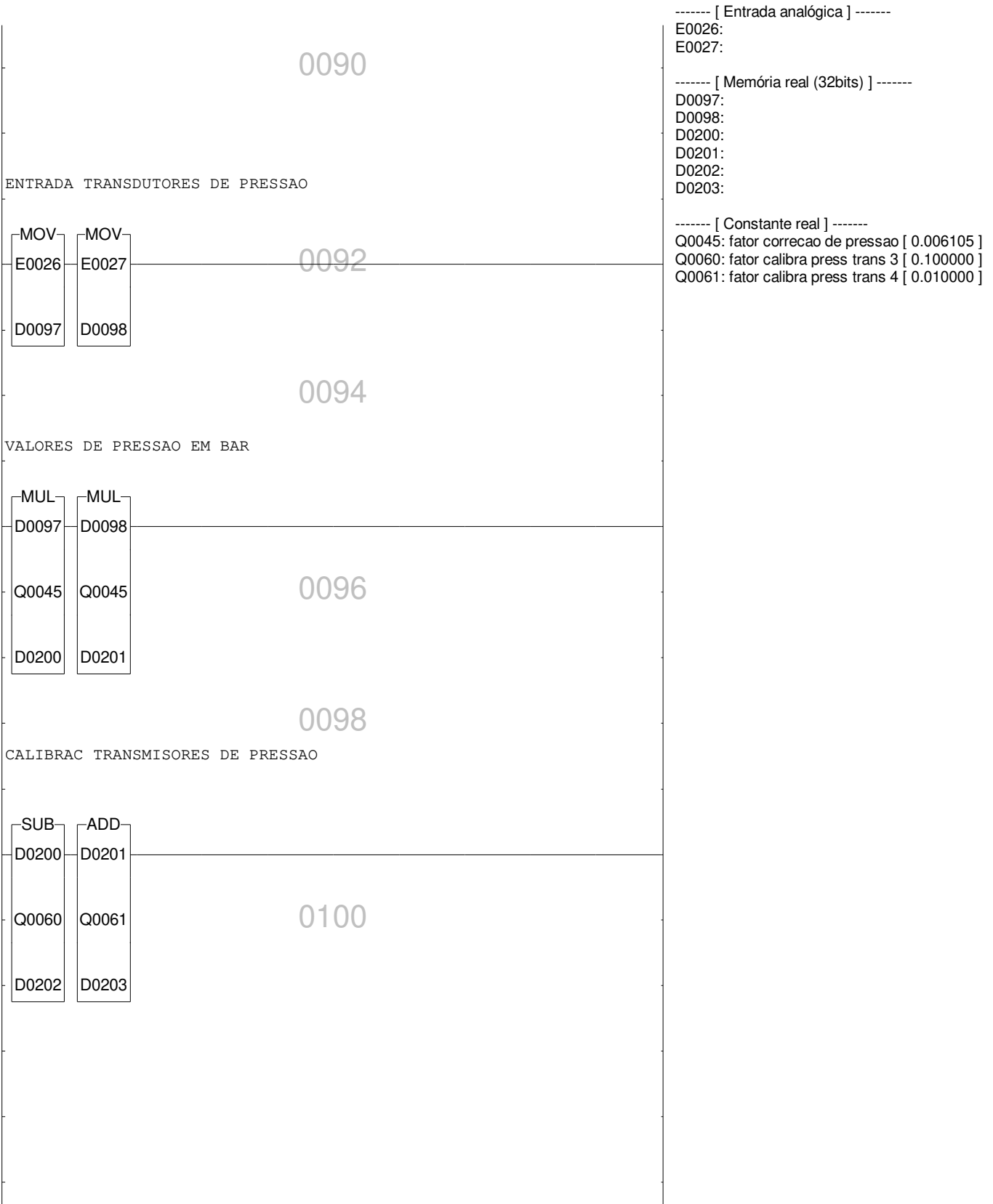
Q0003: Constante real, valor = 0.982200

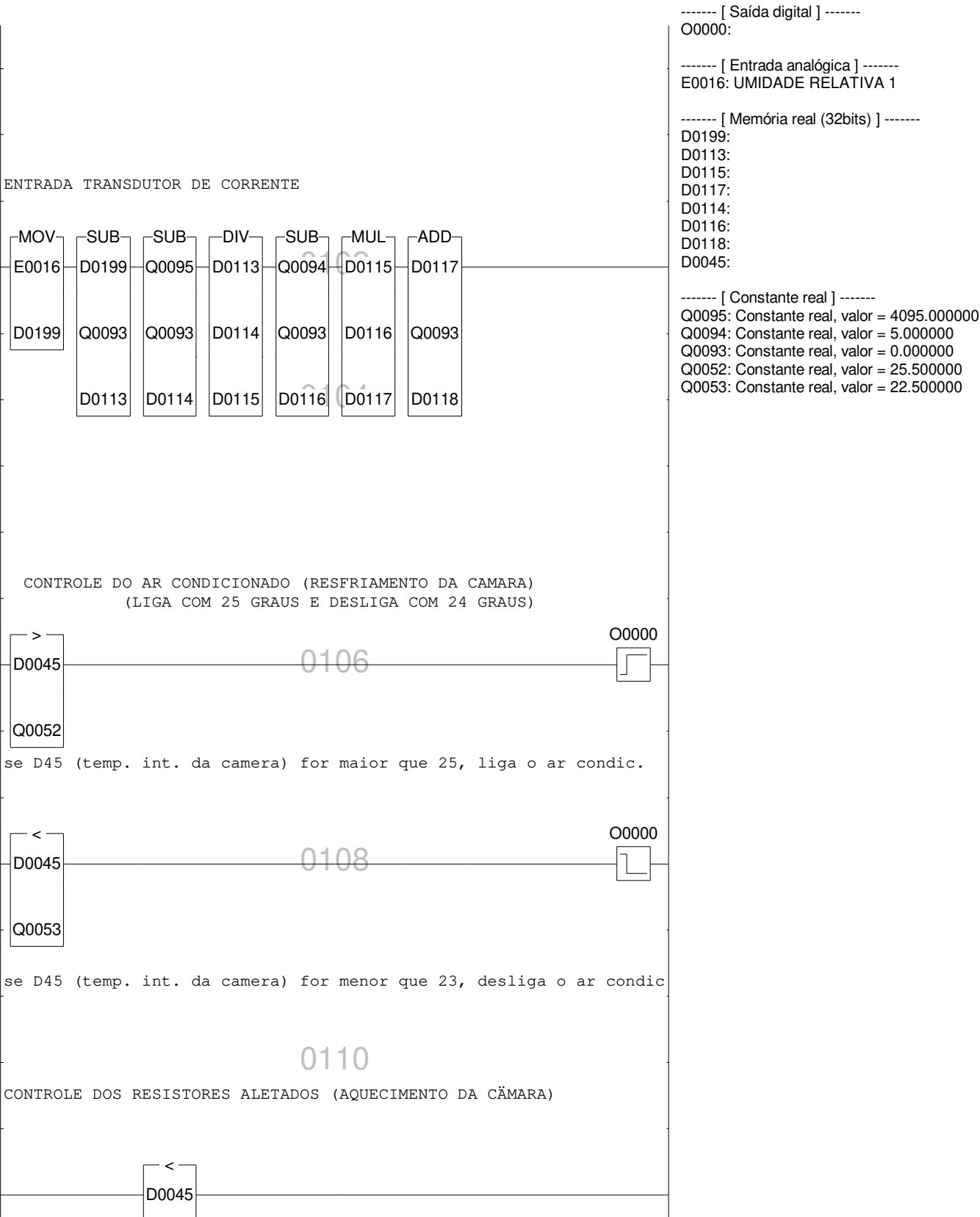
0054

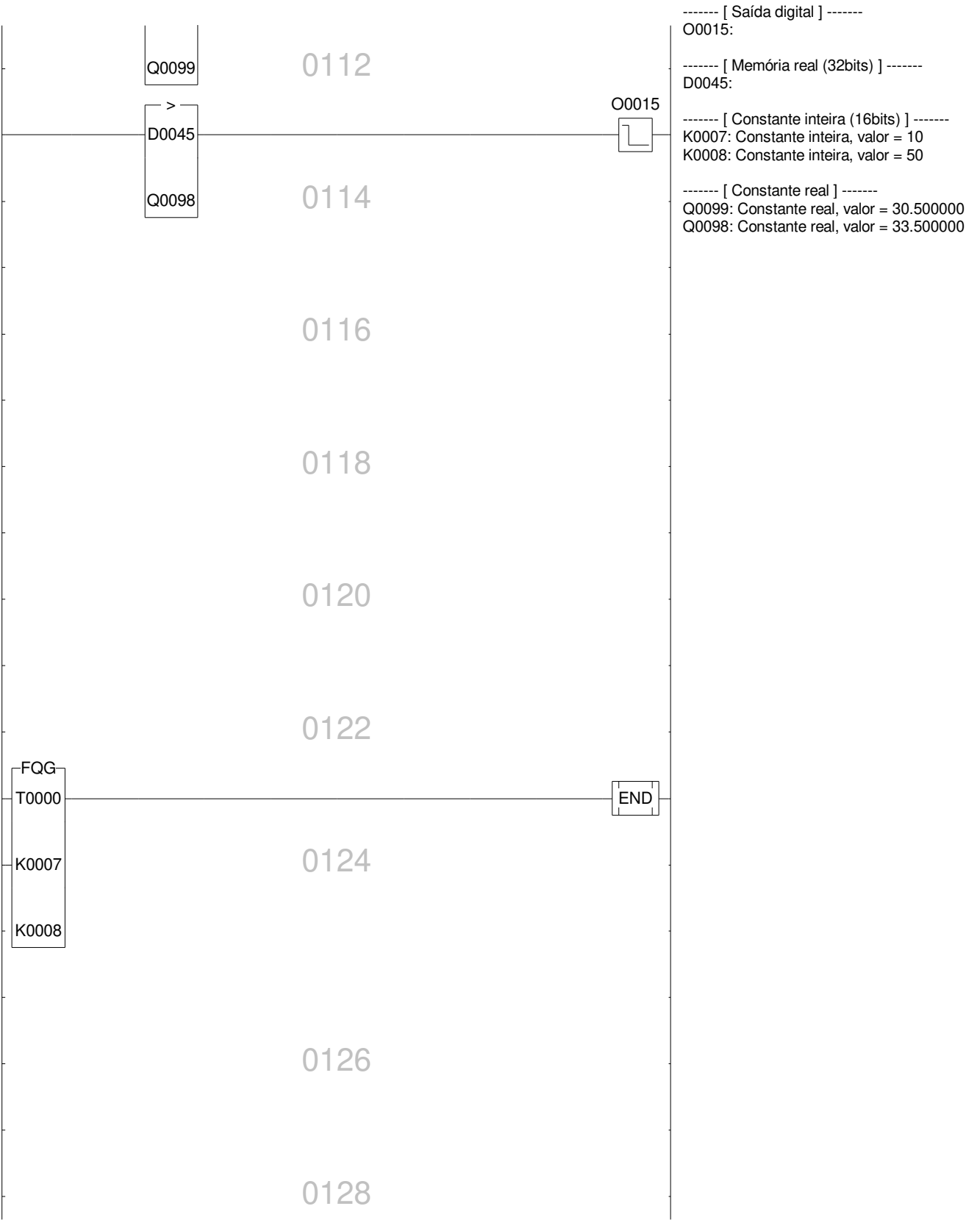
0056

				----- [Memória real (32bits)] -----																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
MUL	MUL	MUL	MUL	0057																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			









