

Agradecimentos

Ao professor Divo Augusto Alegria Quintela

Ao professor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Ao senhor Fernando Henriques Bernardes

Ao senhor Eurico de Sousa Ribeiro dos Santos

Ao João Pedro Basílio Correia

Ao Xavier de Esteves e Sousa

Ao Maciel Filipe Ramos Gonçalves

À minha mãe Olívia Cavaleiro do Carmo Maranhã

Ao meu pai Hermínio Monteiro Maranhã

Resumo

A vertente prática, laboratorial, de um curso académico é essencial e motivante na aprendizagem. Poder aplicar, de uma forma interactiva, o conhecimento adquirido em pequenos equipamentos laboratoriais, ajuda a perceber evoluções físicas difíceis de entender na teoria. Neste sentido, o presente trabalho consiste em automatizar uma unidade laboratorial de ar condicionado a fim de ser utilizada por alunos em pequenos trabalhos práticos nesta área.

No início da dissertação vai ser realizada uma breve introdução relativamente à unidade de ar condicionado laboratorial, demonstrando as várias áreas de estudo e interesse na utilização desta unidade.

Posteriormente passaremos a apresentar conceitos termodinâmicos fundamentais e explicativos de toda a mecânica que envolve o funcionamento da unidade laboratorial. Enunciaremos e estudaremos o ciclo de frio e psicrometria.

Os passos seguintes terão a ver com equipamentos de medida e controlo, sua montagem e funcionamento, bem como alterações necessárias para o funcionamento correcto da unidade. Será também abordada toda a parte informática do projecto, realização do programa informático e hardware.

Finalmente será feita uma conclusão, onde serão expostas várias apreciações do trabalho realizado.

Palavras-chave: Ar condicionado, equipamento de controlo, equipamento de medida, aquisição de dados, unidade laboratorial.

Summary

The laboratory, practical side of an academic course is essential and motivating in the learning process. Being able to apply, in a dynamic way, the knowledge acquired in small laboratorial equipments helps to understand hard physics that are hard to understand in the theoretical side. In that sense, this piece of work proposes to automatize a laboratorial unit of air conditioning, so that it can be used by students in small practical workshops.

The beginning of the dissertation will include a brief introduction related to the unit of laboratorial air conditioning, demonstrating the various areas of study and interesting facts of this unit.

Afterwards, we will present thermodynamic concepts that are fundamental and explanatory of all the mechanics that involves the functioning of the laboratorial unit. We will enunciate and study the cycle of cold and the psychrometry.

The following steps have to do with measuring and control equipments, how they are put together and their functioning, as well as necessary modifications for the better functioning of the unit. We will also approach all the informatic part of the project, accomplishment of the informatic program and the hardware.

Finally, a conclusion will expose various considerations about the overall piece of work.

Key-words: Air conditioning, control equipment, measuring equipment, data acquisition, laboratorial unit.

Índice

1.Introdução.....	7
1.1.Generalidades	7
1.2. Motivações e objectivos	8
1.3. Estrutura.....	8
2.Termodinâmica do ar húmido	9
2.1.Análise do ciclo de frio.....	9
2.2.Eficiência do ciclo de frio.....	12
2.3. Psicrometria	13
2.3.1.Ar seco	13
2.3.2.Vapor de água	14
2.3.3.Ar húmido	15
2.3.4.Humidade específica ou (absoluta).....	16
2.3.5.Humidade específica de saturação	16
2.3.6.Humidade relativa.....	16
3.Equipamentos de medida e controlo	17
3.1.Sensores	18
3.1.1. Sensor de temperatura PT100	18
3.1.2.Sensor de caudal	19
3.1.3.Sensor de pressão.....	19
3.1.4.Sensor de humidade relativa e temperatura do ar	20
3.2.Equipamentos de controlo	20
3.2.1.Relés.....	21
3.2.2.Variador de frequência.....	22
3.3.Placa de aquisição de dados DAQ	22
3.4.Condicionador de sinal	23
3.5.Módulos	23
3.6.Fonte de alimentação	23
4.Aquisição de dados.....	24
4.1.Programa informático “LabView”	24
4.2.Software de aquisição de dados.....	25

4.3. Programa de aquisição de dados.....	25
4.4. "Measurement and Automation Explorer" (MAX)	30
5. Instalação experimental.....	35
6. Conclusão	47
7. Bibliografia.....	48

Índice de figures

Figura 1 - Diagrama de Mollier.....	9
Figura 2 - Ciclo ideal de compressão de vapor, diagrama T x s	11
Figura 3 - Ciclo real de compressão de vapor, diagrama T x s	11
Figura 4 -Diferenças entre o ciclo ideal e real de refrigeração por compressão de vapor no diagrama P versus h (Mollier)	11
Figura 5 - Unidade laboratorial de ar condicionado.....	17
Figura 6 —RTD	18
Figura 7 - Sensor de caudal	19
Figura 8 – Sensor de pressão.....	20
Figura 9 - Sensor de temperatura e humidade.....	20
Figura 10 - Exemplo esquemático de um relé.....	21
Figura 11 - Relé do estado sólido usado na unidade laboratorial.....	21
Figura 12 - Variador de frequência	22
Figura 13 - Esquema de ligação do conector de blocos á placa	22
Figura 14 - SCC-68 conector de blocos	23
Figura 15 - SCC-RTD01	23
Figura 16 - Fonte de alimentação.....	23
Figura 17 - Painel frontal de interacção com o programa de aquisição de dados	26
Figura 18 -. Diagrama de blocos da parte analógica de aquisição de dados	27
Figura 19 - Filtro de sinal.....	28
Figura 20 - Diagrama de blocos da parte digital e analógica de controlo	29
Figura 21 - Ícone do Ambiente de Trabalho do Windows XP	30
Figura 22 - Configuração das placas	31
Figura 23 - Canais de aquisição analógica dos sensores	32
Figura 24 - Canais digitais de controlo	33
Figura 25 - Canal analógico de controlo	34
Figura 26 - Esquema de um ciclo de frio	35
Figura 27 - Esquema da unidade laboratorial.....	36
Figura 28 - Sensor de caudal aplicado	37
Figura 29 - Ligação do sensor de baixa pressão e válvula de expansão.....	38

Figura 30 - Motor trifásico e apoio de fixação	39
Figura 31 - Chapa de calibração de ar	40
Figura 32 - Variador de frequência	Erro! Marcador não definido.
Figura 33 - Sensor de humidade relativa temperatura aplicados na conduta de ar	Erro! Marcador não definido.
Figura 34 - Relé e caixa onde foram aplicados	Erro! Marcador não definido.
Figura 35 - Fonte da alimentação	Erro! Marcador não definido.
Figura 36 - Visão geral das ligações	Erro! Marcador não definido.
Figura 37 - Unidade laboratorial	46

1.Introdução

1.1.Generalidades

Uma unidade de ar condicionado laboratorial é um equipamento didáctico que serve de ferramenta de estudo. Com este equipamento podemos fazer ensaios relacionados com conforto térmico, podendo controlar condições de entrada e visualizando as evoluções térmicas no espaço a ensaiar.

Não menos importante e inerente à utilização da unidade laboratorial para fins de investigação, está a vertente lúdica de ensino, podendo esta unidade, ser um objecto de estímulo para a aprendizagem de conceitos termodinâmicos relacionados com o ar húmido.

A unidade de ar condicionado pode dividir-se em duas áreas de interesse. A primeira parte foca essencialmente o circuito frigorífico, a segunda remete para o tratamento do ar.

No circuito frigorífico medem-se pressões, temperaturas e caudal do líquido refrigerante. No tratamento de ar podemos medir temperatura, humidades relativas e caudal do ar. Será também possível controlar as condições de entrada do ar: aquecendo-o, humidificando-o, arrefecendo-o e regular o seu caudal. Para o efeito existem quatro resistências de aquecimento do ar, três resistências mergulhadas num tanque de água a fim de criar vapor, um ventilador com velocidade regulável e naturalmente um circuito frigorífico.

O objectivo deste trabalho é automatizar a unidade de ar condicionado, substituindo os aparelhos de medida analógicos por sensores, comandos manuais por relés e variador de frequência.

O controlo e tratamento de sinal, por parte de sensores, como o envio de sinal para actuar relés, são feitos por uma placa de aquisição de dados instalada no computador. O programa que serve de ferramenta virtual para tratar toda esta mecânica é o labView.

Uma vez automatizada e a funcionar a unidade de ar condicionado, pretende-se traçar no gráfico de pressão - entalpia e temperatura - entropia os pontos físicos do líquido refrigerante, bem como traçar na carta psicrométrica a evolução das propriedades termo-higrométricas do ar.

1.2. Motivações e objectivos

Sendo um tema proposto, desde início que foi um grande estímulo a realização deste trabalho, uma vez que existe uma forte vertente prática. Para além deste aspecto, outra razão foi a de perceber a dificuldade de entendimento de alguns conceitos termodinâmicos e, de certa forma, contribuir para facilitar a sua compreensão a novos alunos nesta área. O estudo do conforto térmico e das condições essenciais para a obtenção do mesmo foram também assuntos motivadores para a realização deste trabalho.

O trabalho tem como principal objectivo reparar e automatizar uma unidade de ar condicionado laboratorial, passando pelas seguintes fases

- i. Identificação e resolução de problemas/avarias
- ii. Identificação e aquisição de equipamentos de controlo e medida
- iii. Familiarização e construção do programa informático
- iv. Instalação de equipamentos de medida e controlo
- v. Alterações necessárias finais
- vi. Ensaios experimentais

1.3. Estrutura

O *Capítulo 2* inicia-se com a apresentação de conceitos fundamentais relativos a termodinâmica do ar húmido, fazendo uma breve abordagem de ciclo de refrigeração por compressão de vapor e a noções de psicrometria

No *Capítulo 3* é dada especial atenção aos equipamentos de medida e controlo, falando um pouco sobre os equipamentos adquiridos, suas características e modo de funcionamento.

O *Capítulo 4* é dedicado à descrição pormenorizada do sistema de aquisição de dados, referindo o programa desenvolvido em ambiente de LabView.

No *Capítulo 5* referem-se as alterações e processos de montagem da instalação

O *Capítulo 6* apresenta as principais conclusões retiradas deste trabalho

2. Termodinâmica do ar húmido

Se considerarmos uma massa de água, reconhecemos que ela pode existir sob várias formas. Se ela é inicialmente líquida pode-se tornar vapor, após aquecida e sólida, quando arrefecida. Assim nos referimos às diferentes fases de uma substância; uma fase é definida como uma quantidade de matéria totalmente homogênea.

Em cada fase a substância pode existir a várias pressões e temperaturas, ou usando a terminologia termodinâmica, em vários estados. O estado pode ser identificado ou descrito por certas propriedades macroscópicas observáveis; algumas mais familiares são:

- Temperatura
- Pressão
- Volume
- Entalpia
- Entropia

2.1. Análise do ciclo de frio

Como em todas as análises de ciclos, irá ser analisado em primeiro lugar um ciclo ideal de compressão de vapor. Os ciclos reais desviam-se dos ciclos idealizados, isto é, o ciclo ideal serve, para nossa análise do ciclo real, como uma referência, como um objectivo a atingir, através da melhoria de cada processo que o constitui.

Vejamos então um ciclo ideal de compressão de vapor, representado no diagrama de Mollier fig.1.

