

## CAPÍTULO IV

### 4. Procedimento experimental.

#### 4.1. Apresentação geral da bancada

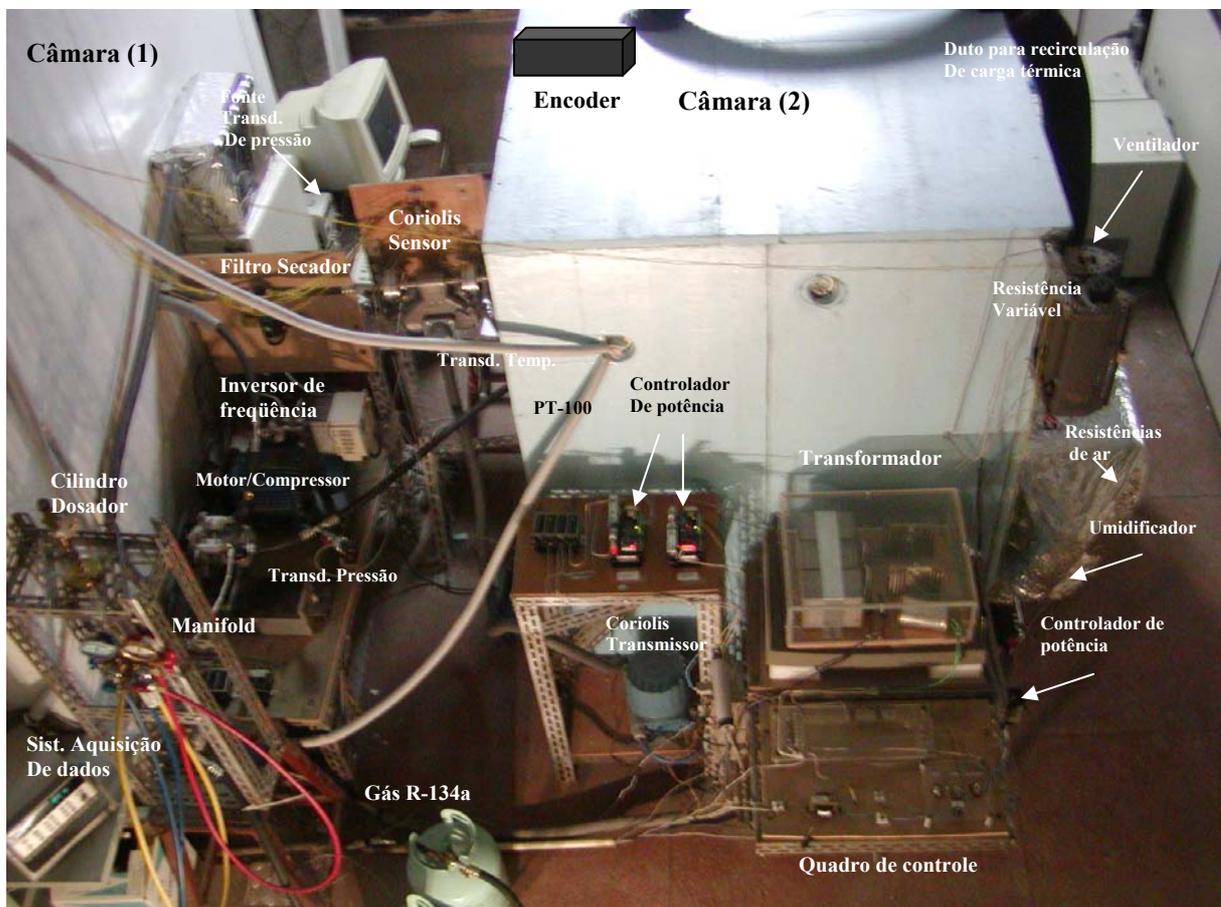
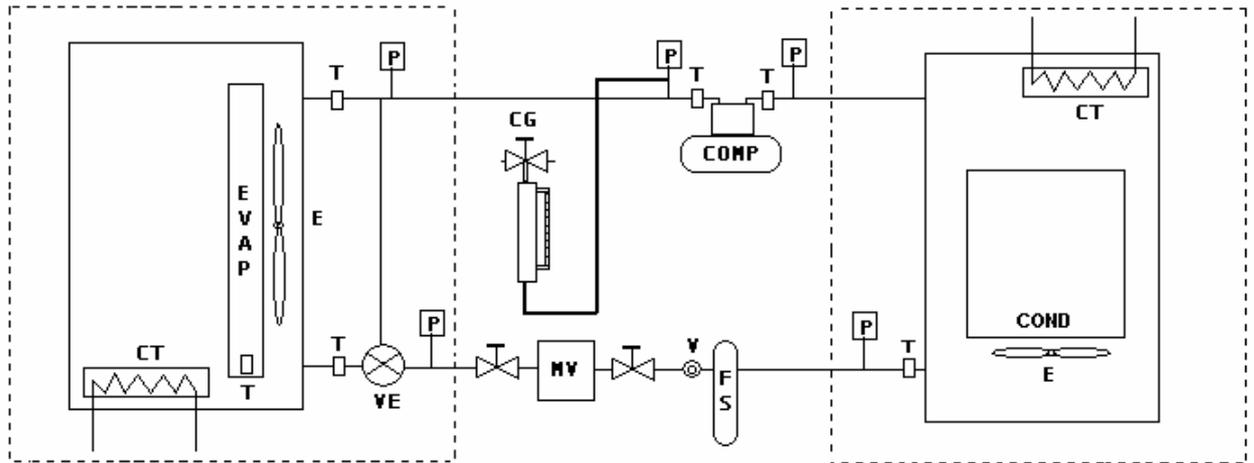


Figura 4.1- Visual geral da bancada de Condicionamento de Ar Automotivo.

Visando entender a análise conceitual das técnicas operativas e princípios de funcionamento descritos nos capítulos anteriores e constatar, na prática, que os fundamentos teóricos e numéricos se aproximam da realidade, um sistema de condicionamento de ar automotivo foi desenvolvido e construído seguindo o esquema geral do sistema de refrigeração automotivo mostrado na figura 4.2. no

Laboratório de Refrigeração e Aquecimento da Pontifícia Universidade Católica – Rio de Janeiro.



- CT: Carga térmica
- CG: Cargas de Gás
- FS: filtro secador
- MV: Medidor do fluxo mássico
- P: Transdutor de Pressão
- T: Transdutor de temperatura
- V: Visor de Refrigerante
- E: Eletroventiladores
- VE: válvula de expansão

Figura 4.2- Vista esquemática geral de montagem do aparato experimental automotivo

A bancada experimental construída com objetivo principal de avaliar a influência da carga de gás no sistema de condicionamento de ar, é apresentada na Figs. 4.1. Os componentes de refrigeração foram posicionados na câmara de ensaios, seguindo a disposição mostrada na figura 4.2. O Condensador e Evaporador foram colocados nas câmaras (1) e (2) respectivamente como é mostrado nas figuras 4.4 e 4.5 respectivamente.

O acionamento do sistema é feito com as portas das câmaras fechadas. Os dispositivos de controle de umidade e temperatura são acionados e

posteriormente, se fixam as temperaturas de ensaio previamente estabelecidos. São acionadas as resistências que simulam as cargas térmicas no interior das câmaras. O sistema opera até que as condições de regime permanente sejam alcançadas. A partir deste instante o sistema de aquisição é acionado, para registrar os dados de interesse.

Na câmara (1) os ensaios foram conduzidos a temperaturas de 34°C, 37°C e 40°C. A umidade relativa variou de 45% a 55%. Estes valores foram pré-estabelecidos para o controlador Omega, que aciona simultaneamente, as resistências elétricas para o aquecimento do ambiente interno. O ar condicionado, que forma parte do mesmo sistema, funciona continuamente resfriando o fluxo de ar que sai da câmara. O sistema de umidificação opera conforme as condições prescritas para o interior da câmara.



Figura 4.3- O Condensador na Câmara de ensaios N° (1).

Na câmara (2) os ensaios foram conduzidos a temperaturas de 18°C, 21°C, 24°C e 27°C, e a umidade de 50%, através do acionamento de resistências elétricas para o aquecimento de ar interno e umidificação, conforme estabelecido para cada caso.

Os instrumentos de controle foram programados para que se atingisse o regime permanente. Previamente deve-se ativar o sistema que mede a rotação e o torque. O controle da velocidade é feito através do inversor de frequência. Em cada um desses ensaios se fixa a temperatura no interior das câmaras do condensador e do evaporador e depois se faz variar as revoluções por minuto no compressor para posterior análise.