ANEXOS

ANEXO 1. Catálogo Técnico do controlador MCI02-QC

MCI02-QC



Apresentação

A família de controladores lógicos programáveis MCI02-QC foi desenvolvida para atender aplicações de controle de processos e sequenciamento de máquinas. Pode possuir até 368 pontos de I/O na sua configuração completa, e oferece toda versatilidade dos demais controladores da HI Tecnologia. É composto por um sub-bastidor principal equipado com fonte de alimentação e com capacidade para alocação de até 4 módulos. A este sub-bastidor principal podem ser conectados até 5 sub-bastidores de expansão disponibilizando um total de 24 slots para utilização de módulos.

A interligação dos sub-bastidores deverá ser realizada sempre à esquerda do sub-bastidor principal através de um conector localizado no backplane.

Dados Técnicos

Gerais

Alimentação	85.. 265 VAC automática
Consumo	45 Watts max
Temperatura de Operação	0 .. 65 C°

Temperatura de Estocagem	-25 C°.. 80 C°
Umidade Relativa	≤ 80% sem condensação
Peso bastidor principal	1,5 Kg aproximado
Peso bastidor expansão	0,8 Kg aproximado
Caixa	Aço carbono
N° max. de sub bastidores	6 bastidores
Grau de proteção	IP20
Dimensões bastidor principal	174 (L) x 145 (A) x 233 (P) mm
Dimensões bastidor expansão	125 (L) x 145 (A) x 233 (P) mm

Configurações

Sub-Bastidor Principal (Watch Dog Timer)

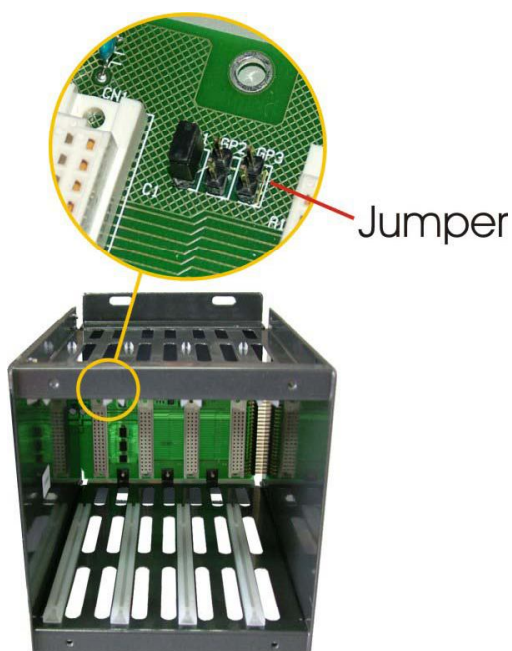
O sub-bastidor principal possui uma opção para desabilitar o Watch Dog Timer do equipamento. Esta funcionalidade é utilizada normalmente para testes do equipamento durante o processo de produção. A HI Tecnologia recomenda que o equipamento seja utilizado sempre como o watch dog timer ativado. A localização do strap de habilitação do watch dog timer está no backplane do sub-bastidor principal.

S1	Watch Dog Timer
OFF	Desabilitado
ON	Habilitado

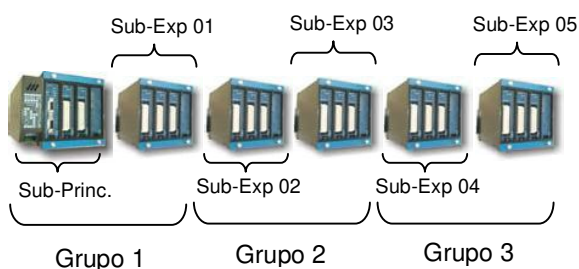


Sub-Bastidores Expansão (Endereço)

Os sub-bastidores são acoplados à direita do sub-bastidor principal, formando 3 grupos. Cada expansão possui um conjunto de 3 strap's denominados GP1, GP2, GP3 localizado no seu backplane, que deve ser configurada de acordo com a posição relativa do sub-bastidor, conforme indicado na tabela a seguir:



Identificação	Grupo	GP1	GP2	GP3
Sub-Princ.	1	--	--	--
Sub-Exp 01	1	ON	OFF	OFF
Sub-Exp 02	2	OFF	ON	OFF
Sub-Exp 03	2	OFF	ON	OFF
Sub-Exp 04	3	OFF	OFF	ON
Sub-Exp 05	3	OFF	OFF	ON