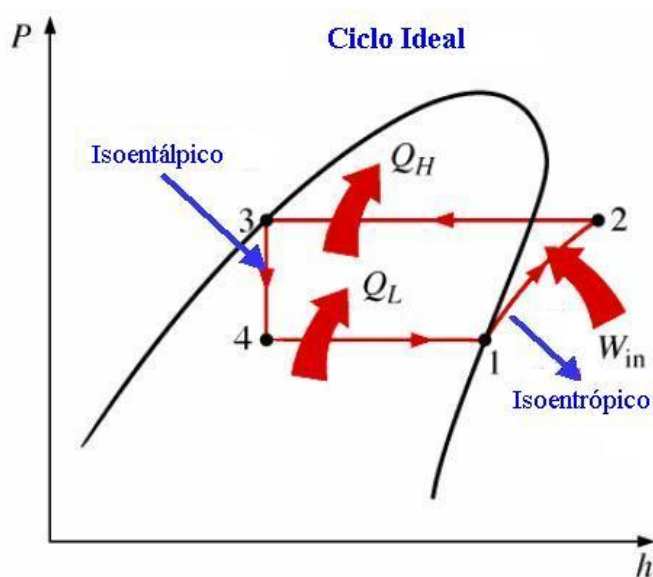


Fig.1-Diagrama de Mollier

A formulação simples da Equação da Energia, conforme abaixo mencionada, aplicável para um sistema em regime permanente, para um escoamento unidimensional com uma entrada e uma saída, isto é, $m_s = m_e = m$.

$$\dot{Q} - \dot{W}_{\text{útil}} = \sum_S \left(h + \frac{1}{2}V^2 + g \cdot \Delta e \right)_S \dot{m}_S - \sum_e \left(h + \frac{1}{2}V^2 + g \cdot \Delta e \right)_e \dot{m}_e \quad (1)$$

- \dot{Q} - é o calor fornecido ao volume de controlo por unidade de tempo;
- $\dot{W}_{\text{útil}}$ - Potencia Útil;
- h - Entalpia do fluído;
- $\frac{1}{2} \times m \times V^2$ - Energia cinética;
- $g \times m \times \Delta_e$ - Energia Potencial;
- g - Aceleração da gravidade;
- Δe - Elevação;

Cada um dos processos que formam o ciclo deve ser analisados separadamente:

No compressor só há um fluxo de entrada e um de saída: $m_e = m_s = m$. Não se deu grande relevância à variação das energias cinética e potencial entre a entrada e saída do compressor, e admitiu-se que o processo de compressão é adiabático e reversível, isto é, isentrópico. Assim, se o processo ocorrer em regime permanente e se W é o trabalho realizado pelo compressor, substituindo na equação (1) temos:

Compressor ideal:

$$\dot{Q} = (h_2 - h_1)\dot{m} \quad (2)$$

No condensador e evaporador, as hipóteses adoptadas são as seguintes: regime permanente, só existe trabalho de escoamento, variações de energia cinética e potencial são desprezáveis. Substituindo na equação (1) temos:

Condensador ideal:

$$\dot{Q} = (h_3 - h_2)\dot{m} \quad (3)$$

Evaporador ideal:

$$\dot{Q} = (h_1 - h_4)\dot{m} \quad (4)$$

Na válvula de expansão, as considerações tomadas são as seguintes: regime permanente, processo adiabático, variação da energia cinética e potencial desprezáveis. Substituindo na equação (1) temos:

Expansão ideal:

$$h_3 = h_4 \quad (5)$$

Nos gráficos seguintes pode-se observar as diferenças entre o ciclo real e o ciclo ideal de compressão a vapor.

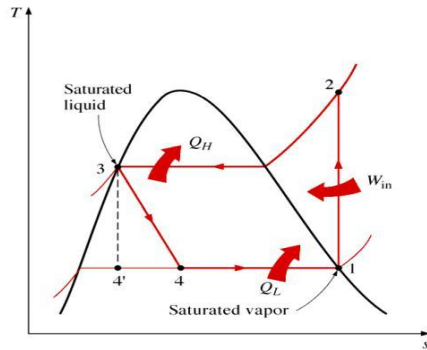


Fig.2-Ciclo ideal de compressão de vapor, diagrama T x s

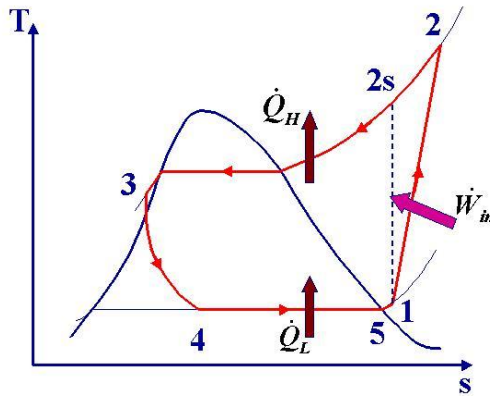


Fig.3-Ciclo real de compressão de vapor, diagrama T x s

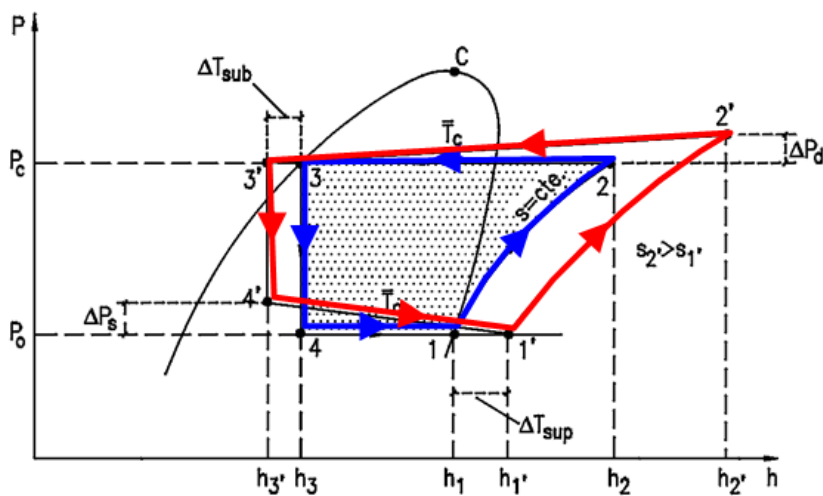


Fig.4-Diferenças entre o ciclo ideal e real de refrigeração por compressão de vapor no diagrama P versus h (Mollier).

2.2.Eficiência do ciclo de frio

O critério através do qual se mede a eficiência é o coeficiente de desempenho, definido pela quantidade de calor obtido no evaporador sobre o trabalho útil dispendido, algebricamente temos a seguinte expressão:

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (6)$$

- COP – Coeficiente de desempenho;
- Q - É a quantidade de calor obtida no evaporador;
- W - Trabalha útil dispendido;

A grande variação de valores observada no coeficiente de desempenho resulta da conjugação de vários factores. Para um ciclo de refrigeração reversível em que as temperaturas superior e inferior são constantes e iguais, respectivamente, a TQ e TF (temperaturas absolutas), o coeficiente de comportamento é dado pela equação:

$$COP = \frac{1}{(TQ/TF)-1} \quad (7)$$

- TQ – Temperatura da fonte quente
- TF – Temperatura da fonte fria

2.3. Psicrometria

Vamos considerar o ar como uma mistura de dois gases, ar seco e vapor de água, ambos considerados como gases perfeitos, obedecendo a mistura à lei de DALTON.

No caso do vapor de água, o valor da constante do gás será obtido pelo quociente entre o valor da constante universal dos gases perfeitos e o valor da mole do gás (18 g/mole ou 18 kg/kilomole).

No caso do ar seco, não se tratando de um composto mas sim de uma mistura, a constante do gás será obtida pelo quociente entre o valor da constante universal dos gases perfeitos e o valor da massa ponderada dos gases constituintes (azoto, oxigénio, dióxido de carbono, gases raros, etc).

A designação “específico”, aplicada a uma qualquer propriedade do ar seco ou do vapor de água, será referida ao valor da grandeza correspondente à unidade de massa, ou à unidade de volume do fluido em análise, sendo a propriedade representada por um símbolo minúsculo.

No caso do ar (húmido ou atmosférico) este adjectivo será aplicado a uma porção de ar que não corresponde nem à unidade de massa nem à unidade de volume, mas sim a um volume de mistura que contenha no seu interior a unidade de massa de ar seco misturada com w kg de vapor de água, sendo as suas propriedades referidas como “específicas”, e por isso representadas por minúsculas.

Note-se que o vapor misturado no ar pode, devido a alterações de temperatura ou de pressão, mudar de fase, condensando, alterando assim o seu teor no volume ocupado pela unidade de massa de ar seco anteriormente referido.

2.3.1. Ar seco

Constante para o ar seco:

$$R_a = \frac{8,3144 \text{ J/mol} \cdot \text{K}}{28,9645} = 0,287 \text{ KJ/kg} \cdot \text{°C} \quad (8)$$

$$R_a = \frac{848}{29} = 29,24 \text{ kgm/kg} \cdot \text{°C} \quad (9)$$

Volume específico do ar seco:

$$v_a = \frac{R_a T}{p_a} \text{ m}^3/\text{kg} \quad (10)$$

Entre as temperaturas de -40 a 80°C , consideramos constantes os valores do calor específico a pressão constante para o ar seco:

$$cp_a = 1,006 \text{ KJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K} \quad (11)$$

Entalpia específica:

$$h_a = 1,006 \cdot (t - 0) = 1,006 \cdot t \text{ KJ}/\text{kg} \quad (12)$$

2.3.2. Vapor de água

Constante para o vapor de água:

$$R_v = \frac{8,3144 \text{ J}/\text{mol} \cdot ^\circ\text{K}}{18,015} = 0,4615 \text{ KJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C} \quad (13)$$

$$R_v = \frac{848}{18} = 47,11 \text{ kgm}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C} \quad (14)$$

Volume específico do vapor de água:

$$v_v = \frac{R_v T}{p_v} \text{ m}^3/\text{kg} \quad (15)$$

Entre as temperaturas de -70 a 125°C , consideramos constantes os valores do calor específico a pressão constante para o vapor de água:

$$cp_v = 1,84 \text{ KJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K} \quad (16)$$

Entalpia específica:

$$h_v = 2500,7 + 1,84 \cdot t \text{ KJ}/\text{kg} \quad (17)$$

2.3.3.Ar húmido

T		T_a		T_v
1 Kg de Ar seco + w kg de vapor	=	1 Kg de Ar seco	+	w Kg de vapor
p		p_a		p_v
v		V_a		V_v
h		H_a		H_v

Tabela 1-Ar húmido

Lei de Dalton :

$$T = T_a = T_v \quad (18)$$

$$v = v_a = V_v = w \times v_v \quad (19)$$

$$p = p_a + p_v \quad (20)$$

$$h = h_a + H_v = h_a + w \times h_v \quad (21)$$

v – volume específico da mistura

h – entalpia específica da mistura

v_a – volume específico do ar seco à temperatura da mistura e à sua pressão parcial (pressão a que o ar seco ficaria submetido se só ele ocupasse o volume v da mistura à mesma temperatura)

h_a – entalpia específica do ar seco (específica porque no interior do volume v se encontra a unidade de massa de ar seco – 1kg)

V_v – volume do vapor à sua pressão parcial e à temperatura da mistura (não específico porque no interior do volume v não se encontra a unidade de massa de vapor mas sim w kg)

H_v – entalpia do vapor (não específica porque no interior do volume v não se encontra a unidade de massa de vapor mas sim w kg)

2.3.4. Humidade específica ou (absoluta)

$$w = \frac{M_v}{m_a} = 0,622 \frac{p_v}{p-p_v} (kg/kg) \quad (22)$$

Expressão obtida do seguinte modo: $v_v = v_a$ (23)

$$w \times v_v = v_a \quad (24)$$

$$w = \frac{v_a}{v_v} = \frac{\frac{R_a T}{p_a}}{\frac{R_v T}{p_v}} = \frac{R_a}{R_v} \times \frac{p_v}{p_a} \quad (25)$$

$$w = \frac{0,278}{0,4615} \times \frac{p_v}{p-p_v} = 0,622 \frac{p_v}{p-p_v} (kg/kg) \quad (26)$$

Quantidade de vapor misturada com cada quilograma de ar húmido, ou seja, a massa de vapor contida no volume v .

2.3.5. Humidade específica de saturação

$$w_s = 0,622 \frac{p_s}{p-p_s} (kg/kg) \quad (27)$$

Quantidade máxima de vapor de água que cada kg de ar seco pode conter à pressão atmosférica normal e à temperatura considerada.

2.3.6. Humidade relativa

$$\varphi = \frac{p_v}{p_s} \times 100(\%) \quad (28)$$

Relação entre a pressão parcial do vapor e a pressão de saturação (pressão a que o vapor muda para a fase líquida), à temperatura T considerada.

Indica-nos em percentagem a relação entre a pressão parcial do vapor e a sua pressão de saturação (pressão a que o vapor começa passar para o estado líquido, deixando por isso de existir na mistura na forma de vapor) à temperatura considerada.

Dá-nos uma ideia sobre a possibilidade de ocorrerem condensações nas superfícies frias dum determinado local – por exemplo vidros de janelas exteriores, na estação fria.

3.Equipamentos de medida e controlo

Este projecto tem como objectivo a aquisição de dados de uma unidade laboratorial de ar condicionado (fig.5). A unidade laboratorial já existia no departamento, e o desafio que foi proposto foi o de automatizar e analisar o ciclo deste equipamento. Ou seja, para efectuar a aquisição de dados revelou-se importante a aquisição de vários sensores, estes iriam tornar este projecto executável.

Existem vários sensores no mercado, mas a oferta por vezes não se torna totalmente eficiente. A nossa escolha recaiu sobre a Rs Amidata e a Omega, devido a estas empresas disporem de uma vasta gama de sensores, possibilitando até obter quase toda a totalidade do material a usar.