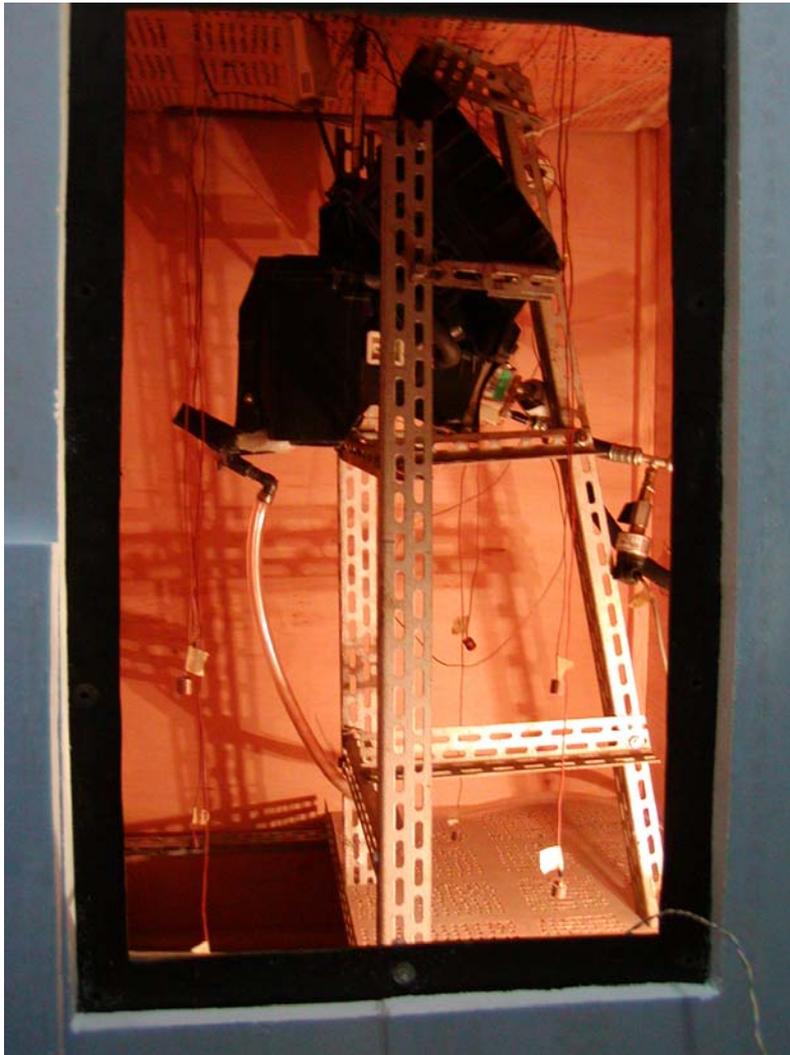


Figura 4.4- O Evaporador na Câmara de ensaios N° (2).

## **4.2.**

### **Condições de operação das câmaras de ensaios**

O condensador foi fixado na Câmara (1) de tal modo que a temperatura e umidade do meio atingem as temperaturas fixadas pelo controlador (34-37-40)°C e efetuando-se a aquisição de dados em regime permanente. O mesmo foi feito para o evaporador câmara (2), de tal modo que a temperatura e umidade do meio atingissem as temperaturas fixadas pelos controladores (18-21-24-27)°C.

## **4.3.**

### **Condições de operação do ciclo de refrigeração automotivo.**

Gás refrigerante na quantidade exata é carregado no sistema de refrigeração através do cilindro dosificador. Em seguida o mesmo é desconectado e posteriormente ligam-se os seguintes instrumentos: transdutores de pressão, Coriolis, Encoder e Sistemas de aquisição com seus softwares aplicativos.

#### **4.3.1.**

##### **Condições de teste**

O condensador e evaporador são instalados nas câmaras de ensaios seguindo as condições especificadas em normas de ensaios (NBR 12866, NBR 12863), como se mostra nas figuras 4.3 e 4.4. As portas de acesso são constituídas de materiais não porosos e as junções devem ser vedadas contra fugas de ar e umidade.

Cada câmara é equipada com um sistema de condicionamento (aquecedores, resfriadores) capaz de manter constantes as condições ambientais. As câmaras têm controladores de temperatura e umidade independentemente, com sensores que possibilitam medir os parâmetros funcionais do sistema de condicionamento de ar automotivo.

Tanto condensador quanto o evaporador, que ficam dentro das câmaras de ensaios é protegido para não receber radiação direta dos dispositivos de aquecimento ou resfriamento presentes nas câmaras.



Figura 4.5- Condicionamento interno e externo da câmara de ensaios (2).

#### **4.3.2. Condições de operação**

A aquisição de dados para cada teste foi realizado a partir do momento em que se atingiu o regime permanente. Para atingir o regime permanente era necessário esperar cerca de 30 a 45 minutos, a contar da partida do sistema.

#### **4.3.3. Medição da temperatura na câmara ambiente**

Montou-se um difusor para homogeneizar o fluxo de ar na saída do condicionador. Colocaram-se 12 termopares do tipo T fixados no mesmo plano e distribuídos em pontos característicos da superfície do difusor.

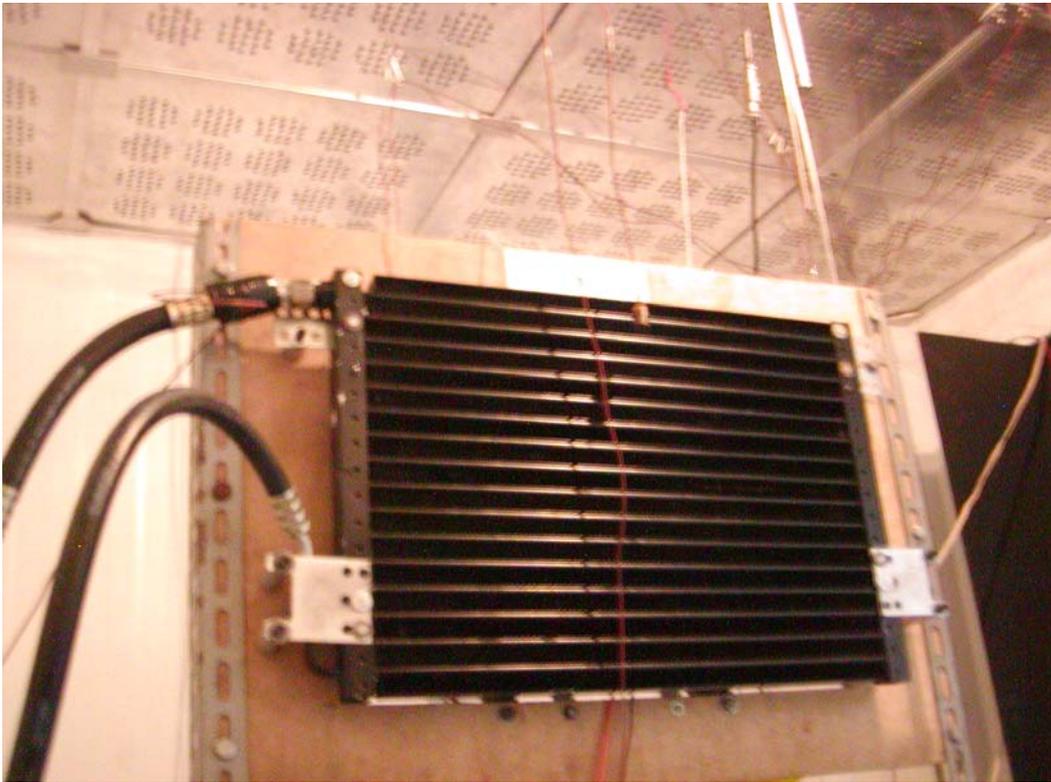


Figura 4.6- Instrumentação da câmara de ensaios (1).

#### **4.3.4. Medição da temperatura na câmara automotiva**

Para obter um perfil aproximado do comportamento da distribuição de temperatura dentro da câmara (2) onde fica o Evaporador foram escolhidos vários pontos, podendo-se comprovar uma considerável homogeneidade.

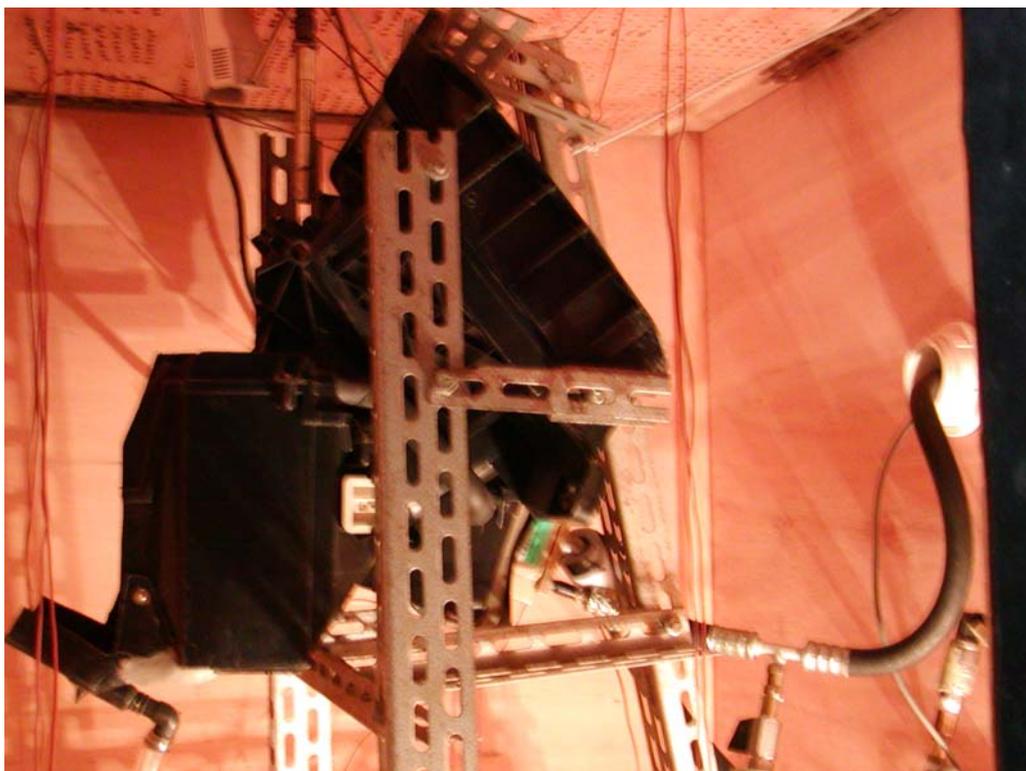


Figura 4.7- Instrumentação da câmara de ensaios (2).