Conexões

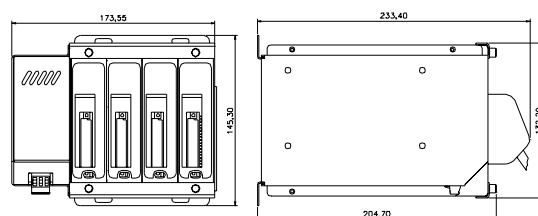
Alimentação

Borne	Sinal
1	AC
2	AC
3	Terra

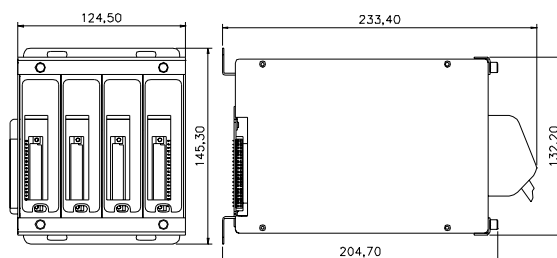


Dimensões

Sub-bastidor principal

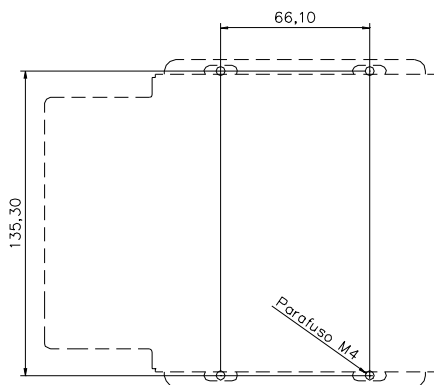


Sub-bastidor expansão

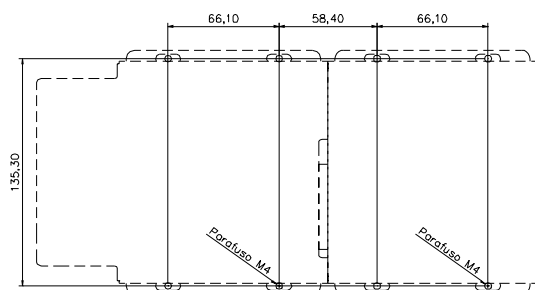




Furação para fixação do sub-bastidor principal



Furação para fixação do sub-bastidor principal com sub-bastidor de expansão



Codificação do Produto

Código	Identificação
300.102.010.020	MCI02-QC-P45
300.102.020.000	MCI02-QC-EX

Obs:

Obs: A HI Tecnologia se reserva o direito de modificar estas especificações sem aviso prévio

ANEXO 2. Configuração do Módulo AIM230 - RO

Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Índice

1.	Objetivo	2
2.	Aplicação	2
3.	Definições	2
4.	Referências	2
5.	Descrição do módulo	3
5.1	Características funcionais do módulo	3
5.2	Codificação do módulo	3
5.3	Especificações Técnicas	3
5.4	Configurações	4
5.4.1	Endereçamento	4
6.	Calibração do módulo	6
6.1	Calibração para Tensão	6
6.1.1	Materiais necessários	6
6.1.2	Procedimento de Calibração	6
6.2	Calibração para Corrente	6
6.2.1	Materiais necessários	6
6.2.2	Procedimento de Calibração	7
7.	Interfaces	7
7.1.1	Definição dos Sinais	7
7.1.2	Bornes de Interface	8
8.	Módulos Opcionais	8
	Configuração do Cabo	9
	Controle do Documento	10
	Considerações gerais	10
	Responsabilidades pelo documento	10



Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Tipo de Doc.: Descritivo Funcional
Referência: PDF.102230

Revisão: 3
Atualizado em: 05/03/2009

1. Objetivo

Este documento apresenta o módulo de entradas analógicas AIM230-R0. São discutidos aspectos funcionais do módulo, modelos disponíveis, interface com o processo e opções de configuração do mesmo.

2. Aplicação

Este documento foi elaborado pela HI Tecnologia, para utilização interna e por clientes da empresa.

3. Definições

Sem definições específicas para este documento.

4. Referências

MCI02 Controlador industrial (PLC) MCI02.



Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Tipo de Doc.: Descritivo Funcional
Referência: PDF.102230

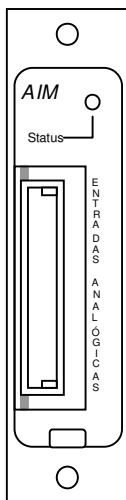
Revisão: 3
Atualizado em: 05/03/2009

5. Descrição do módulo

O módulo AIM230 é um dos módulos de entrada/saída do controlador industrial MCI02. Disponibiliza ao usuário 8 canais de entrada analógicos, independentes, de 10 ou 12 bits, com possibilidade de configuração das entradas para operar com vários padrões de sinais de instrumentação.

5.1 Características funcionais do módulo

O módulo AIM230 possui o frontal apresentado ao lado, com as seguintes características funcionais:



- Endereçamento programável permitindo a utilização simultânea de várias placas no MCI02;
- 8 canais de entrada analógica diferenciais e multiplexados;
- Canais configuráveis para leitura de sinais em tensão ou corrente, por meio de straps.
- Faixa de leitura de sinais em tensão configurável de 0 a 5V, 1 a 5V, 0 a 10V ou 2 a 10V;
- Faixa de leitura de sinais em corrente configurável de 0 a 20mA ou 4 a 20mA;
- Conversor Analógico/Digital de 10 ou 12 bits. (configuração feita em fábrica);
- Tempo de conversão (12 bits) de 20µs (máximo);
- Calibração dos canais por meio de trimpot multivoltas;
- 1 canal configurável para entrada de tensão de referência;
- Filtro individual para cada entrada;
- Led de indicação de acesso ao módulo.