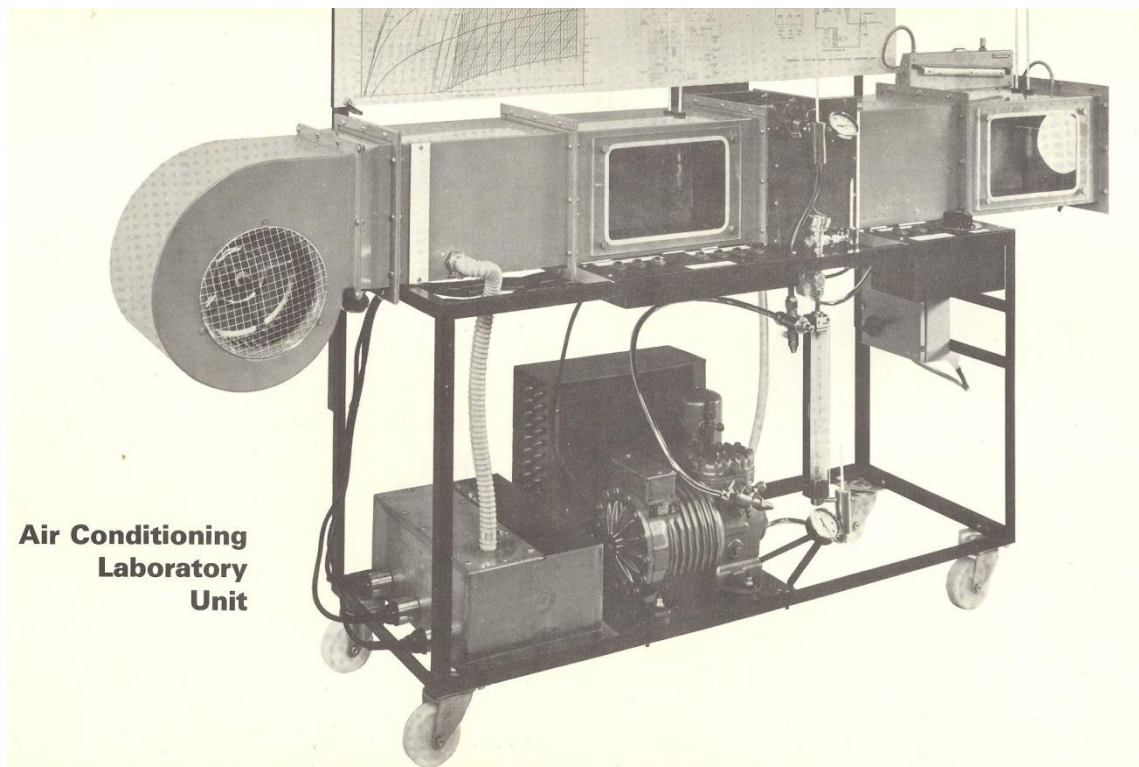


Fig.5 Unidade laboratorial de ar condicionado

3.1.Sensores

Literalmente, podemos definir a palavra sensor como “aquilo que sente”. Na electrónica, um sensor é conhecido como qualquer componente ou circuito electrónico que permite a análise de uma determinada condição do ambiente, podendo ela ser algo simples como a temperatura ou a luminosidade.

Os sensores podem ser classificados como um tipo de transdutor. Um transdutor é um componente que transforma um tipo de energia em outro. Porém, um sensor pode ser definido como um transdutor específico, que transforma algum tipo de energia (luz, calor, movimento) em energia eléctrica, utilizada para a leitura de alguma condição ou característica do ambiente.

Apesar de ser imensa a variedade de sensores electrónicos, podemos dividi-los basicamente em dois tipos: sensores analógicos e sensores digitais. Essa divisão é feita de acordo com a qual o componente responde à variação da condição. Os sensores analógicos são os dispositivos mais comuns. Tais sensores são assim designados, pois baseiam-se em sinais analógicos. Sinais analógicos são aqueles que, mesmo limitados entre dois valores de tensão, podem assumir infinitos valores intermediários. Isso significa que, pelo menos teoricamente, para cada nível da condição medida, haverá um nível de tensão correspondente.

3.1.1. Sensor de temperatura PT100

Os Pt100 (fig.6) também conhecidos como, RTD (Resistance Temperature Detector), funcionam com, a variação da resistividade eléctrica de um metal em função da temperatura. Cada metal possui uma resistividade própria que pode ser determinada experimentalmente.



Fig.6 RTD

Para esta experiência foram utilizados 3 Pt100, de platina a quatro fios. Os sensores serão aplicados em três pontos de interesse do líquido frigorígeno: sendo um aplicado depois da válvula de expansão, outro após o evaporador, ambos na linha de baixa pressão e o último

na linha de alta pressão, imediatamente a seguir ao compressor e ao condensador. As características deste tipo de RTD estão resumidas na tabela 2.

Tipo de RTD	Número de fios	Gama de temperaturas
Pt100 (Platina)	4	-50°C a + 200°C

Tabela 2 RTD

3.1.2.Sensor de caudal

O sensor de caudal do fluido refrigerante será instalado na tubagem do circuito da unidade de ar condicionado, entre o sensor pt100 de alta pressão e a válvula solenóide. O sensor é uma caixa fechada, apenas com dois orifícios por onde entra e sai o fluido, possuindo no seu interior uma pequena turbina que é posta em movimento pelo fluido, a qual possui um magneto permanente. Na outra extremidade do sensor existe uma bobine que, através do movimento do magneto, produz uma corrente alternada, cuja frequência varia em função da velocidade de rotação da turbina.



Fig.7 Sensor de caudal

As características principais destes sensores então descritas na tabela 3.

	Fabricante	Modelo	Erro de Medição	Caudal
Sensor Fluido Refrigerante	Omega	FTB 9502	1% a 2%	25 a 350 cc/min

Tabela 3 Sensor de caudal

3.1.3.Sensor de pressão

Vão ser instalados dois sensores de pressão no circuito de frio, um mede a pressão à entrada do compressor (baixa pressão), e o outro mede a pressão à saída do compressor (alta

pressão). A instalação de ambos os sensores será efectuada fazendo uma derivação em “T” na tubagem.

Ambos os sensores são alimentados por uma fonte de alimentação (24 volts). O sensor de baixa pressão transmite sinal em intensidade, o sinal transmitido pelo sensor de alta pressão é feito em tensão.

A Figura 8 mostra o aspecto do sensor de pressão.



Fig.8 Sensor de pressão

3.1.4.Sensor de humidade relativa e temperatura do ar

Ao contrário dos sensores atrás referidos, que servem para obter dados das várias fases do líquido refrigerante, estes sensores vão ler a temperatura e a humidade na conduta de ar.

Para este projecto serão precisos dois sensores, um antes da zona de frio e outro mesmo a saída do ar na conduta.

Estes sensores são alimentados pela fonte de alimentação (24 volts) e emitem sinal separado, de humidade e temperatura, em tensão.

A imagem seguinte mostra um sensor de temperatura e humidade relativa.

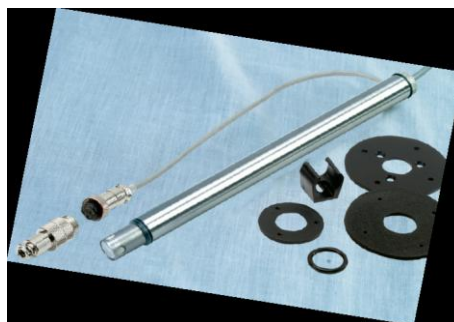


Fig.9 Sensor de temperatura e humidade

3.2.Equipamentos de controlo

Equipamentos de controlo são componentes electrónicos capazes de controlar equipamentos eléctricos de alta tensão a partir de pequenas tensões.

A escolha dos equipamentos necessários para controlar a unidade laboratorial recaiu em relés do estado sólido e num variador de frequência.

3.2.1. Relés

Os relés electromagnéticos são componentes capazes de controlar circuitos externos de grandes correntes a partir de pequenas correntes ou tensões, ou seja, accionando um relé com uma pilha pode-se controlar um motor que esteja ligado a 230 volts, por exemplo.

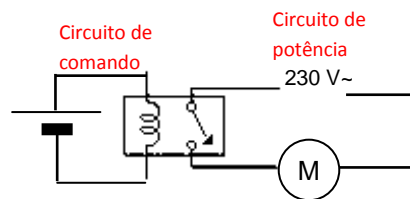


Fig.10 Exemplo esquemático de um relé.

Quando uma corrente circula pela bobina do electroímã do relé, cria-se um campo magnético que atrai um ou uma série de contactos fechando ou abrindo circuitos. Ao anular-se a corrente da bobina o campo magnético também se anula, fazendo com que os contactos voltem para a sua posição inicial.

Os relés de estado sólido (Solid State Relay) diferem dos relés electromecânicos por não apresentarem partes mecânicas móveis. Um relé de estado sólido é um circuito electrónico que contém no seu interior um circuito disparado por um nível de tensão, acoplado a um interruptor semiconductor de potência, um transístor.

Foram adquiridos 10 relés de estado sólido para controlar: as três resistências de vapor, as quatro resistências da conduta de ar, o sistema de refrigeração, o ventilador e a fonte de alimentação.



Fig.11 Relé do estado sólido usado na unidade laboratorial

3.2.2. Variador de frequência

O variador de frequência é um equipamento electrónico. Sua função é permitir a variação da velocidade de trabalho de outros elementos, sem perdas de muito tempo na troca de rotações, desacelerações e novas acelerações.

Funcionando suavemente, sem impactos, o variador de frequência pode ser preparado para adaptar-se automaticamente às condições de trabalho exigidas.

Normalmente, a variação de velocidade é executada com a máquina em movimento com baixa carga.

O variador “Siemens sinamics g110” foi o escolhido para o controlar a velocidade de rotação do ventilador. Este variador é alimentado pela corrente da rede, monofásica, sendo a saída trifásica. É controlado por uma entrada analógica (0-10Volts), através do computador.



Fig.12 Variador de frequência

3.3. Placa de aquisição de dados DAQ

A placa de aquisição NI 6221 PCI tem 18 canais analógicos simples (AI 16 a AO 2), que podem também funcionar como 8 canais diferenciais. Para além destes, estão disponíveis 21 canais digitais.

Para ligar os sensores é necessário utilizar o acessório SCC-68, que não é mais do que um bloco de terminais onde se ligam os fios dos diferentes sensores. O cabo para ligar o bloco de terminais à placa de aquisição tem a referência 68-D-Type to 68 VHDCI. A configuração deste conjunto, está ilustrada na figura 13.

Each NI PCI-6220 requires: 1 Cable, 1 Connector Block

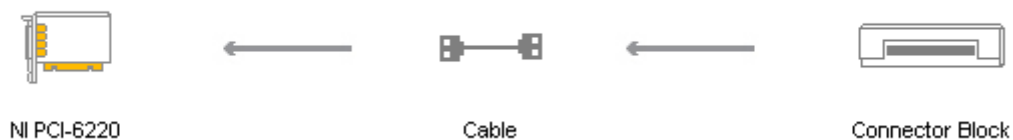


Fig.13 Esquema de ligação do conector de blocos á placa

3.4. Condicionador de sinal

O SCC-68 é um conector de blocos, para ligar as placas da NI, do tipo M e E Daq. Este dispositivo tem terminais de ligação com aperto de parafuso e tem uma tensão de alimentação para as saídas digitais de 5 volts, analógicas de 10 volts e entradas analógicas de 5 volts, mas também pode ser alimentada externamente.

O conector também dispõe de quatro *slots* onde pode ser condicionado vários tipos de sinal, para o nosso caso vamos ter quatro módulos para condicionar os sinais de temperatura.



Fig.14 SCC-68 conector de blocos

3.5. Módulos

Vamos ter dois módulos para condicionar o sinal de temperatura, estes módulos, SCC-RTD01 (fig.15), dispõem de dois canais que aceitam RTDs de 2, 3 ou 4 fios. Cada canal excita o RTD com 1mA de forma a termos um sinal de saída.



Fig.15 SCC-RTD01

3.6. Fonte de alimentação

A fonte de alimentação é um aparelho electrónico que converte a corrente alterna da rede em corrente contínua.

Uma vez que temos equipamentos com necessidade de alimentação em corrente contínua, com várias tensões inferiores a 24 volts, optamos por adquirir uma fonte de alimentação que convertesse a tensão alternada da rede até uma tensão contínua máxima de 24 volts.



Fig.16 Fonte de alimentação

4. Aquisição de dados

4.1. Programa informático “LabView”

LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica que usa ícones no lugar de linhas de texto para criar aplicações. Em contraste com as linguagens baseadas em texto, onde as instruções determinam a execução do programa, o LabVIEW usa uma programação tipo fluxo de dados, onde este fluxo determina a execução.

Esta linguagem (acrónimo para *Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*) foi desenvolvida no final da década de 80 pela *National Instruments, Inc* para ambientes de janelas (tipo *Windows*). Tornou-se popular e largamente aceite no meio científico e de engenharia, sendo similar a outras linguagens gráficas oferecidas por outras empresas, como o pacote *HP-VEE* da *Hewlett-Packard*.