#### **4.3.5. Condições ambientais**

Durante os testes foram registradas automaticamente a temperatura, através do PT-100, e umidade relativa, através do sensor da marca OMEGA, modelo HX12V. A medição de umidade relativa pode ser avaliada numa faixa que vai de 5% até 95%, com uma incerteza média de  $\pm 2\%$  e para PT-100 a faixa de incerteza média de temperatura, que vai de 0 até 64 °C, e  $\pm 0.11$  °C.

#### **4.4. O circuito de compressão de vapor automotivo**

A seguir, apresenta-se a descrição de cada um dos componentes da bancada experimental, com a respectiva justificativa da escolha dos mesmos.

## O conjunto motor - compressor

A escolha do compressor atendeu a critério básico de garantir um fornecimento de vazão de gás refrigerante de acordo com os parâmetros estimados para o presente trabalho.

O compressor é, talvez, dentro de um sistema de refrigeração mecânica, o dispositivo principal. Os compressores contém óleo dentro de sua carcaça e um sistema de lubrificação. O óleo tem que ser miscível com o gás refrigerante e os materiais do compressor devem ser compatíveis com a mistura óleo-gás refrigerante. Então, como o gás R-134a pode operar tanto com óleo mineral quanto com os sintéticos alquilbenzeno e poliol éster, procurou-se um compressor fabricado para operar com óleo poliol éster e com os gases R-134a.

Assim selecionou-se um compressor marca DENSO, modelo 6P148A, do tipo recíprocante “Swash Plate”, nas condições de operação do lado de alta de 3,53 MPa e lado de baixa 1,67 MPa.

A velocidade de trabalho do sistema Motor – Compressor, apresentado na figura 4.8, depende das especificações técnicas do motor que é de indução gaiola de 3,7kW (5HP) trabalha em 60 Hz e 3485 RPM de velocidade. Este por sua vez, é acionado por um inversor de frequência, modelo CIMR- V7AU21P5 alimentação 200 – 230VAC e 50/60Hz para 11A.

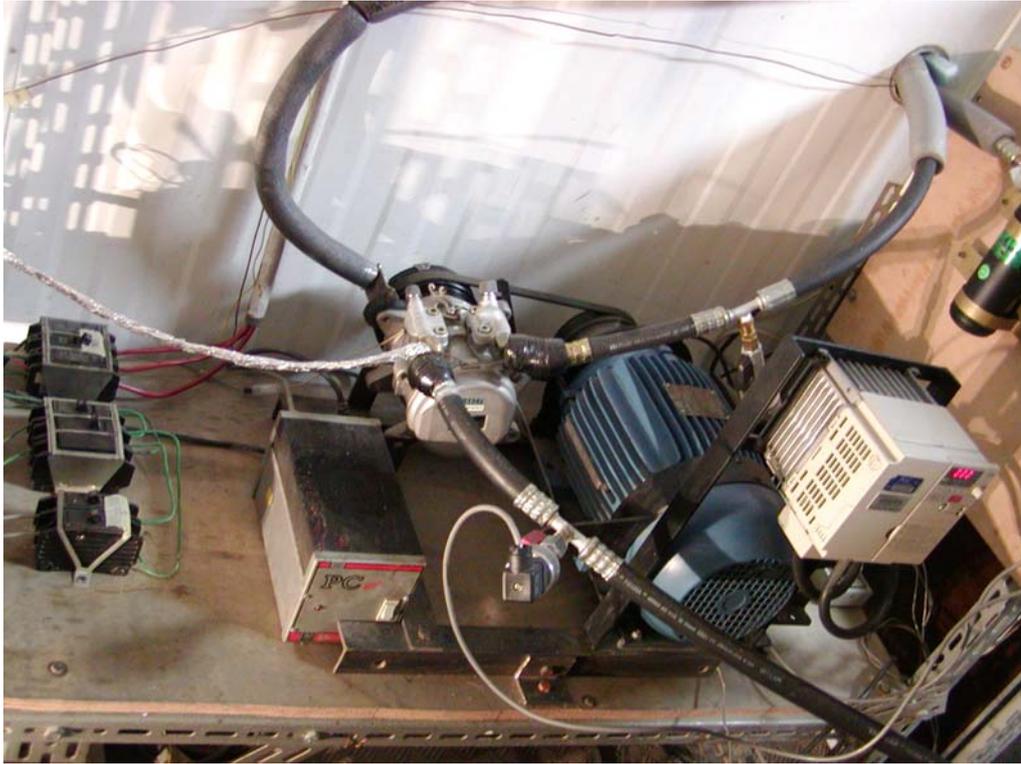


Figura 4.8- Sistema Motor - Compressor.

### **Condensador**

O condensador é do tipo NCS (New Condenser Serpentine) de um passo e de fluxo cruzado.

O condensador utiliza como fluido de resfriamento ar à temperatura ambiente, insuflado por um eletroventilador, que garanta uma troca de calor adequado na saída, posteriormente passando pelo medidor de vazão.

### **Evaporador**

O Evaporador utilizado é um trocador de calor tipo ST de fluxo cruzado, onde o calor é removido da câmara (2). A figura 4.7 mostra a disposição dentro da câmara de testes do aparato experimental utilizado na realização das experiências.

### **Válvula de expansão**

Uma válvula de expansão manual foi instalada na linha de entrada ao evaporador para melhor equilibrar o sistema e regular as condições de operação.

Esta válvula é da marca VALEO (França), modelo 661446X, para trabalhar com HFC-134a, a figura 4.9 mostra sua localização.



Figura 4.9- Localização Válvula de expansão.

### Filtro secador

O filtro secador é da marca PACO RDO-3-1P para trabalhar com refrigerante R-134a e é compatível com R-12.

### Mangueiras de conexão

Foi usada Neoprene como material constitutivo das mangueiras de conexão sendo os elastômeros como CAF, Nylon também adequado para o uso com refrigerante R134a.

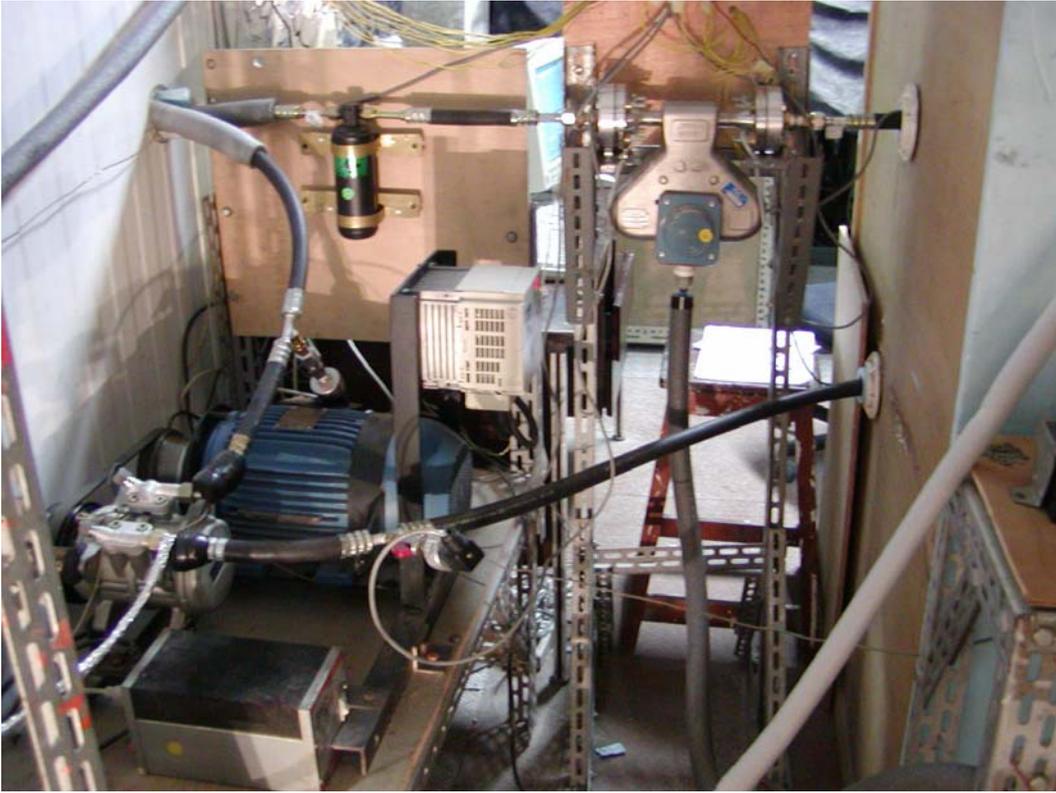


Figura 4.10- Elementos constitutivos da bancada.