Fig1 - Painel frontal do módulo

5.2 Codificação do módulo

Nome	Código	Descrição	Controlador associado
AIM230-R0/10	301.102.230.000	Módulo de entradas analógicas 10 bits com 8 canais	MCI02
AIM230-R0/12	301.102.230.010	Módulo de entradas analógicas 12 bits com 8 canais	MCI02

5.3 Especificações Técnicas

Item	Especificação
Alimentação	5 +15 15Vdc (fornecido pelo controlador)
Temperatura de operação	0 a 65°C
Temperatura de armazenagem	-25 a 75°C
Umidade relativa do ar de operação	5 a 95% sem condensação
Dimensões externas	100 x 167 mm
Número de canais	8
Resolução do conversor utilizado	10/12 bits
Tempo de conversão	20 us max
Tipos de sinais de entrada	0..5 Vdc, 1..5 Vdc, 0..10 Vdc, 0..20 mA, 4..20 mA



Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Tipo de Doc.: Descritivo Funcional
Referência: PDF.102230

Revisão: 3
Atualizado em: 05/03/2009

5.4 Configurações

Os itens seguintes descrevem a função de cada conjunto de *straps* do módulo e suas possíveis configurações.

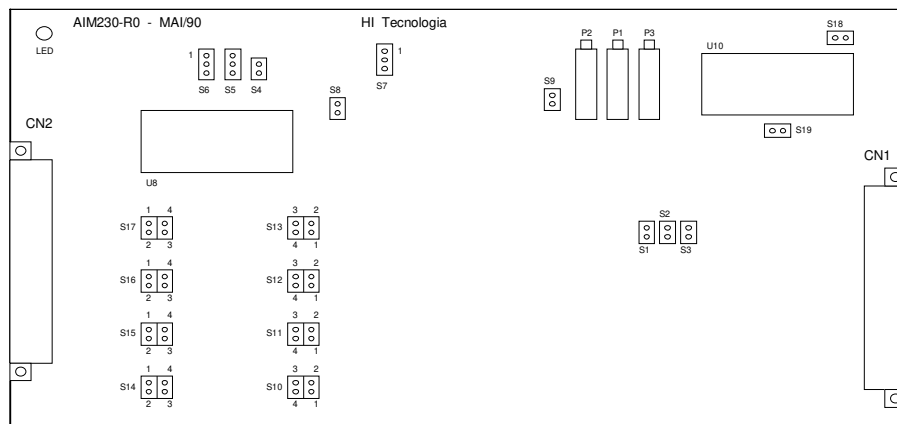


Fig 2- Localização do Straps da Placa

5.4.1 Endereçamento

O endereço de acesso ao módulo é especificado através de três *straps* na placa identificados como S1, S2 e S3. A localização dos *straps* na placa é dada pela figura 2. A tabela a seguir especifica a condição dos *straps* em função do endereço programado:

Slot	Straps			Endereço Base		
	S1	S2	S3	Grupo0	Grupo1	Grupo2
0	ON	ON	ON	nu(1)	nu	nu
1	OFF	ON	ON	48h	88h	C8h
2	ON	OFF	ON	50h	90h	D0h
3	OFF	OFF	ON	58h	98h	D8h
4	ON	ON	OFF	60h	A0h	E0h
5	OFF	ON	OFF	68h	A8h	E8h
6	ON	OFF	OFF	70h	B0h	F0h
7	OFF	OFF	OFF	78h	B8h	F8h

(1) nu - não utilizado

Obs: O Grupo 0 é composto pelos *slots* 1 a 7 do sub-bastidor principal do MCI02. O grupo 1 é composto pelos *slots* 8 a 14 do sub-bastidor estendido (7 *slots* à esquerda) e o grupo 2 é composto pelos *slots* 15 a 21 do sub-bastidor estendido (7 *slots* à direita).



Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Tipo de Doc.: Descritivo Funcional
Referência: PDF.102230

Revisão: 3
Atualizado em: 05/03/2009

2.2 - Referência do Sinal de Entrada

O módulo AIM230-R0 pode ser configurado para operar com sinais diferenciais ou sinais "single end".

Referência de Sinal	S4
Diferencial	OFF
"Single end"	ON

2.3 - Entrada de Tensão de Referência

O canal 7 do módulo pode ser acoplado a uma tensão de referência interna de 2,5V, desabilitando o mesmo para entrada de sinais. A configuração do canal é feita pelos *straps* S5 e S6, conforme tabela abaixo:

Canal 7	S5	S6
Entrada de Sinais	1 - 2	1 - 2
Tensão de Referência	2 - 3	2 - 3

2.4 - Configuração do Tipo de Entrada

Os canais do módulo podem ser configurados para entradas em tensão ou corrente pelos *straps* S7 ao S17 conforme descrito nas tabelas abaixo:

Tipo de Entrada	S7	S8	S9
Tensão - 0 a 5Vdc	1 - 2	ON	OFF
Tensão - 1 a 5Vdc	2 - 3	OFF	OFF
Tensão - 0 a 10Vdc	1 - 2	ON	ON
Tensão - 2 a 10Vdc	2 - 3	OFF	ON
Corrente - 0 a 20mA	1 - 2	ON	OFF
Corrente - 4 a 20mA	2 - 3	OFF	OFF

Canal	Strap	Entrada Tensão	Entrada Corrente
0	S10	OFF	1 - 4
1	S11	OFF	1 - 4
2	S12	OFF	1 - 4
3	S13	OFF	1 - 4
4	S14	OFF	1 - 4
5	S15	OFF	1 - 4
6	S16	OFF	1 - 4
7	S17	OFF	1 - 4



Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Tipo de Doc.: Descritivo Funcional
Referência: PDF.102230

Revisão: 3
Atualizado em: 05/03/2009

6. Calibração do módulo

Para calibração do módulo AIM230 é necessário atuar nos trimpots multivoltas P1, P2 e P3 conforme descrito a seguir.