No LabVIEW é possível construir uma interface usufruindo de um conjunto de ferramentas e objectos. A interface do usuário é conhecida como painel frontal. Então, os códigos são adicionados usando representações gráficas das funções, para controlar os objectos do painel frontal. O diagrama de blocos contém este código. De muitas formas, o diagrama de blocos imita um fluxograma. Utiliza-se uma linguagem de programação gráfica chamada G, mas não é necessário conhecê-la para usufruir das possibilidades do LabVIEW. Pode ser também um programa em tempo real (LabVIEW RT), onde a aplicação trabalha sem a necessidade de outro sistema operacional, pois vem com próprio Kernel, que se encarrega de administrar os processos computacionais de baixo nível, além do nível superior. É possível adquirir uma vasta gama de ferramentas para o desenvolvimento de aplicações específicas. Todas estas ferramentas são compatíveis com o programa LabVIEW. Também é compatível com ferramentas de desenvolvimento similares e pode trabalhar com programas de outra área de aplicação, como o Matlab. Além desta facilidade no desenvolvimento de aplicações computacionais, é de simples integração com os componentes físicos do sistema, especialmente com placas de medição, aquisição e processamento de dados, incluindo aquisição de imagens. Encontra aplicabilidade em sistemas de medição, como por exemplo, monitorização de processos e aplicações de controlo. É muito utilizado no processamento digital de sinais (*wavelets*, *FFT*, análise de conteúdo harmónico etc.), em processamento em tempo real de aplicações biomédicas, na manipulação de imagens e áudio, automação, no projecto de filtros digitais, geração de sinais, entre outras.

4.2. Software de aquisição de dados

O software de aquisição de dados inclui tanto o programa de aquisição de dados, criado para a monitorização dos ensaios, como também o “Measurement and Automation Explorer”, um programa que faz a interface entre os acessórios e o programa de aquisição.

4.3. Programa de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados permite, através da utilização de um computador, monitorizar em tempo real e registar num ficheiro de texto os valores das diferentes variáveis que estão a ser medidas, nomeadamente temperaturas, pressões no circuito refrigerante e o caudal de fluido. Os ficheiros de dados são posteriormente analisados de forma a permitir fazer uma caracterização do funcionamento da unidade laboratorial para diferentes condições de teste.

Com o programa de aquisição pode ainda fazer-se o controlo das resistências accionando ou desligando o relé através de sinais digitais.

Este software de aquisição de dados foi desenvolvido com base na linguagem de programação LabView 8.5, e permite ao utilizador monitorizar e controlar através do computador o decorrer do ensaio e a possibilidade de registar os valores das variáveis em ficheiros de texto para análise posterior.

As Figuras seguintes mostram o aspecto gráfico do software, em que a monitorização e o controlo são efectuados em vários blocos. O bloco do controlo permite terminar o programa, activar ou desactivar os sensores, os Pt100 ou o aparelho destinado a medir as grandezas eléctricas, permite ainda efectuar o registo dos valores das variáveis medidas num ficheiro de texto. Os restantes blocos do programa servem para monitorizar em tempo real as diferentes variáveis medidas (temperatura, pressão, caudal e humidade).

A figura 17 mostra-nos o painel frontal do programa desenvolvido para controlo e monitorização da unidade de ar condicionado laboratorial.

É através desta imagem, no ecrã do monitor do computador, que controlamos a unidade, ligamos e desligamos resistências, controlamos a velocidade do ventilador, ligamos o sistema de refrigeração e vemos características físicas tanto do ar como do líquido refrigerante.

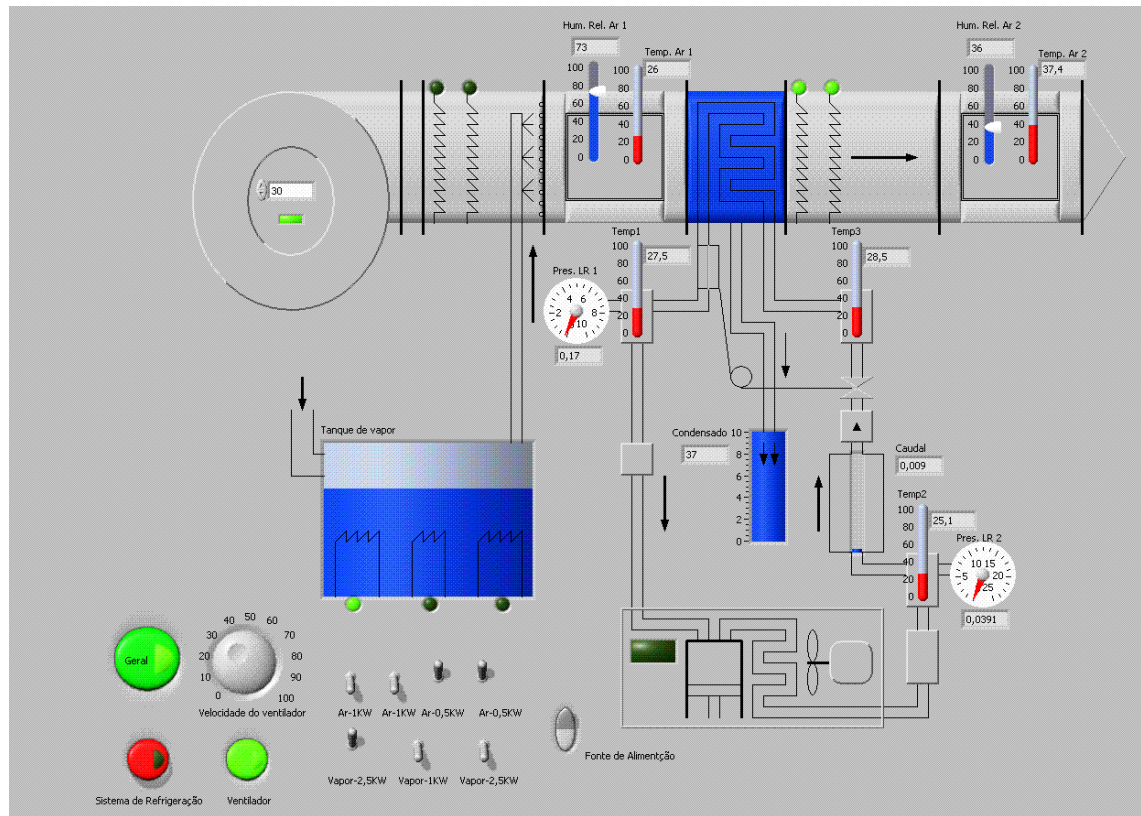


Fig.17-Painel frontal de interação com o programa de aquisição de dados

A figura 18 mostra-nos aquisição analógica dos vários sensores. Aqui podemos observar as ligações efectuadas e as conversões que em alguns casos temos que fazer, nomeadamente na aquisição do caudal e pressão da linha de alta pressão do líquido refrigeração, na temperatura e humidade do ar da conduta.

Podemos observar também um ícone, filtro de sinal, que foi necessário colocar uma vez que os sensores de temperatura e humidade, devido à sua sensibilidade, capturavam sob forma de frequência cerca de 50 a 60 Hz. Essa frequência provinha dos equipamentos eléctricos ligados nas proximidades dos sensores, nomeadamente: computador, monitor e a própria frequência de rede.

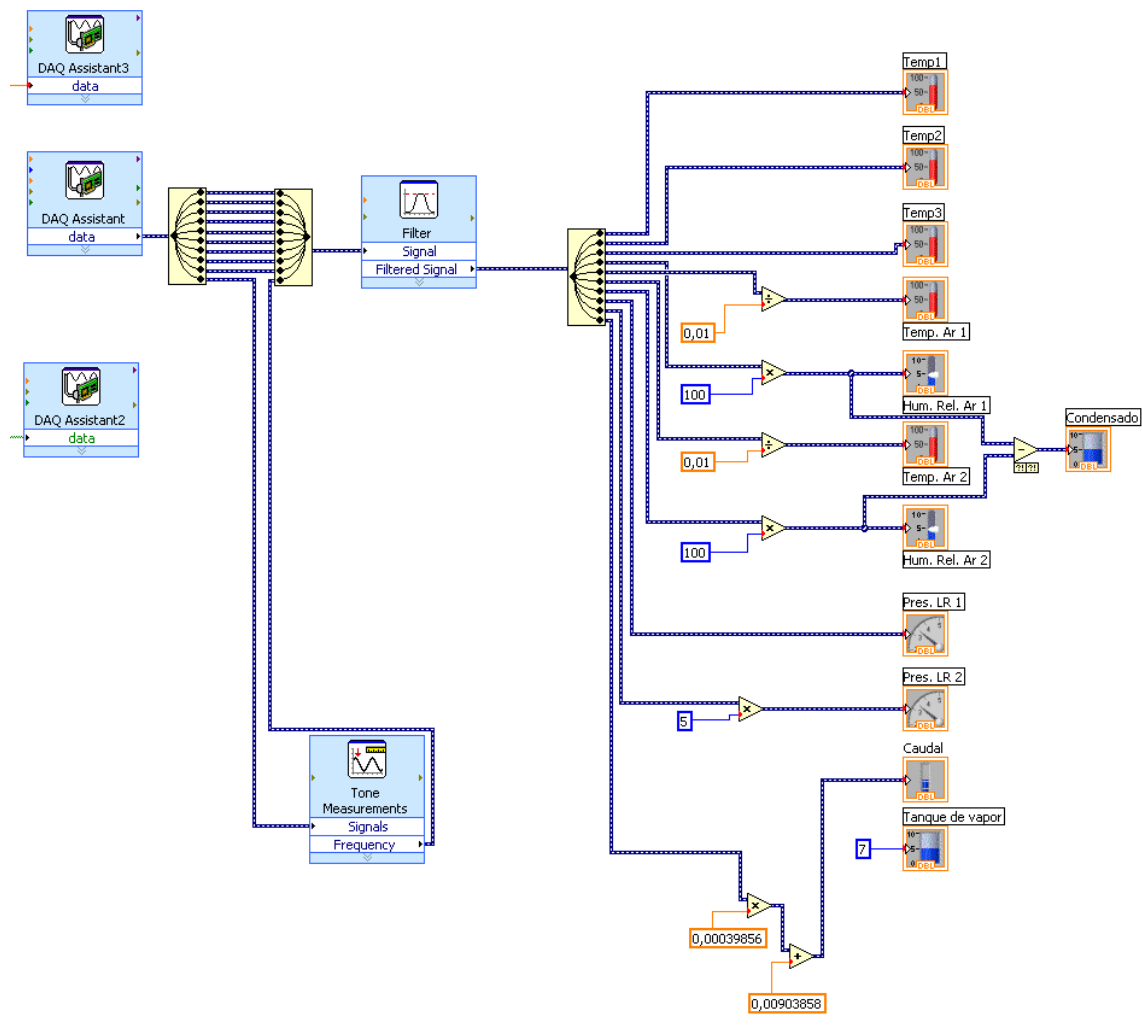


Fig.18-Diagrama de blocos da parte analógica de aquisição de dados

A figura 19 mostra o tipo de filtro que foi necessário aplicar para eliminar a frequência que condicionava a aquisição do sinal dos sensores.

O tipo de filtragem mais eficiente para este caso é a filtragem passo a passo, com as características representadas na imagem.