## **4.5. Instrumentação da bancada**

### **4.5.1. Transdutores de pressão**

A partir de um manômetro padrão rastreado pelo INMETRO os transdutores de pressão foram calibrados no Laboratório de Pressão e Temperatura do ITUC (PUC-Rio). Os resultados da calibração e as incertezas são apresentados no APÊNDICE A.

### **4.5.2. Transdutores de temperatura**

Os transdutores de temperatura também foram calibrados pelo ITUC (PUC-Rio) num banho térmico e um sistema rastreado. Os resultados da calibração e as incertezas são apresentados no APÊNDICE A.

### 4.5.3. Tacômetro estroboscópico digital

Efetou-se uma comparação do Estroboscópio digital Mecatester TS 401 com o Encoder para verificar a velocidade angular do compressor, através de um sensor magnético instalado na superfície frontal. Este aparelho, sem nenhum contato mecânico, permite analisar movimentos periódicos de alta ou baixa rotação de objetos, dando a impressão de que estão parados ou movendo-se lentamente.

As suas características técnicas são:

Leitura digital (5 dígitos)

Precisão:  $\pm 0,1\%$  (FDE)

Faixa de rotação:

Com sincronismo externo: 0 a 18000 RPM

Com gerador interno:

<u>Faixas</u>	<u>RPM</u>
1 <sup>a</sup>	10 a 100
2 <sup>a</sup>	100 a 1000
3 <sup>a</sup>	1000 a 10000
4 <sup>a</sup>	10000 a 30000

Potência do flash: 8W

Alimentação: 110/220v. 50/60Hz.

Passos usados para trabalhar simultaneamente com o Sistema Encoder:

- focalize o TS 401 sobre o objeto a ser medido
- Aperte a tecla que esteja de acordo com a frequência desejada
- Gire o botão de sintonia lentamente até obter uma imagem fixa
- Leia a frequência no mostrador

### 4.5.4. Sensor magnético

Um sensor magnético foi localizado no compressor com finalidade de obter a velocidade angular do compressor através do Encoder e pode ser visualizado na figura 4.11.



Figura 4.11- Posicionamento do Sensor Magnético no compressor.

#### 4.5.5. Controlador de umidade

O UCM-420A é um controlador proporcional/integral que pode ser usado em várias aplicações de controle. Todo ajuste é realizado através de chaves DIP e "jumpers". "Setpoints" podem ser locais ou remotos. A saída pode ser de ação direta ou reversa.

##### **Modos de Operação:**

**Controlador de setpoint** - A entrada do UCM - 420A monitora o processo que está sendo controlado. Esta entrada pode ser um sinal 4-20mA ou 1 -5VDC de um sensor de pressão, transmissor de temperatura, etc., ou uma entrada de um termistor de temperatura PreCon tipo III. O UCM-420A então fornece uma saída para controlar uma válvula, um damper, etc., baseado no setpoint como descrito abaixo:

**Controlador de setpoint local** - O potenciômetro montado na unidade pode ser usado para controlar o setpoint. O setpoint local também pode ser um potenciômetro de setpoint UCM - SPA, um sensor de temperatura Precon, um sinal de 4-20mA, 1 -50VDC ou de um controlador BAS.

**Especificações**

Alimentação	24 VAC ± 10% @ 130mA máx 24 VDC ± 15%, -10% @65mA máx.
Entrada de setpoint remoto	4-20mA, 1-5V DC, PWM
Entrada de setpoint local	4-20mA, 1-1 5V DC, potenciômetro três fios ou potenciômetro dois fios PreCon (opção XA)
Saída	4-20mA ou 0 a 10 VDC
Resolução da saída	255 passos
Entrada	4-20mA
Impedância de entrada	250Ω (mA), 1 0.000Ω (voltagem)
Precisão	± 1%
Temperatura para operação	32° a 158°F (0° a 70°C)
Limite de umidade	95%. sem condensação
UCM - SPA	Potenciômetro de setpoint remoto, 0-1 0kΩ

(ENCON comercial de controles).



Figura 4.12- Posicionamento do Controlador de Umidade.

**4.5.6. Bomba de vácuo**

Descrevem-se, a seguir, os passos para fazer vácuo no sistema:

- a.- Remover os tampões das válvulas de serviço do compressor;
- b.- Conectar as mangueiras do conjunto do manifold para medição de pressão às válvulas apropriadas do compressor;

- c.- A mangueira central do conjunto do manifold deve ser ligada à bomba de vácuo;
- d.- Ligar a bomba de vácuo quando ambos os registros dos manômetros do manifold estiverem totalmente abertos;
- e.- Deixar durante uma hora no mínimo;
- f.- Fechar os registros dos manômetros do manifold e desligue a bomba de vácuo, observar durante 30 minutos a depressão indicada no manômetro de baixa, deve permanecer inalterada, caso contrário há vazamento então corrija e retorne ao ponto (d).

#### **4.5.7. Detectores de vazamento**

Um detector de vazamento cor verde fosforescente foi usado antes de se por em operação o condicionador automotivo. Ele ingressa no sistema através de um dosador com visor, succionado pelo vácuo existente no sistema ao início da carga de gás. Uma lâmpada e óculos especiais são utilizados para visualizar melhor o vazamento. Uma vez corrigido o problema, volta-se a fazer vácuo no sistema e finalmente se desliga a bomba de vácuo ao se comprovar que o sistema está livre de vazamento.

#### **4.5.8. Cilindro dosador**

O cilindro dosador é responsável por registrar as variações da quantidade de gás refrigerante, que se injeta ao sistema de refrigeração, através do manifold, verificando o jogo de chaves de alta e de baixa e as referências do jogo de manômetros.

- Primeiramente se faz a conexão do refrigerante R-134a ao sistema do cilindro dosador
- encher de gás refrigerante o cilindro dosador até o nível desejado, tomando em conta a pressão e temperatura de estabilização.
- fechar as válvulas do cilindro dosador e retirar a mangueira de alimentação de refrigerante, já que posteriormente estará sendo conectada a mangueira do manifold par encher o sistema principal.

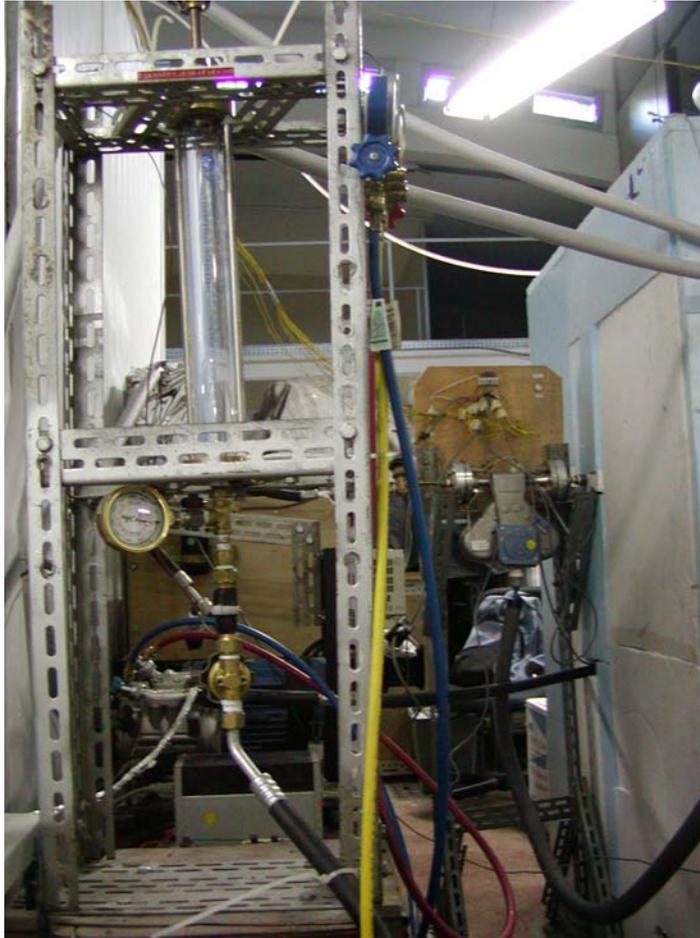


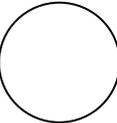
Figura 4.13- Construção do cilindro dosificador de gás R-134a.

#### **4.5.9. Determinação da carga de gás**

Quando tem-se estabelecida as condições do ponto (f) da secção 4.5.6., então seguimos os seguintes passos para conseguir a carga de gás:

- Colocar a mangueira central do manifold ao cilindro dosador mantendo as mangueiras conectadas às válvulas de serviço do compressor.
- Abrir o registro do cilindro dosador mantendo as válvulas do manifold fechadas para conseguir realizar a sangria.
- Abrir o registro de baixa do manifold e deixar entrar refrigerante até que as pressões de baixa e alta se equalizem, mantendo o registro de alta fechado.
- Finalmente ligar o “motor do veículo” e o ar condicionado na posição de frio máximo.
- Complete a carga abrindo o registro de baixa e controlando pelo visor até que as borbulhas alcancem a carga desejada.