- P1 - Ajuste de fundo de escala;
- P2 - Ajuste de *off-set* para sinais de 0-5V, 0-10V, 0 a 20mA;
- P3 - Ajuste de *off-set* para sinais de 1-5V, 4 a 20mA;

6.1 Calibração para Tensão

Para calibrar o módulo AIM230 para tensão é necessário dispor dos seguintes itens:

6.1.1 Materiais necessários

- Fonte de tensão variável de 0 a 10V;
- *Software* SPDS (versão de desenvolvimento);
- Cabo de entrada analógico;

6.1.2 Procedimento de Calibração

- Selecionar corretamente os *straps* S7, S8 e S9 para a faixa de tensão de entrada desejada;
- Aplicar sinal mínimo para faixa de tensão selecionada na entrada $x_{(1)}$ do módulo;
- Monitorar o canal por meio do bloco de entrada analógica E000x $_{(1)}$ do SPDS;
- Ajustar o *off-set* por meio do trimpot P2 ou P3 para valor de leitura 0000h $_{(2)}$;
- Aplicar sinal máximo para faixa de tensão selecionada na entrada 0 do módulo;
- Ajustar o fundo de escala por meio do trimpot P1 para valor de leitura 4095h $_{(2)}$;
- Repetir os passos anteriores até ajustar o *range* de tensão desejado;

$_{(1)}$ x - Número do canal de entrada analógica (0 a 7).

$_{(2)}$ h - Valor expresso em hexadecimal pelo bloco de leitura analógica do SPDS.

6.2 Calibração para Corrente

Para calibrar o módulo AIM230 para corrente é necessário dispor dos seguintes itens:

6.2.1 Materiais necessários

- Fonte de corrente variável de 0 a 20mA;
- *Software* SPDS (versão de desenvolvimento);
- Cabo de entrada analógico;



Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Tipo de Doc.: Descritivo Funcional
Referência: PDF.102230

Revisão: 3
Atualizado em: 05/03/2009

6.2.2 Procedimento de Calibração

- Selecionar corretamente os *straps* S7, S8 e S9 para a faixa de corrente de entrada desejada;
- Aplicar sinal mínimo para faixa de corrente selecionada na entrada $x_{(1)}$ do módulo;
- Monitorar o canal por meio do bloco de entrada analógica E000x $_{(1)}$ do SPDS;
- Ajustar o *off-set* por meio do trimpot P2 ou P3 para valor de leitura 0000h $_{(2)}$;
- Aplicar sinal máximo para faixa de corrente selecionada na entrada 0 do módulo;
- Ajustar o fundo de escala por meio do trimpot P1 para valor de leitura 4095h $_{(2)}$;
- Repetir os passos anteriores até ajustar o *range* de corrente desejado;

($_1$) x - Número do canal de entrada analógica (0 a 7).

($_2$) h - Valor expresso em hexadecimal pelo bloco de leitura analógica do SPDS.

7. Interfaces

7.1.1 Definição dos Sinais

Sinal	Descrição	Observações
AI CH0	Canal de entrada analógica nro. 0 ($_1$)	
AI CH1	Canal de entrada analógica nro. 1 ($_1$)	
AI CH2	Canal de entrada analógica nro. 2 ($_1$)	
AI CH3	Canal de entrada analógica nro. 3 ($_1$)	
AI CH4	Canal de entrada analógica nro. 4 ($_1$)	
AI CH5	Canal de entrada analógica nro. 5 ($_1$)	
AI CH6	Canal de entrada analógica nro. 6 ($_1$)	
AI CH7	Canal de entrada analógica nro. 7 ($_1$)	
AGND	Referência para o sinal analógico	

($_1$) O nro. do canal, quando acessado via o SPDS, depende da quantidade de módulos de entrada analógica presentes no controlador.

($_2$) Não utilizar estes sinais sem autorização da equipe de engenharia da HI Tecnologia.



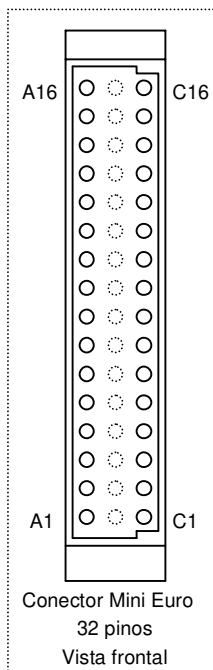
Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Tipo de Doc.: Descritivo Funcional
Referência: PDF.102230

Revisão: 3
Atualizado em: 05/03/2009

7.1.2 Bornes de Interface

A tabela a seguir especifica os sinais disponíveis no conector (CN2) frontal do módulo AIM230.