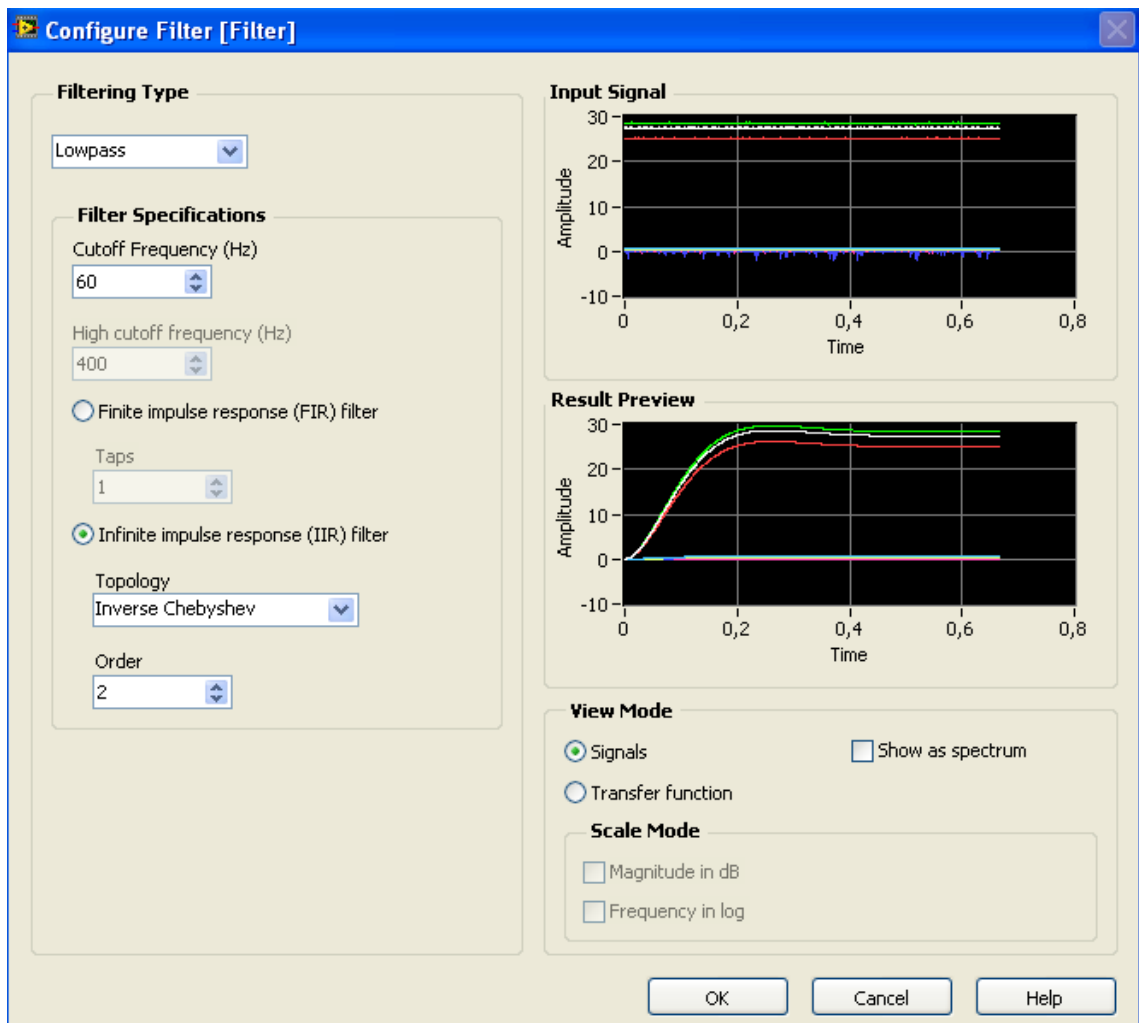


Fig.19-Filtro de sinal

A figura 20 mostra a parte digital e analógica do controlo do programa. Com saída de sinal, neste caso analógico e digital, podemos controlar os componentes eléctricos que fazem parte da unidade laboratorial.

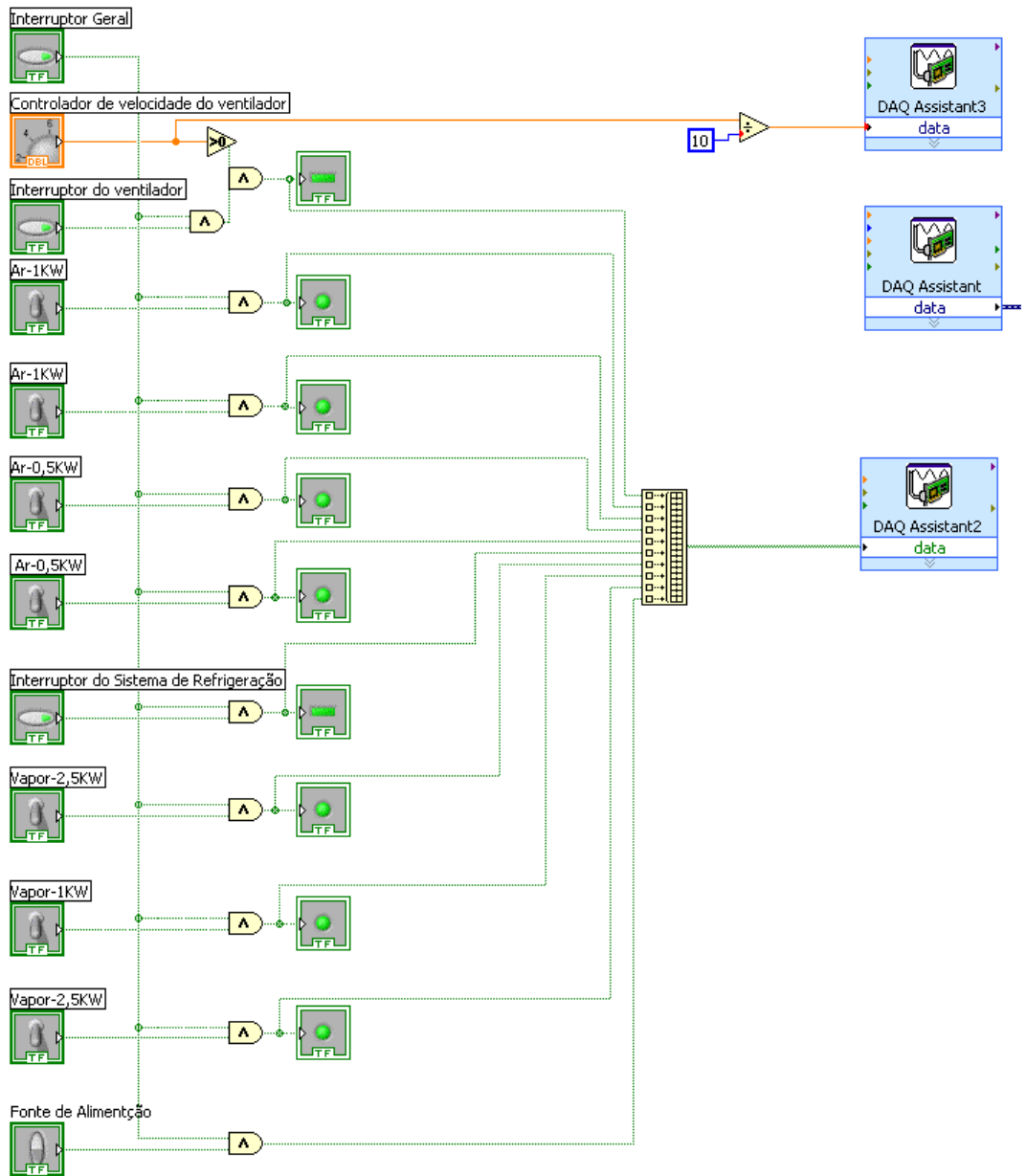


Fig.20-Diagrama de blocos da parte digital e analógica de controlo

4.4.”Measurement and Automation Explorer” (MAX)

O programa “Measurement and Automation Explorer” vem juntamente com o “hardware” de aquisição de dados. Neste programa são configuradas as placas de aquisição, especificando o tipo de acessório utilizado para a ligação dos sensores e configurando individualmente cada sinal proveniente dos sensores. O programa pode ser iniciado através do ícone do Ambiente de Trabalho do Windows XP (ver Figura 21).



Fig.21 Ícone do Ambiente de Trabalho do Windows XP

Existe a possibilidade de configurar cada sinal individualmente, tendo em conta factores como o tipo de sensores (por exemplo, Pt100), o tipo de sinal a medir (ddp, corrente, frequência ou outros), e existe também a possibilidade de introduzir os factores de calibração. Com a configuração completa dos sinais é possível ao programa de aquisição de dados indicar directamente os valores finais das variáveis, já nas respectivas unidades.

A Figura 22 mostra o aspecto do programa de configuração das placas de aquisição e dos respectivos canais. Na árvore da esquerda aparece a pasta “Devices and Interfaces”, onde podemos encontrar a lista de placas da NI instaladas no computador. Quando se instala um novo hardware do tipo DAQ-mx, pode ser necessário instalar os “drives” a partir dos CD’s que acompanham a placa. A configuração do hardware é feita através da caixa de diálogo (visível na imagem, para a placa NI 6221, Device 3). Na pasta “Devices and Interfaces” são visíveis os dois tipos de placas instalados: “Traditional DAQ (2 placas para a aquisição do sinal dos Pt100) e DAQ-MIX (1 placa, para a aquisição do sinal dos sensores).

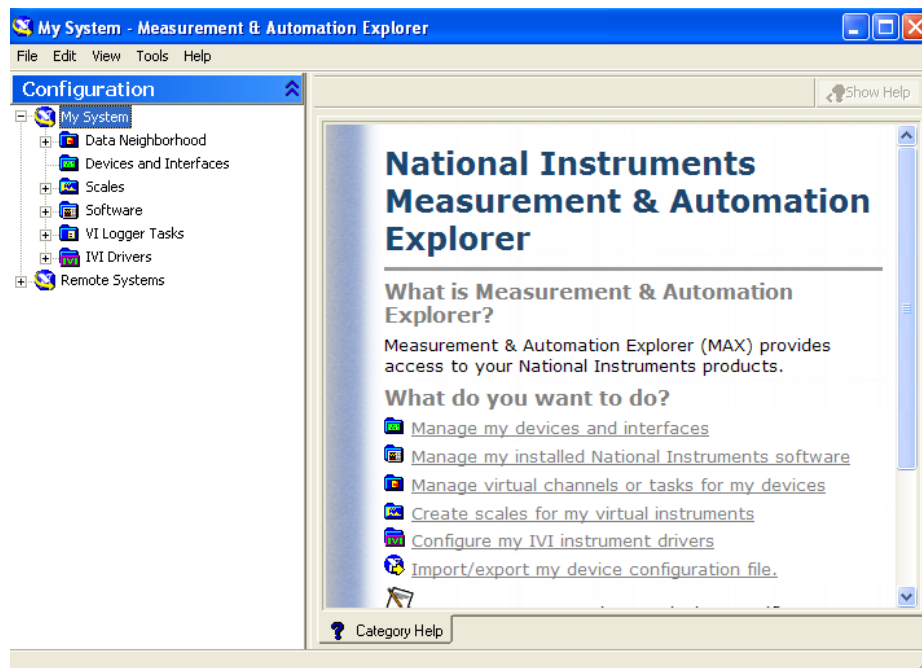


Fig.22-Configuração das placas

A configuração dos diferentes canais é feita na pasta “Data Neighborhood”. Os Pt100 estão configurados um a um na subpasta “Traditinal NI-DAQ Virtual Channels”, e os sensores estão configurados na subpasta “NI-DAQmx Global Channels”. Os sinais são adicionados um a um, “clitando” na subpasta respectiva com o botão direito do rato e seleccionando as diferentes opções nos menus e caixas de diálogo. A configuração dos sinais no Explorer não é necessária, podendo o programa de aquisição adquirir directamente o sinal proveniente dos sensores, embora na maioria das situações (em especial para ao Pt100), seja muito mais prático fazer esta configuração.

A figura 23 mostra os canais físicos de aquisição, ou sinais de entrada, de sinal das placas dev3, scc1Mod1 e scc1mod2.

Os scc1Mod1 e scc1Mod2 são os módulos atrás descritos para adquirir os sinais dos sensores de temperatura rtds. Dev 3 é a parte analógica de aquisição de sinal da placa NI 6221 PCI.