Tabela 4.A.1- Fluxo de refrigerante através do visor

<b>Quantidade de Refrigerante</b>	<b>Fluxo de refrigerante através do visor</b>
Sub-carregado	Com uma leitura do lado de baixa pressão acima de 0,6 kg/cm <sup>2</sup> , bolhas de ar serão continuamente visíveis. 
Adequado	Com uma leitura do lado de baixa pressão dentro de 0,6 a 1,0 kg/cm <sup>2</sup> , bolhas de ar serão continuamente visíveis. 
Sobre-carregado	Com uma leitura do lado de baixa pressão abaixo de 0,6 kg/cm <sup>2</sup> , bolhas de ar ocasionalmente visíveis o não serão visíveis. 

(Manual básico SUZUKI)

A visualização do refrigerante no visor de líquido foi permanente, assim como a regularem da pressão de evaporação com a válvula de expansão. Quando as bolhas no visor desapareciam e as pressões de sucção e descarga foram adequadas (1,871Mpa ou 275Psig e aproximadamente 0,122Mpa ou 18Psig, de alta e baixa respectivamente a 1500rpm e para uma carga normal), fechava-se a válvula da garrafa de gás refrigerante.

A figura 4.14. mostra o conjunto balão de refrigerante R-134a, no qual chega uma mangueira ao cilindro dosador para realizar a carga de gás ao sistema através das mangueiras azul e vermelha do Manifold o qual permite controlar com válvulas de alta e baixa pressão.



Figura 4.14- O Sistema de Carga de Gás.

#### **4.5.10. Quadro de controle do sistema geral.**

Nos ensaios experimentais foram medidos, a partir da entrada em funcionamento. Este passo, efetua-se através de um quadro de controle que foi construído e que comanda os switch de arranque dos controladores de potencia para controle de temperatura da câmara (1) e (2), eletroventiladores do condensador e evaporador, arranque do controlador de umidade, arranque do ventilador do sistema de umidificação e finalmente a ligação da embreagem magnética do compressor.

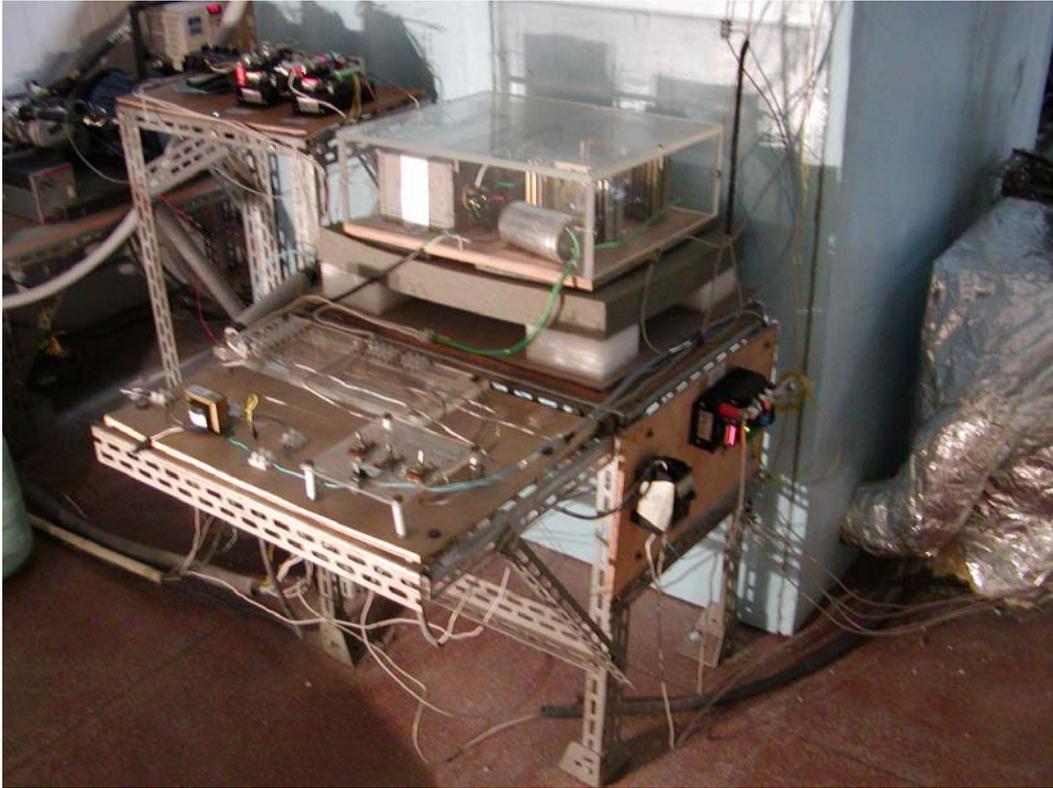


Figura 4.15- Quadro de controle do Sistema de Refrigeração.

#### **4.6. Fluxo de ar variável no evaporador e no condensador.**

Os testes são iniciados a temperaturas estabilizadas da câmara (1) em 34-37-40° C, mantendo a temperatura fixa no evaporador de 18-21-24-27°C respectivamente, para uma velocidade, em cada caso, de 1600rpm, tanto de insuficiência de carga, carga normal e excesso de carga respectivamente, nas posições:

Permanecendo fixa o eletroventilador do condensador:

entre 0,3 Ohms +-10%

No evaporador em:

- 1<sup>a</sup> correspondente a 1.16 ohms
- 2<sup>a</sup> correspondente a 0,8 ohms
- 3<sup>a</sup> correspondente a 0,34 ohms
- 4<sup>a</sup> velocidade excluída.

Quando se liga o condicionador de ar, simultaneamente com a aquisição de dados, registram-se os diferentes parâmetros nas câmaras de ensaios, exceto velocidade de rotação e torque do compressor.

#### **4.7. Sistema de alimentação de água.**

O sistema foi projetado para utilizar água proveniente da rede de abastecimento do laboratório de Termociências não sendo, portanto, necessário nenhum sistema de bombeamento.

O sistema de alimentação é dividido em dois, para as câmaras (1) e (2). Este sistema foi construído para realização de experiências de umidificação onde a água é o fluido que efetua a mudança de fase e se aproveita o vapor através do ventilador que leva e faz a recirculação da carga térmica para a câmara (2) e no caso da câmara (1) chega diretamente ao tanque umidificador.



Figura 4.16- Conjunto umidificador - ventilador.

#### **4.8. Restrição do sistema de controle e aquisição de dados na simulação da carga térmica na câmara (1).**

Os controles de temperatura foram feitos através de um controle PID de malha fechada, isto é, o sinal de compensação é baseado na resposta do sistema realimentação, sendo a função de transferência  $G_c(s)$ :

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$T_i$  = tempo integral

$T_d$  = tempo derivativo

$k_p$  = ganho proporcional

Também pode ser escrita em função das constantes  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s$$

$k_i$  = ganho integral

$k_d$  = ganho derivativo

$k_p$  = ganho proporcional

Foi usado um aplicativo do Matlab e, através do Simulink, determinaram-se os valores dos ganhos para a implementação do sistema de controle.

Foi então obtida a função transferência da câmara (1), com um ganho proporcional [ $K_p$ ] e integrativo [ $K_i$ ], conforme a seguinte equação:

$$\frac{T(s)}{I(s)} = \frac{300}{10635,23s + 20}$$

A fig 4.17. apresenta o sistema de malha fechada desenvolvida para a câmara (1).

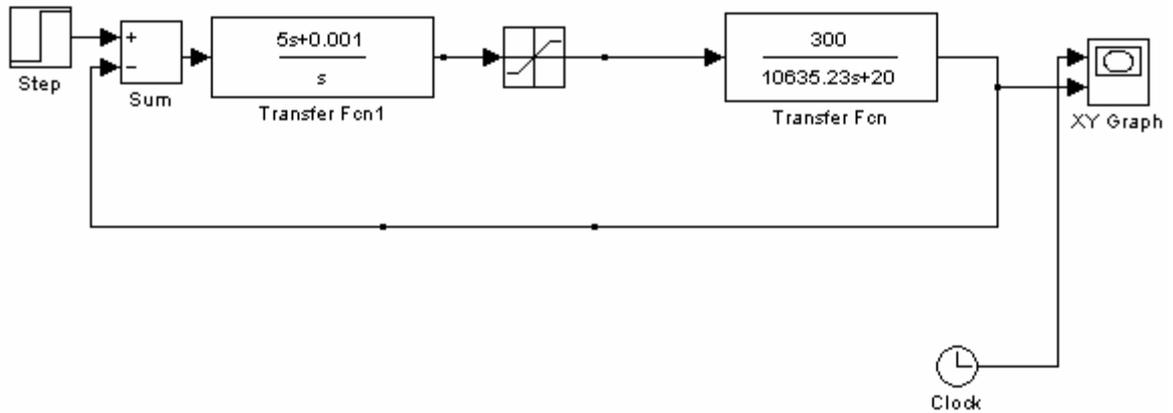


Figura 4.17.- Sistema de malha fechada avaliado através do Simulink.

Na figura 4.18. pode ser observada a resposta da simulação do sistema através do simulink.