CN2			
Pino	Fileira A	Fileira B	Fileira C
1	+AI CH0	n. c.	- AI CH0
2	AGnd	n. c.	AGnd
3	+AI CH1	n. c.	- AI CH1
4	AGnd	n. c.	AGnd
5	+AI CH2	n. c.	- AI CH2
6	AGnd	n. c.	AGnd
7	+AI CH3	n. c.	- AI CH3
8	AGnd	n. c.	AGnd
9	+AI CH4	n. c.	- AI CH4
10	AGnd	n. c.	AGnd
11	+AI CH5	n. c.	- AI CH5
12	AGnd	n. c.	AGnd
13	+AI CH6	n. c.	- AI CH6
14	AGnd	n. c.	AGnd
15	+AI CH7	n. c.	- AI CH7
16	AGnd	n. c.	AGnd

n. c Não conectado

8. Módulos Opcionais

Não se aplica



Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Tipo de Doc.: Descritivo Funcional
Referência: PDF.102230

Revisão: 3
Atualizado em: 05/03/2009

DR.A1 Cabo de Interface com Processo

Código	Nome	Descrição
302.102.230.000	CB-CI230-CG	Cabo de interface p/ módulo AIM230 Single Ended

Configuração do Cabo

No. do Pino (Conector Mini-Euro F.)	Sinais Disponíveis (CN2)	Código de cor (Cabo 18 vias)	Identificação dos Sinais (Cabo)
1A	+AI CH0	Ver mel ho	E0
2A	AGnd		
3A	+AI CH1	Lar anj a	E1
4A	AGnd		
5A	+AI CH2	Amar el o	E2
6A	AGnd		
7A	+AI CH3	Ver de	E3
8A	AGnd		
9A	+AI CH4	Azul	E4
10A	AGnd		
11A	+AI CH5	Roxo	E5
12A	AGnd		
13A	+AI CH6	Ci nza	E6
14A	AGnd		
15A	+AI CH7	Br anco	E7
16A	AGnd		
1C	- AI CH0	Pr et o (1)	0V
2C	Agnd		
3C	- AI CH1	(1)	
4C	AGnd		
5C	- AI CH2	(1)	
6C	AGnd		
7C	AI CH3	(1)	
8C	AGnd		
9C	- AI CH4	(1)	
10C	AGnd		
11C	- AI CH5	(1)	
12C	AGnd		
13C	- AI CH6	(1)	
14C	AGnd		
15C	- AI CH7	(1)	
16C	AGnd		

OBS.: Os sinais AGnd 1C, 3C, 5C, 7C, 9C, 11C 13C e 15C estão interligados no mesmo fio de cor Preto e identificados como 0V .



Módulo de entradas analógicas AIM230-R0

Tipo de Doc.: Descritivo Funcional
Referência: PDF.102230

Revisão: 3
Atualizado em: 05/03/2009

Controle do Documento

Considerações gerais

1. Este documento é dinâmico, estando sujeito a revisões, comentários e sugestões. Toda e qualquer sugestão para seu aprimoramento deve ser encaminhada ao Representante da Direção da HI Tecnologia.
2. Os direitos autorais deste documento são de propriedade da HI Tecnologia.

Responsabilidades pelo documento

	Data	Responsável	
Elaboração	07/03/2002	Helio J. Almeida Jr	
Revisão	05/03/2009	Sheyne T. Bömer	<i>Revisado em mídia</i>
Aprovação	05/03/2009	Helio J. Almeida Jr	<i>Aprovado em mídia</i>

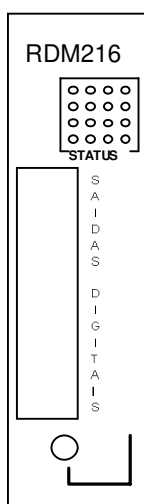
Histórico de Revisões

Data	Rev	Descrição
05/03/2009	3	Alteração da tabela 7.1.1
13/02/2006	2	Alteração na tabela 2.4, configuração do S8 para 0~5V
21/03/2003	1	Alterada formatação da página da tabela de cabos
15/11/2002	0	Documento original

ANEXO 3. Configuração do Módulo RDM 16 - RO

Módulo de Saídas Digitais à Relé RDM216-R0

1. Descrição Geral do Módulo



O módulo RDM216 incorpora ao MCI02 a capacidade de atuação em dispositivos digitais através de contatos de relés (contato seco). Possui as seguintes características básicas:

- Endereçamento programável permitindo a utilização simultânea de várias placas no MCI02;
- 16 canais de saída por módulo;
- LED's de supervisão para cada canal no painel frontal. Estes LED's são numerados da esquerda para direita e de cima para baixo, identificando os canais de 0 a 15 na placa.
- Cada canal comanda um relé independente com um contato normalmente aberto (NA) com as seguintes características técnicas:

ITEM	ESPECIFICAÇÕES
Faixa de temperatura de operação	-40 °c à 85 °c
Vida útil mecânica	1 x 10 ⁷ operações
Vida útil elétrica	1 x 10 ⁶ operações
Resistência de Isolação	1000 MΩ a 500 Vdc
Tempo de operação	3 ms (máx)
Tempo de desoperação	2 ms (máx)
Resistência de contato inicial	50mΩ (máx)
Potência máxima de chaveamento	60W - 125 VA
Tensão máxima de chaveamento	220VDC ou 250VAC
Corrente máxima de chaveamento	2 A
Corrente máxima de condução	3 A

A alimentação dos relés pode ser gerada internamente pelo MCI02 (neste caso são utilizados relés de 12 Vdc) ou pode ser fornecida por fonte externa de 6Vdc, 12Vdc ou 24Vdc. Neste caso os relés ficam isolados galvanicamente do MCI02 aumentando a imunidade a ruídos do equipamento. A fonte de alimentação do MCI02 possui capacidade para alimentar a etapa de saída (relés) de até 5 placas RDM216, permitindo o controle direto de até 80 saídas. Na necessidade de utilização de um número maior de placas deve-se utilizar uma fonte de tensão externa (especificar a tensão a ser utilizada).