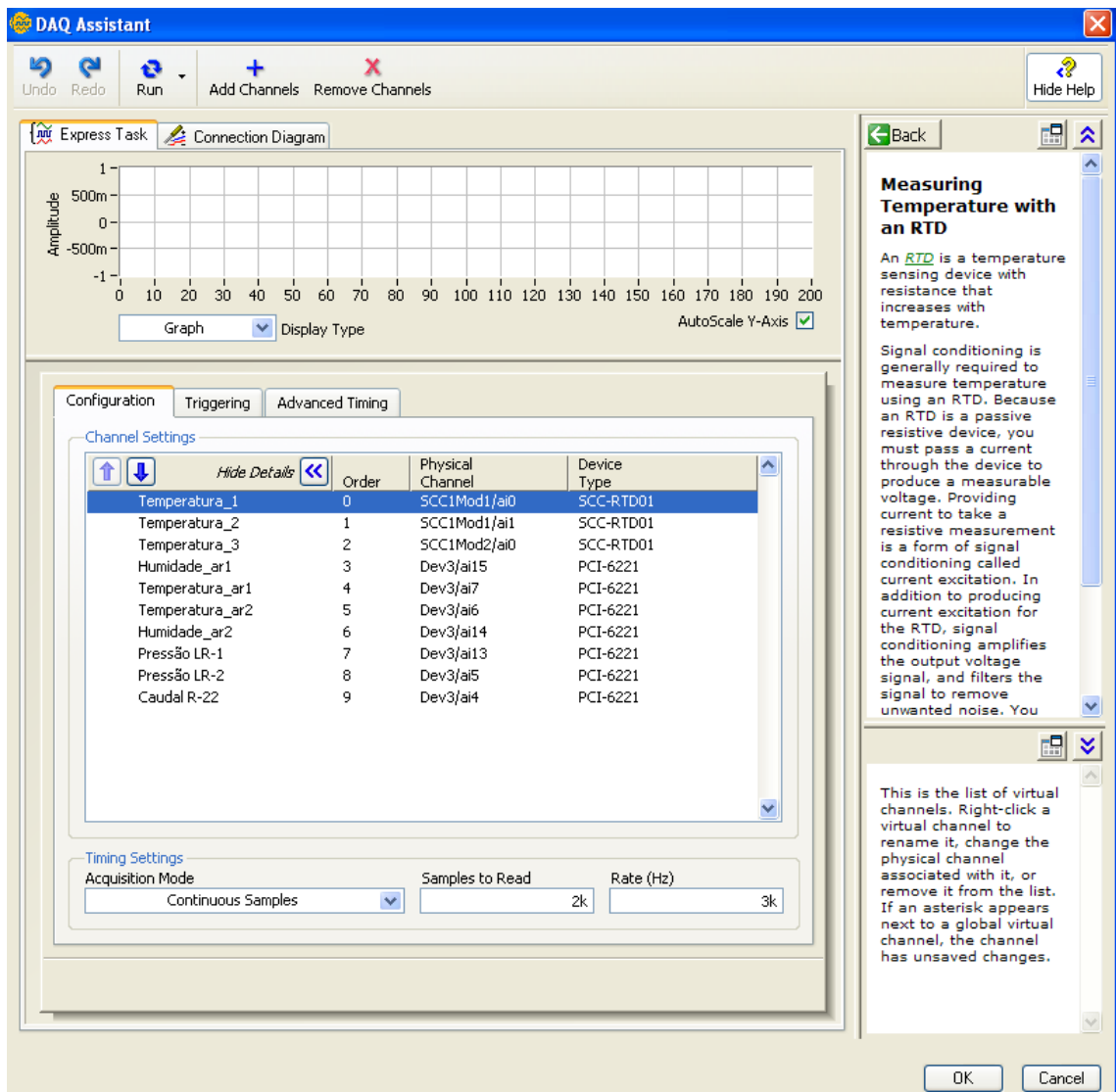


Fig.23- Canais de aquisição analógica dos sensores

Nesta figura (fig.24), podemos observar os canais físicos digitais de controlo ou saídas digitais. Através desta imagem, temos noção dos canais que existem e que aparelhos vão controlar, nomeadamente: ligar/desligar resistências de aquecimento do ar, resistências de produção de vapor, sistema de refrigeração, ventilador e fonte de alimentação.

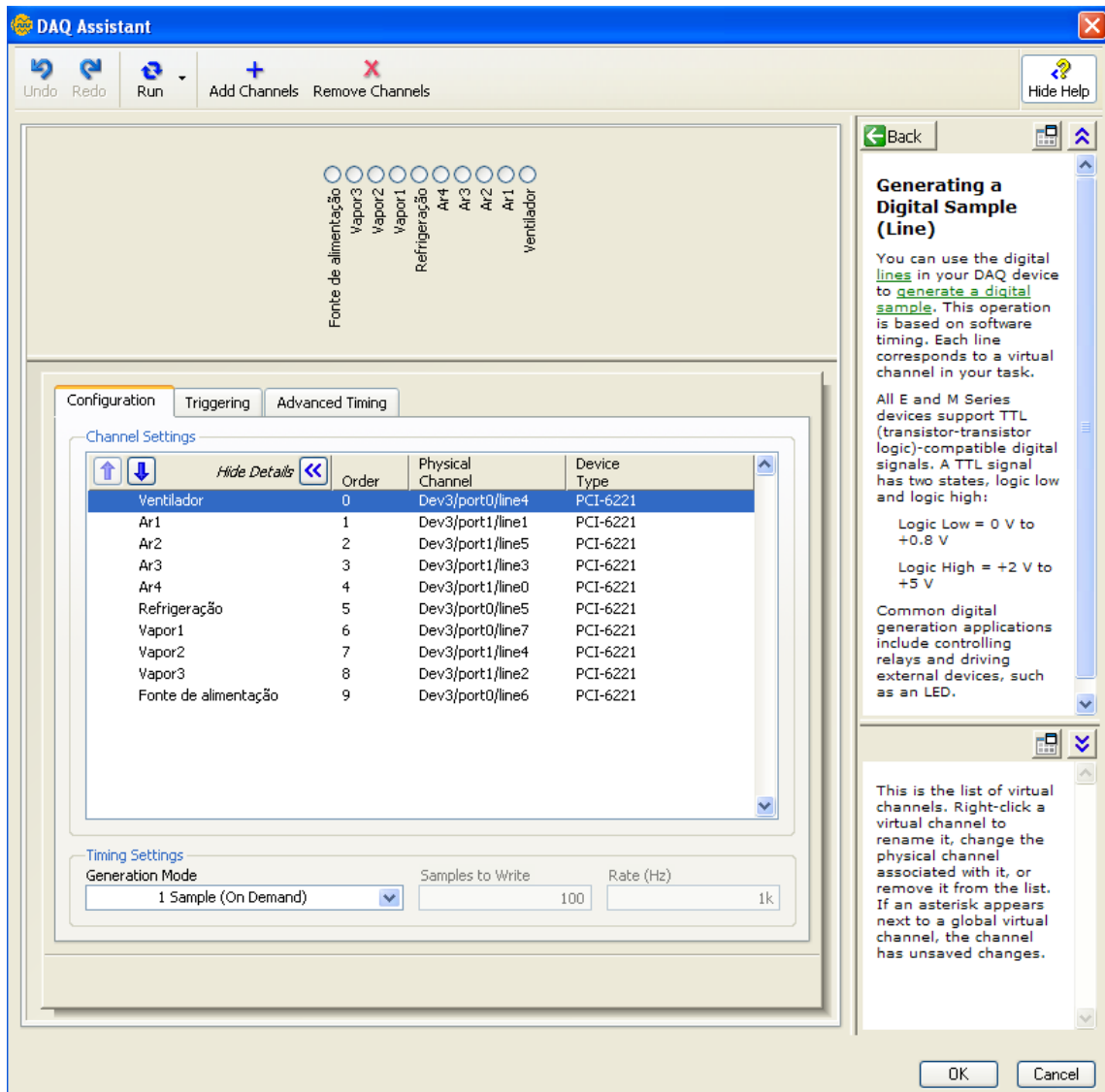


Fig.24-Canais digitais de controle

A última figura (fig.25) mostra o único sinal de saída analógico. Este sinal analógico serve para controlar o variador de frequência, aparelho que controla a velocidade do ventilador.

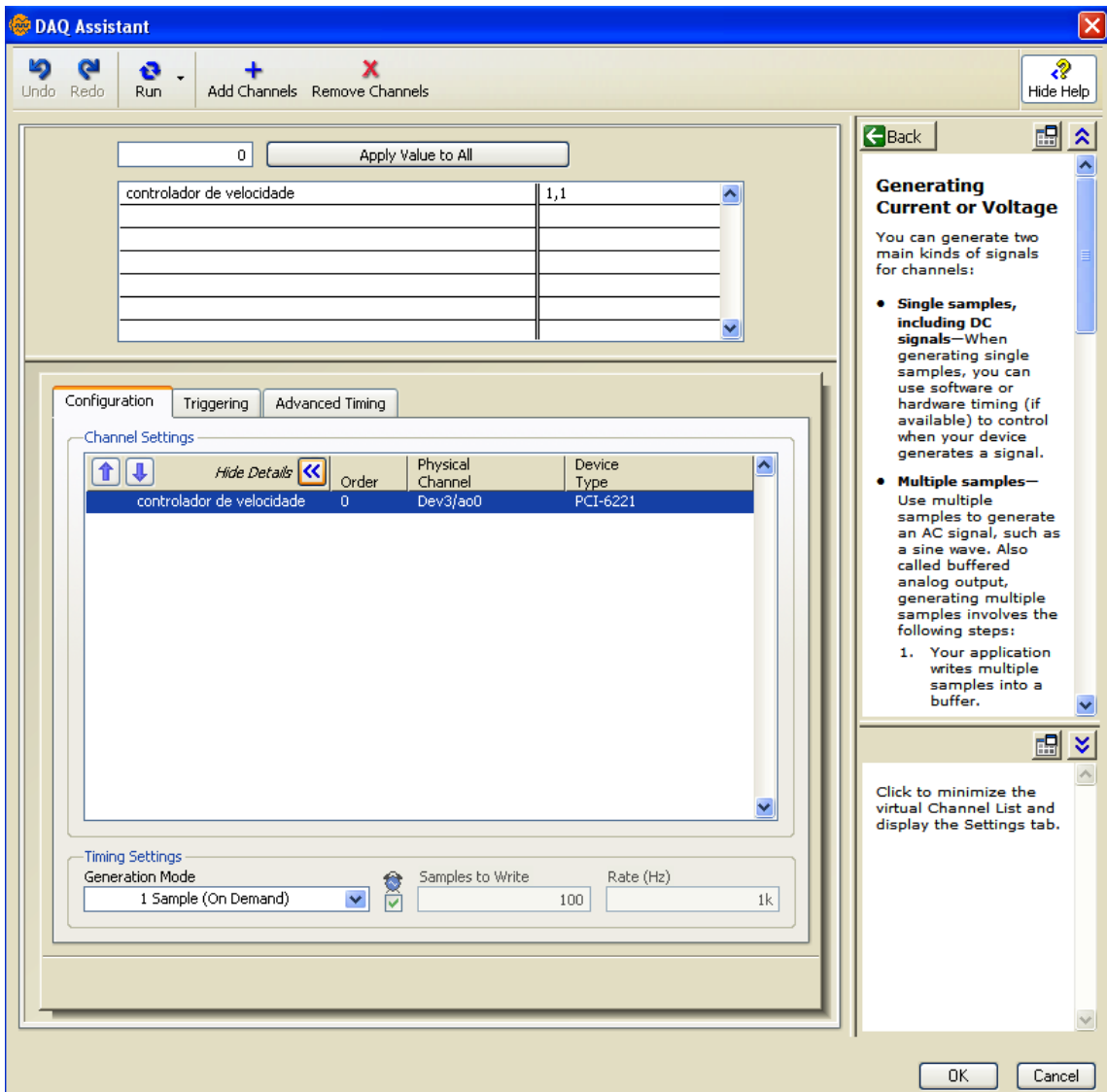


Fig.25- Canal analógico de controlro

5.Instalação experimental

A Unidade de ar condicionado laboratorial dispõe de uma unidade de refrigeração funcionando num ciclo de compressão de vapor constituída pelos seguintes elementos: compressor, condensador, evaporador e válvula de expansão (fig.26).

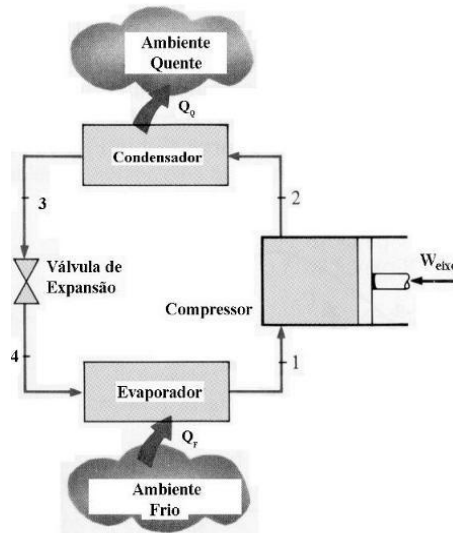


Fig.26 Esquema de um ciclo de frio

No evaporador uma fonte de calor a baixa temperatura fornece ao refrigerante a baixa pressão uma energia correspondente a parte do calor latente de vaporização. O vapor resultante é aspirado pelo compressor que lhe eleva a pressão e temperatura, dirigindo-se, em seguida, para o condensador onde cede a energia total absorvida ao fluido de utilização. Finalmente, através de um processo de laminagem, a pressão e temperatura são reduzidas e o fluido refrigerante estará apto a receber, novamente, calor no evaporador.

Para além do ciclo refrigerante atrás referido, esta unidade laboratorial permite o aquecimento, humedificação/desumidificação, bem como o controlo do caudal do ar.

O aquecimento é feito através de quatro resistências eléctricas, duas de 1000 W antes da zona de humedificação e as outras duas, de 500 W, a jusante da zona de arrefecimento.

A humedificação é conseguida por três resistências eléctricas, duas de 2500 W e uma de 1000 W, mergulhadas num tanque com água. O vapor é depois conduzido por um tubo desde o tanque até à conduta. Todas as resistências são accionadas por relés ou interruptores.

O ar é introduzido na conduta por um ventilador que é accionado por um motor eléctrico trifásico. Para regular a velocidade do motor e com isso o caudal de ar, é utilizado um variador de frequência.

A figura seguinte mostra esquematicamente a unidade laboratorial.