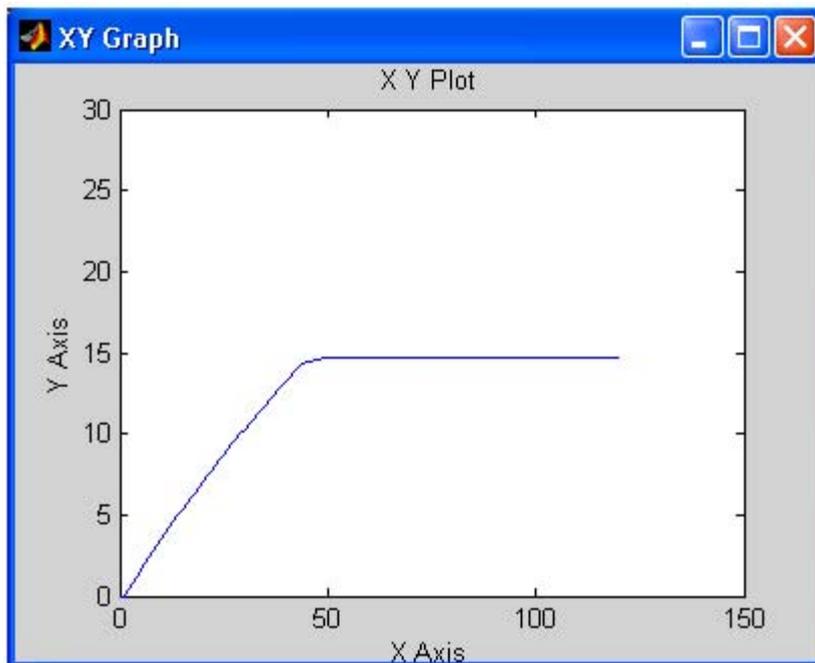


Figura 4.18. Gráfico Simulink mostra a resposta do sistema para câmara (1)

#### 4.9.

#### Restrição do sistema de controle e aquisição de dados na simulação da carga térmica na câmara (2).

Conforme desenvolvimento anterior, tendo obtido a função transferência da câmara (2), com um ganho proporcional [Kp] e integrativo [Ki], chega-se à seguinte equação de malha para a câmara (2):

$$\frac{T(s)}{I(s)} = \frac{85}{2091,33s + 020}$$

A figura 4.19. apresenta o sistema de malha fechada desenvolvida para a câmara (2).

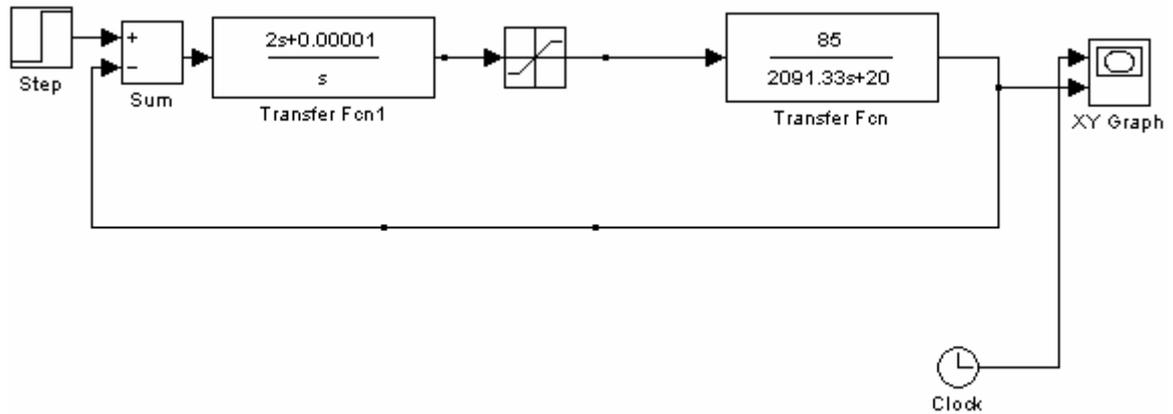


Figura 4.19- Sistema de malha fechada avaliado através do Simulink.

Na figura 4.20 pode ser observada a resposta da simulação do sistema através do programa Simulink.

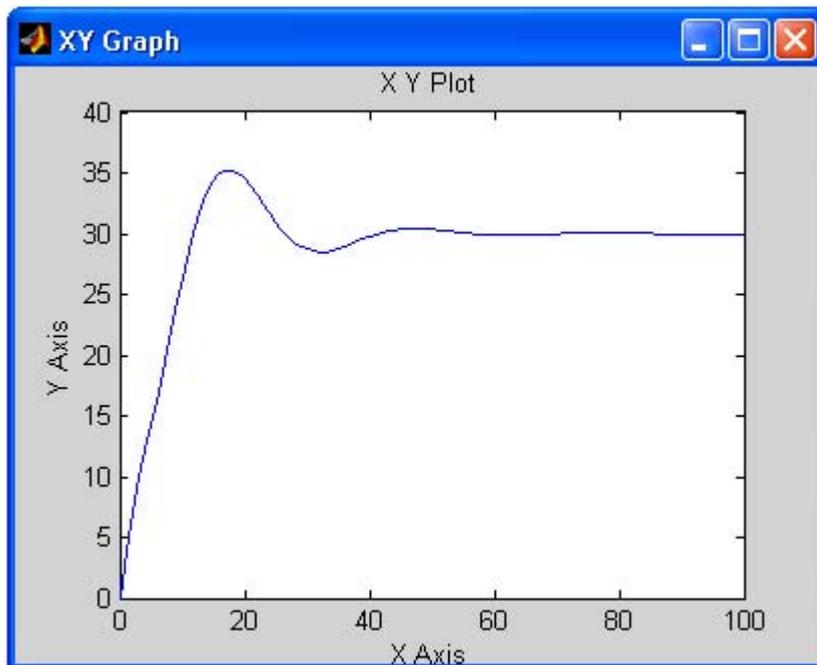


Figura 4.20- Gráfico Simulink mostra a resposta do sistema para Câmara (2)

### 4.10. Implementação do sistema de aquisição de dados e controle

Nos ensaios experimentais foram medidas as temperaturas destinadas para obter leituras de monitoramento das câmaras (1) e (2), temperatura do cilindro dosador e temperaturas no circuito do ciclo de refrigeração. Controlou-se a carga térmica existente nas câmaras através da implementação da interface do instrumento de aquisição e o controle HP 34970 e o LabView. A figura 4.21 mostra a configuração.

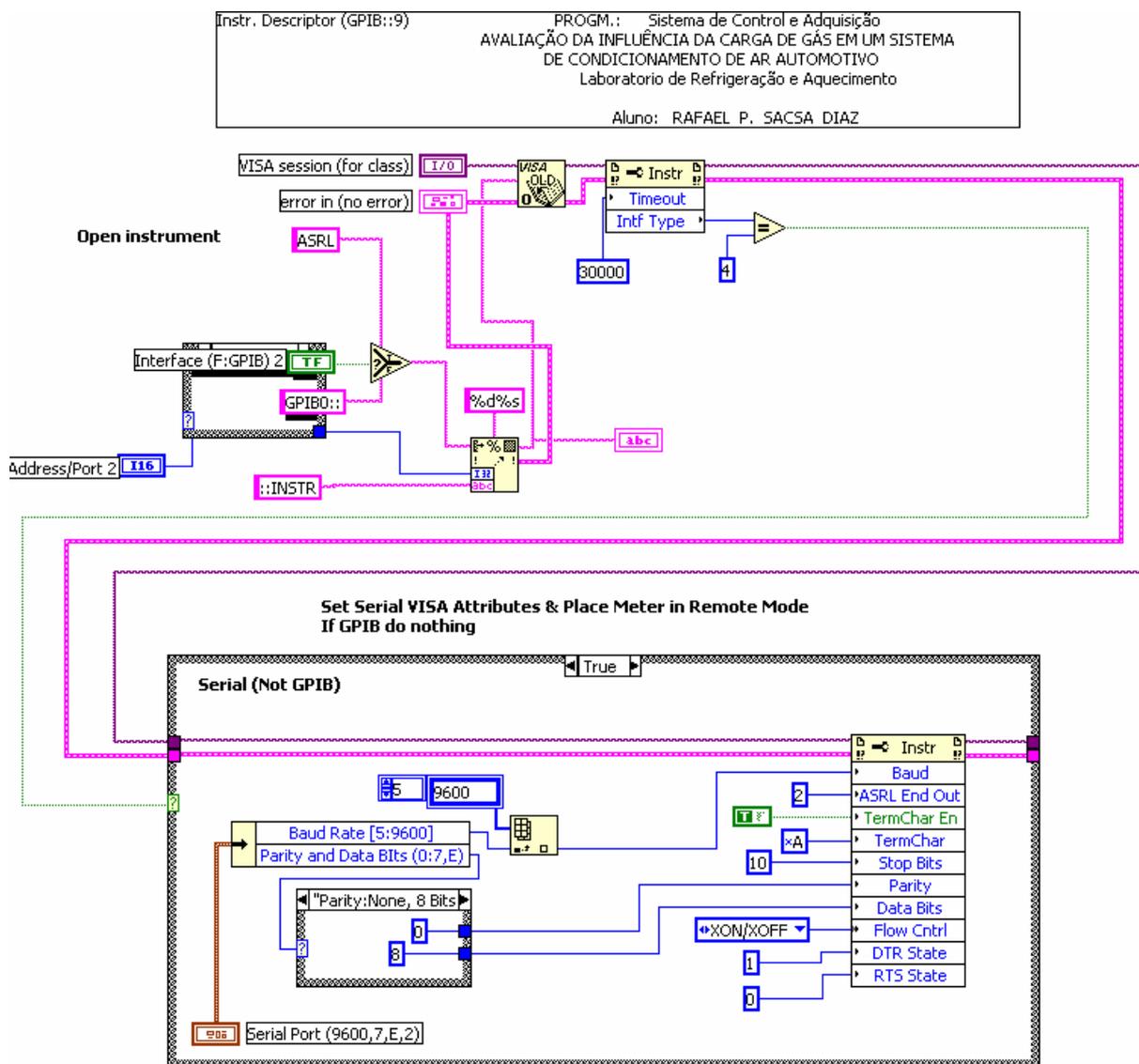


Figura 4.21- Configuração da Interface HP 34970 – Instr. Aquisição.