2. Configuração do Módulo

A figura a seguir apresenta a placa com a distribuição dos *straps* de configuração bem como dos conectores de interface com o MCI (CN1) e Processo (CN2):

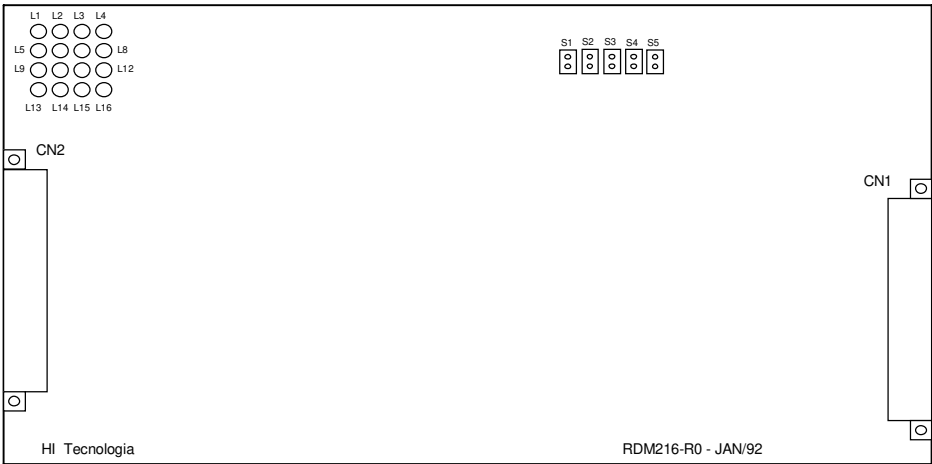


Figura II - Posição dos *straps* no módulo.

Os itens seguintes descrevem a função de cada conjunto de *straps* do módulo e suas configurações.

2.1 - Endereçamento

O endereço de acesso ao módulo é especificado através de três *straps* na placa identificados como S1, S2 e S3. A localização dos *straps* na placa é dada pela figura II. A tabela a seguir especifica a condição dos *straps* em função do endereço programado:

Slot	Straps			Endereço Base		
	S1	S2	S3	Grupo0	Grupo1	Grupo2
0	ON	ON	ON	nu ₍₁₎	nu	nu
1	OFF	ON	ON	48h	88h	C8h
2	ON	OFF	ON	50h	90h	D0h
3	OFF	OFF	ON	58h	98h	D8h
4	ON	ON	OFF	60h	A0h	E0h
5	OFF	ON	OFF	68h	A8h	E8h
6	ON	OFF	OFF	70h	B0h	F0h
7	OFF	OFF	OFF	78h	B8h	F8h

(1) nu - não utilizado

Obs: O Grupo 0 é composto pelos *slots* 1 a 7 do sub-bastidor principal do MCI. O grupo 1 é composto pelos *slots* 8 a 14 do sub-bastidor estendido (7 *slots* à esquerda) e o grupo 2 é composto pelos *slots* 15 a 21 do sub-bastidor estendido (7 *slots* à direita).

2.2 - Fonte de alimentação dos relés

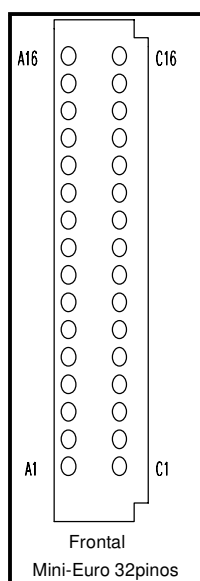
Como visto anteriormente, os relés do módulo RDM216 podem ser alimentados pela fonte interna do MCI02 ou por uma fonte DC externa. Os *straps* S4 e S5 são utilizados para configuração da fonte de alimentação dos relés do módulo conforme especificado na tabela a seguir:

Fonte de Alimentação	S4	S5
Interna (12Vdc)	ON	ON
Externa	OFF	OFF

OBS: No caso de utilização de fonte externa, deve ser especificado o valor da fonte para seleção correta dos relés. Os valores possíveis são 6Vdc, 12Vdc ou 24Vdc.

3. Identificação dos Conectores de Interface

A tabela a seguir especifica os sinais disponíveis no conector (CN2) frontal do módulo RDM216.



CN2			
Pino	Fileira A	Fileira B	Fileira C
1	CH00na	GndExt	CH00c
2	CH01na	GndExt	CH01c
3	CH02na	GndExt	CH02c
4	CH03na	nc	CH03c
5	CH04na	nc	CH04c
6	CH05na	nc	CH05c
7	CH06na	nc	CH06c
8	CH07na	nc	CH07c
9	CH08na	nc	CH08c
10	CH09na	nc	CH09c
11	CH10na	nc	CH10c
12	CH11na	nc	CH11c
13	CH12na	nc	CH12c
14	CH13na	VdcExt	CH13c
15	CH13Na	nc	CH14c
16	CH15na	VdcExt	CH14C

Legenda:

- CHxxna - Contato NA (normalmente aberto) do relé.
- CHxxc - Contato comum do relé.
- nc - Pino não conectado.
- GndExt - Referência da tensão externa (quando utilizado).
- VdcExt - Tensão externa (quando utilizado).

Normalmente o módulo é fornecido juntamente com o cabo de conexão com o processo. Neste caso, os canais são identificados pelo código "+Oxx" para o contato comum e "-Oxx" para o contato NA, onde xx representa o no. do canal correspondente.