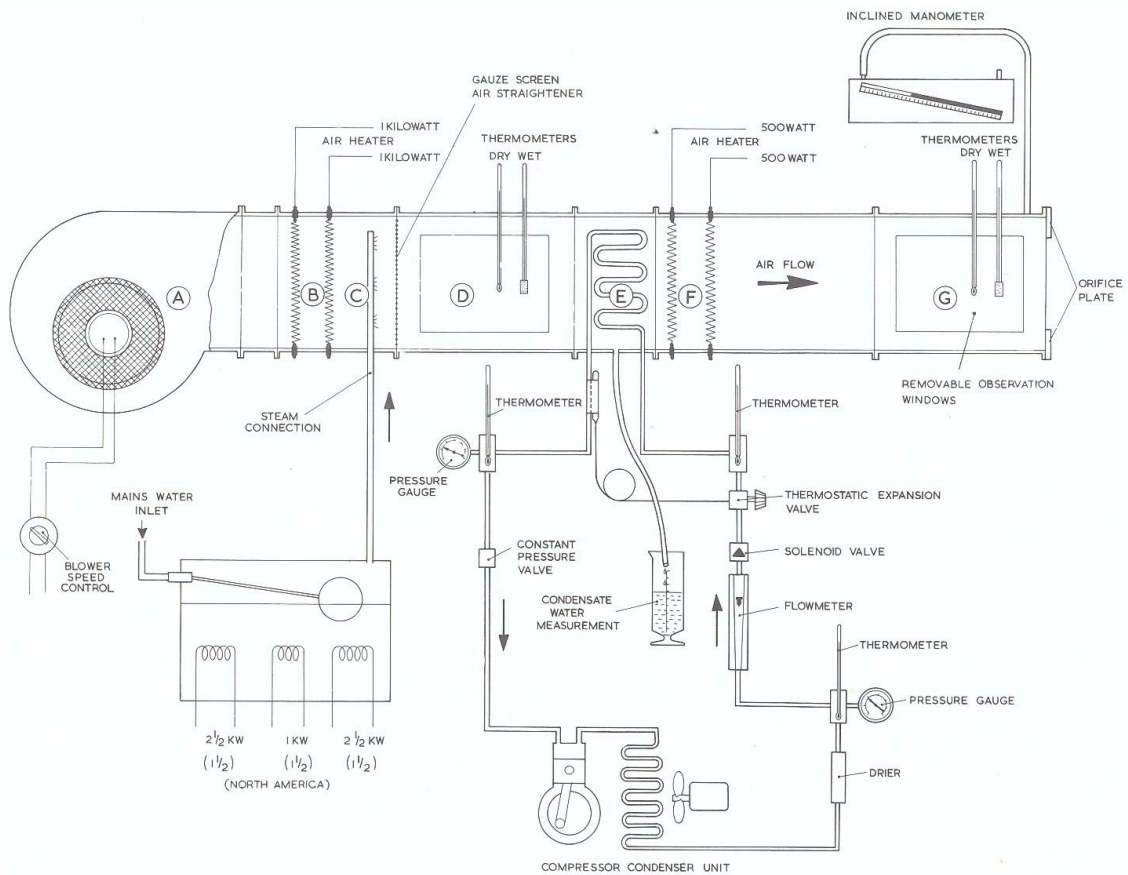


Fig.27 Esquema da unidade laboratorial

Uma vez que se trata de uma unidade de ar condicionado laboratorial com alguma idade, a montagem e adaptações que foram feitas não foram simples de realizar.

A primeira dificuldade com que nos deparámos foi com a adaptação do sensor de caudal. Primeiro foi retirado o medidor de origem, uma vez que se encontrava danificado e substituído pelo sensor de caudal e respectiva tubagem de cobre. Optamos por soldar a tubagem a montante do sensor e aproveitar as peças roscadas a jusante para fixar o sensor.

A figura seguinte mostra como foi montado o sensor de caudal.

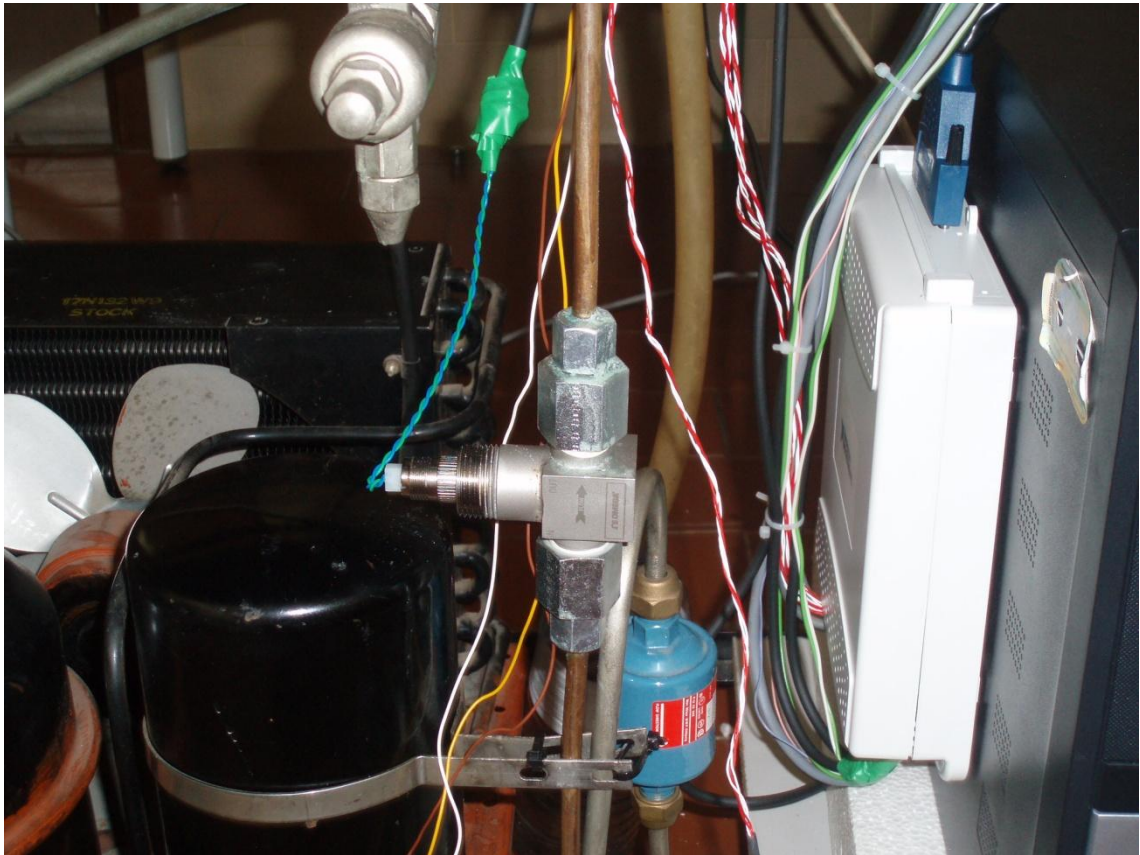


Fig.28 Sensor de caudal aplicado

Para podermos aplicar os sensores de pressão tivemos que fazer uma pequena alteração. Esta alteração foi um bocado complicada de realizar, porque as partes roscadas da unidade são de métrica britânica e as partes roscadas dos sensores são de métrica do sistema internacional, logo tivemos de arranjar forma de conjugar as duas métricas através de adaptações e reduções. A dificuldade não está em acoplar as peças, mas em vedá-las de maneira a que não existam fugas do líquido refrigerante.

A figura 29 mostra a adaptação em “T” que tivemos de colocar a fim de ligar o sensor de pressão e o manómetro já existente.

Além do sistema de pressão, também podemos ver uma válvula de expansão que também foi substituída. Por motivos ecológicos tivemos de alterar o líquido refrigerante de R-12 para R-22 e com isso foi necessário substituir a válvula de expansão.

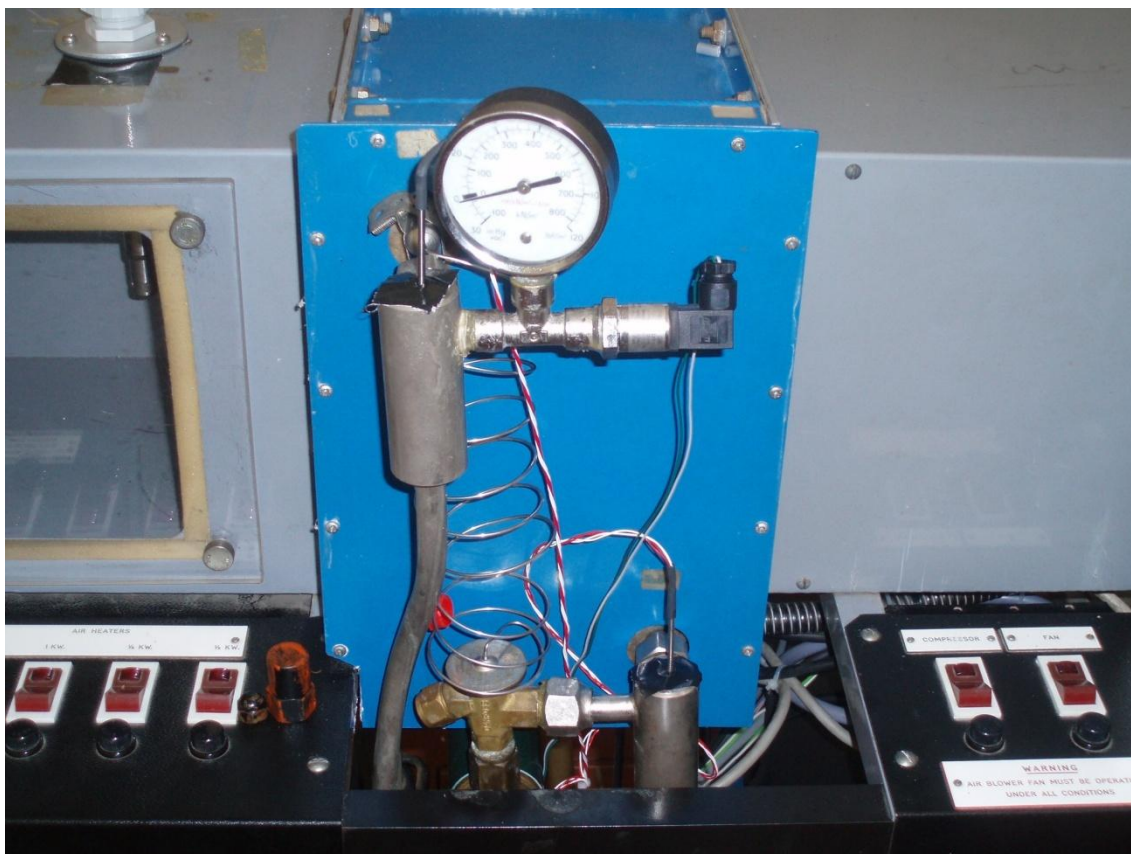


Fig.29-Ligação do sensor de baixa pressão e válvula de expansão

Uma das alterações mais exigentes que foi feita neste trabalho foi a de adaptar um motor trifásico ao sistema de ventilação.

O motor existente de origem era um motor monofásico. Para controlar a velocidade do motor era preciso ter um variador de frequência com saída trifásica. Uma vez que não existem variadores para motores monofásicos, tivemos necessidade de alterar o motor para um motor trifásico, com dimensões e características semelhantes ao motor monofásico. Com esta alteração foi preciso arranjar maneira de fixar e apoiar o motor. A figura seguinte mostra de que maneira foi fixado e apoiado o motor.



Fig.30 Motor trifásico e apoio de fixação

Este apoio foi feito numa chapa de ferro de 3mm, maquinado e torneado na oficina do departamento. Para além da chapa, também foi necessário tornear um veio para adaptar o veio do motor ao orifício do ventilador.

Outra chapa que foi preciso maquinar foi a da figura seguinte. Esta chapa também com 3mm de espessura e com um orifício com um diâmetro de 152mm, serve-nos para calibrar o caudal de ar que sai da conduta.