Os módulos de aquisição utilizados neste trabalho são dois do tipo 34901-A, para aquisitar dados e um módulo 34907-A para controle de temperatura. Os dois primeiros módulos do primeiro tipo possuem 2 canais para entrada em corrente e 20 canais para entrada em voltagem. O módulo do segundo tipo apresenta canais de saída 4-GND e 5-GND para controle de dois equipamentos. Para nosso trabalho duas resistências de ar ligados a controladores de potência. A configuração se pode observar na fig. 4.22.

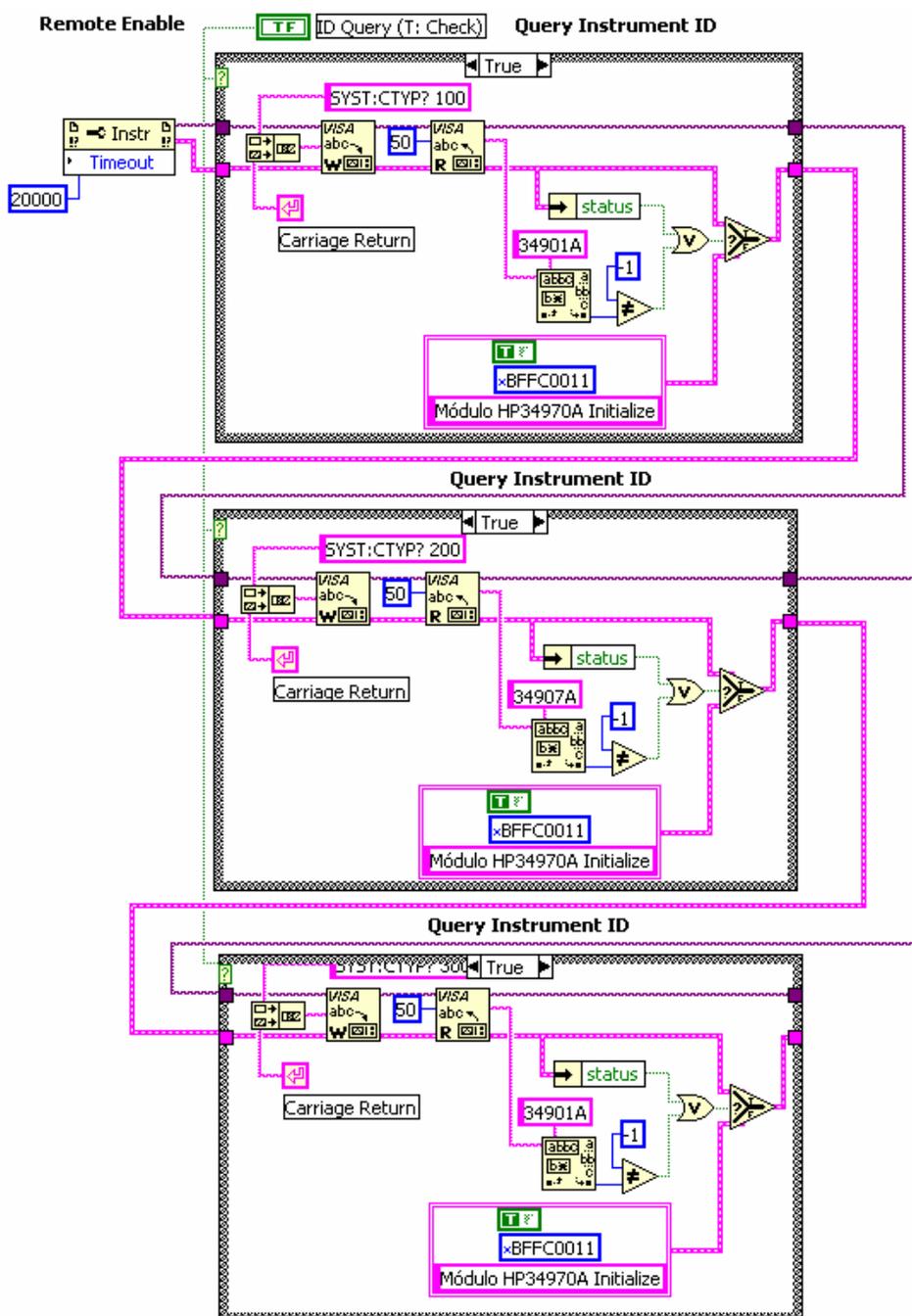


Figura 4.22- Configuração dos slots de controle e aquisição de dados.

Após a configuração do controle PID, determinando o erro da leitura atual e desejada, tendo em conta o limite superior (12 Volts) e inferior dos canais de saída do slot de controle 34907-A a seguinte figura mostra a sub-rotina para levar a sinal de saída aos respectivos canais 4-GND e 5-GND.

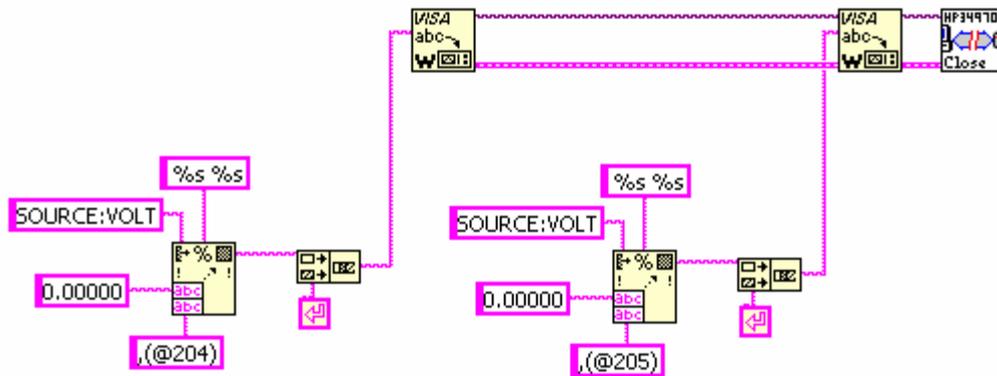


Figura 4.23- Configuração sub-rotina Output.

As sub-rotinas menores de aquisição dos parâmetros de pressão temperatura, vazão e umidade foram concentradas numa string maior apresentado na figura 4.24.