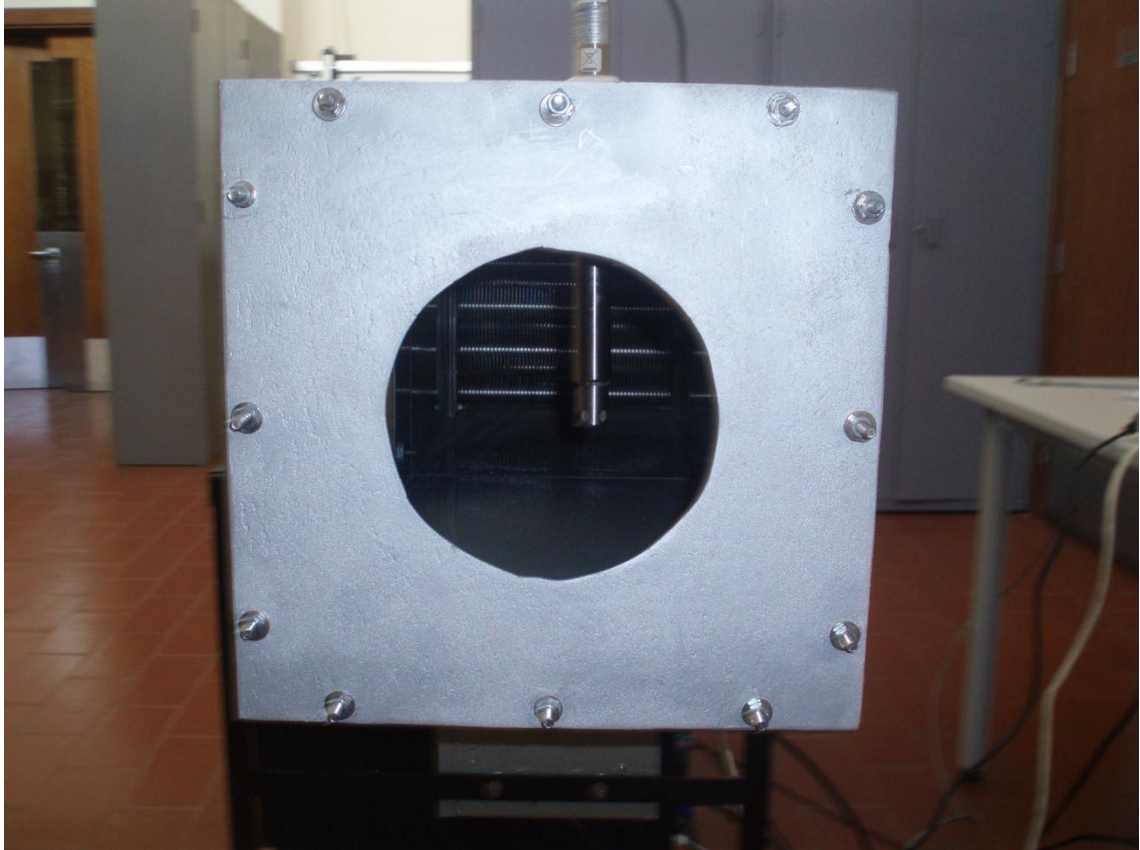


Fig.31-Chapa de calibração do caudal de ar

O buraco da chapa e a própria chapa foram cortados com uma serra tico-tico na oficina do departamento.

Optámos por fixar o variador de frequência a uma chapa fina perto das linhas eléctricas de comando do motor e do conector de blocos.



Fig.32-Variador de frequência

A figura seguinte mostra como foram aplicados os sensores de temperatura e de humidade relativa.

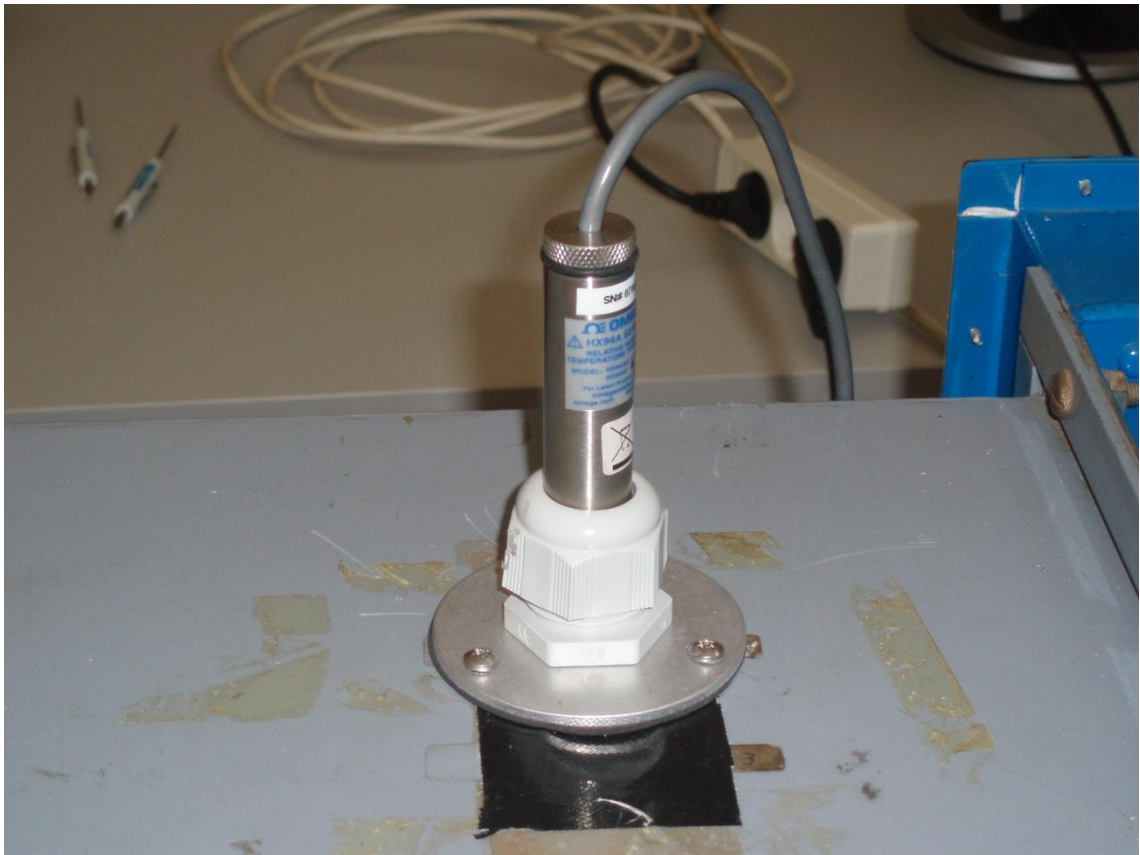


Fig.33-Sensor de temperatura e de humidade relativa aplicado na conduta de ar

Para fixar os sensores, foram feitos três buracos de fixação e um de diâmetro maior, de maneira a que os sensores entrassem na conduta.

Os relés foram aplicados por baixo dos disjuntores, para poderem estar perto dos fios eléctricos de alimentação dos aparelhos que são precisos controlar. Estando os sete das resistências, separados dos quatro dos aparelhos eléctricos.

A figura 34 mostra um relé e a caixa onde foram aplicados. Dentro da caixa foi aplicada uma chapa onde foram fixos os relés com parafusos.

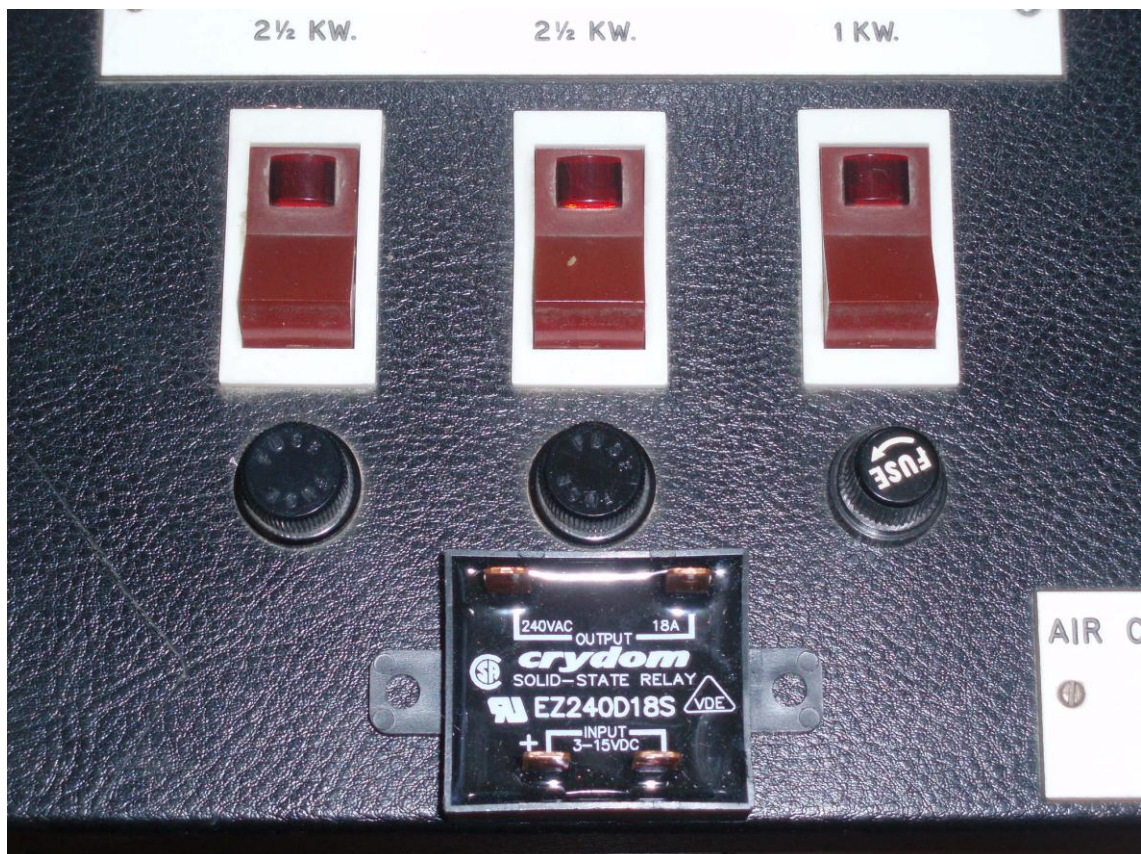


Fig.34- Relé e caixa onde foram aplicados

A fonte de alimentação foi aplicada como se mostra na próxima figura.



Fig.35- Fonte da alimentação

Optámos por colocar a fonte de alimentação perto do computador e do conector de blocos, uma vez que vai ser aí que vamos fazer a ligação aos sensores que precisam de ser alimentados.

A fonte de alimentação foi fixada a uma chapa devidamente isolada através de parafusos.

A imagem seguinte dá-nos uma ideia de como foram colocados os vários componentes atrás referidos e ilustra a importância da distância a que foram colocados.



Fig.36-Visão geral das ligações

Nesta imagem (fig.36) podemos ver a posição em relação ao computador dos sensores, da fonte de alimentação, do variador de frequência, dos relés e do conector de blocos. Assim, conseguimos perceber a importância do posicionamento dos vários componentes.

Para finalizar, a próxima imagem dá-nos uma imagem geral da unidade laboratorial.



Fig.37-Unidade laboratorial

6. Conclusão

Esta dissertação teve como principal objectivo automatizar uma unidade laboratorial de ar condicionado. Fazer ensaios experimentais e traçar as linhas nos gráficos: pressão-entalpia, temperatura-entropia e psicrométrico, era também uma tarefa proposta.

O principal objectivo foi conseguido, a unidade laboratorial foi automatizada. Esta tarefa, apesar de muito exigente, foi compensadora. De certa forma, obrigou-nos a contornar e ultrapassar problemas práticos inerentes à montagem de um equipamento laboratorial. Teve-se uma oportunidade única de aplicar o conhecimento adquirido ao longo de todo o curso, de uma forma bastante prática e ao mesmo tempo muito motivadora e compensadora.

O programa informático utilizado revelou-se uma boa ferramenta para aprofundar o conhecimento dentro de áreas onde o controlo e medida são acções fundamentais.

A unidade laboratorial será um bom equipamento de aprendizagem e de compreensão dentro da área da termodinâmica do ar húmido.

Apesar de toda a motivação e satisfação na realização deste trabalho, um sentimento de grande frustração envolve todo este tempo. Embora todo o equipamento esteja a funcionar, não foi possível realizar qualquer ensaio experimental. Devido a idade avançada da unidade laboratorial, uma válvula do depósito de líquido do sistema de refrigeração apresentava uma fuga que é impossível reparar, sendo a solução a substituição da mesma. Para além da válvula, o sistema de refrigeração apresenta fissuras, por onde escapa o líquido refrigerante, numa soldadura que foi feita a fim de ligar o sensor de caudal. Para contornar esta situação, ter-se-á de cortar naquela zona e voltar a soldar, tendo especial atenção por parte do soldador, para que esta seja bem-feita e não voltar a fissurar.

7.Bibliografia

[1] Boles, Michael A.; Çengel, Yunus A. (2002), “*THERMODYNAMICS NA ENGINEERING APPROACH*”.

[2] Figueiredo, Rui, (2002), “*Acetatos da disciplina de Climatização e Refrigeração*”.

Sites Utilizados:

[3] National Instruments: <http://www.ni.com/>

[4] Rs Amidata: <http://www.amidata.es/>

[5] Site de Engenharia: <http://www.engineeringtoolbox.com>