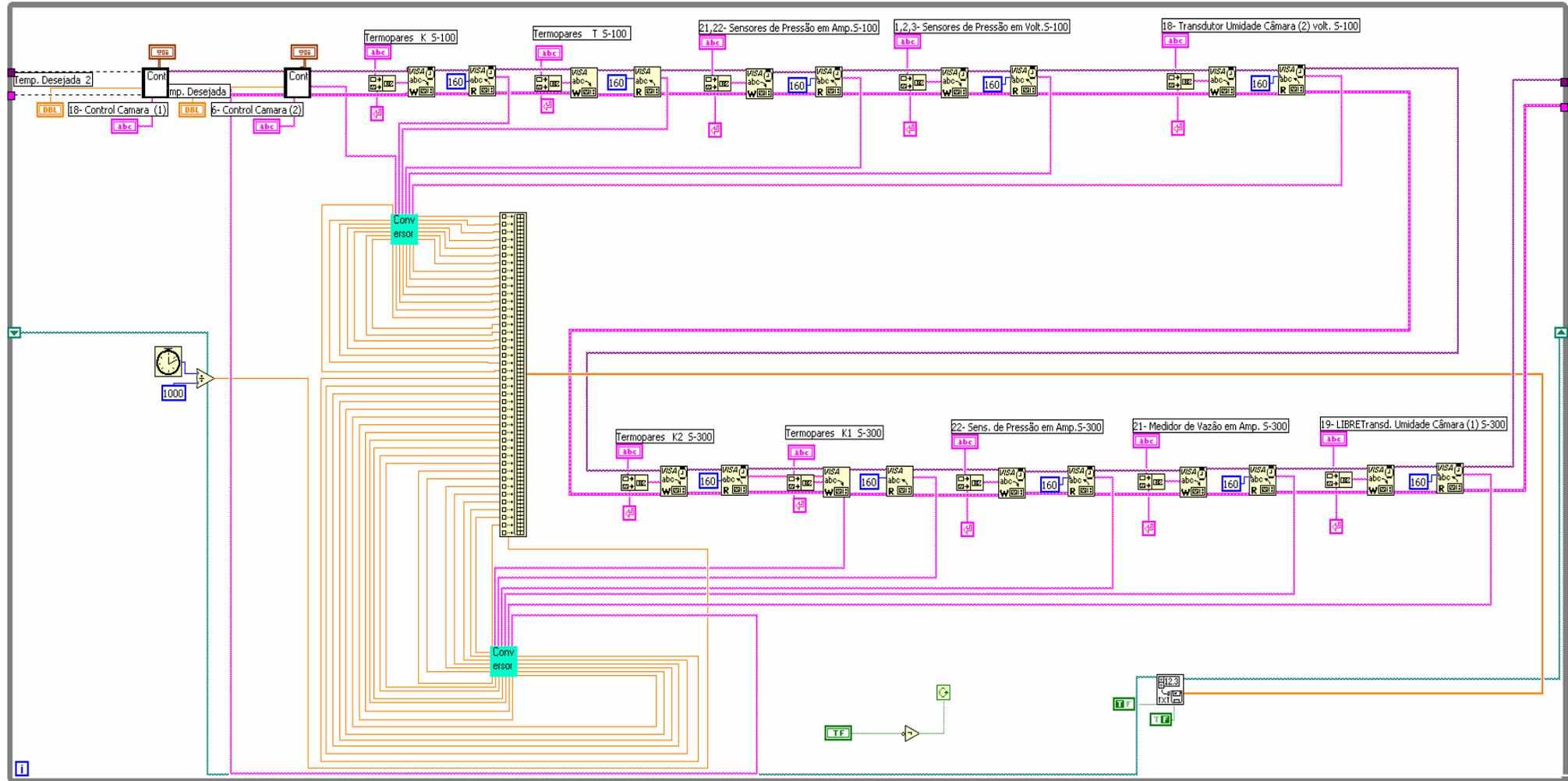
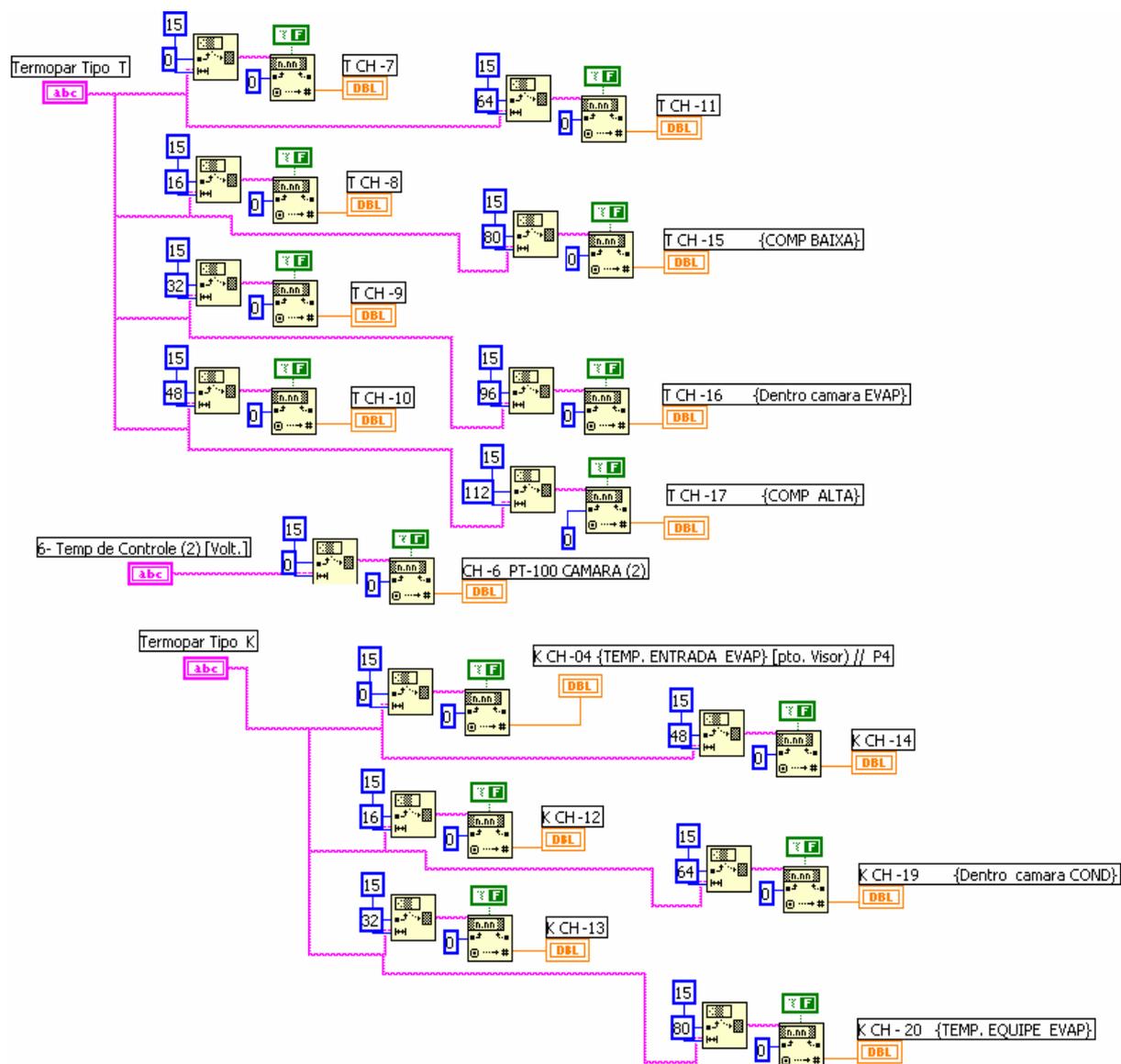


Figura 4.24- Configuração da distribuição do processamento do string.

Na modelagem da string maior apresentado na figura 4.24, este foi subdividido em strings menores, os quais foram configurados separadamente segundo a necessidade e quantidade de parâmetros serem lidos pelo aquisitor. A figura 4.25 mostra a configuração da sub-rotina Conversão.vi. Aqui se efetua a conversão dos dados aquisitados de string para números, para nosso trabalho dados de temperatura, pressão, umidade e fluxo mássico recolhidos das câmaras de ensaios (1) e (2).



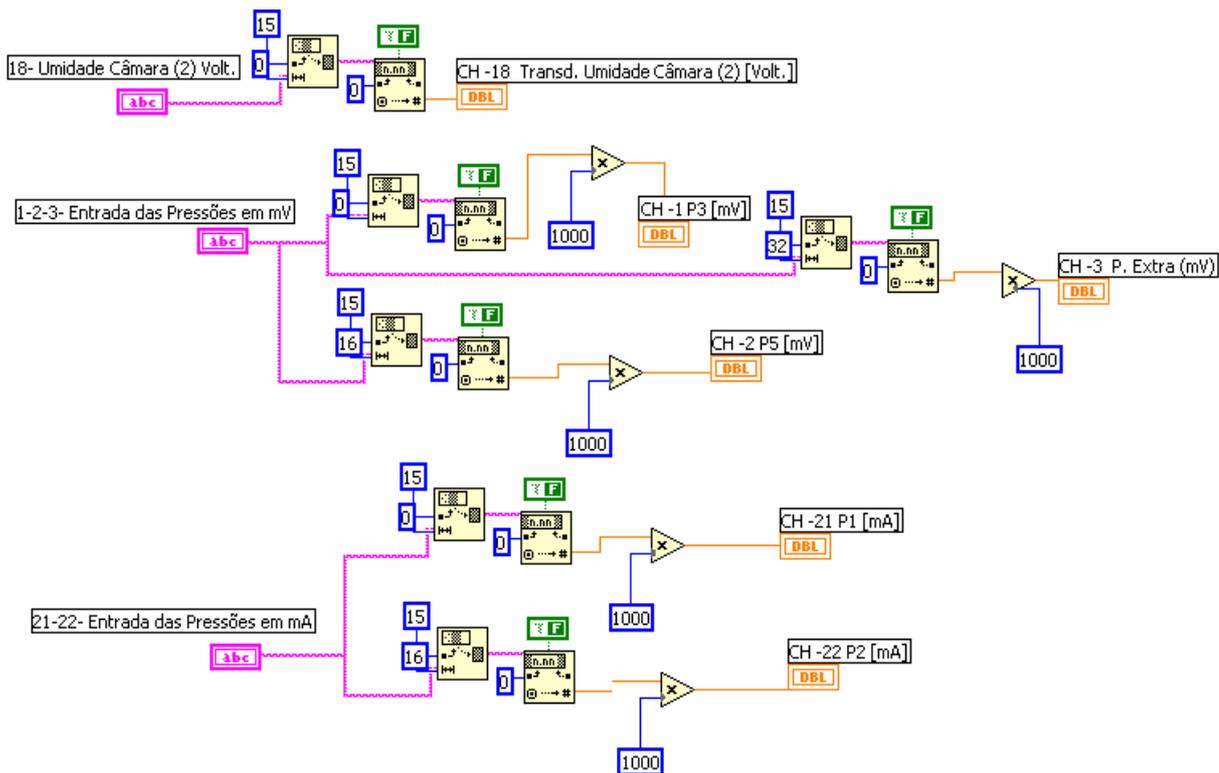
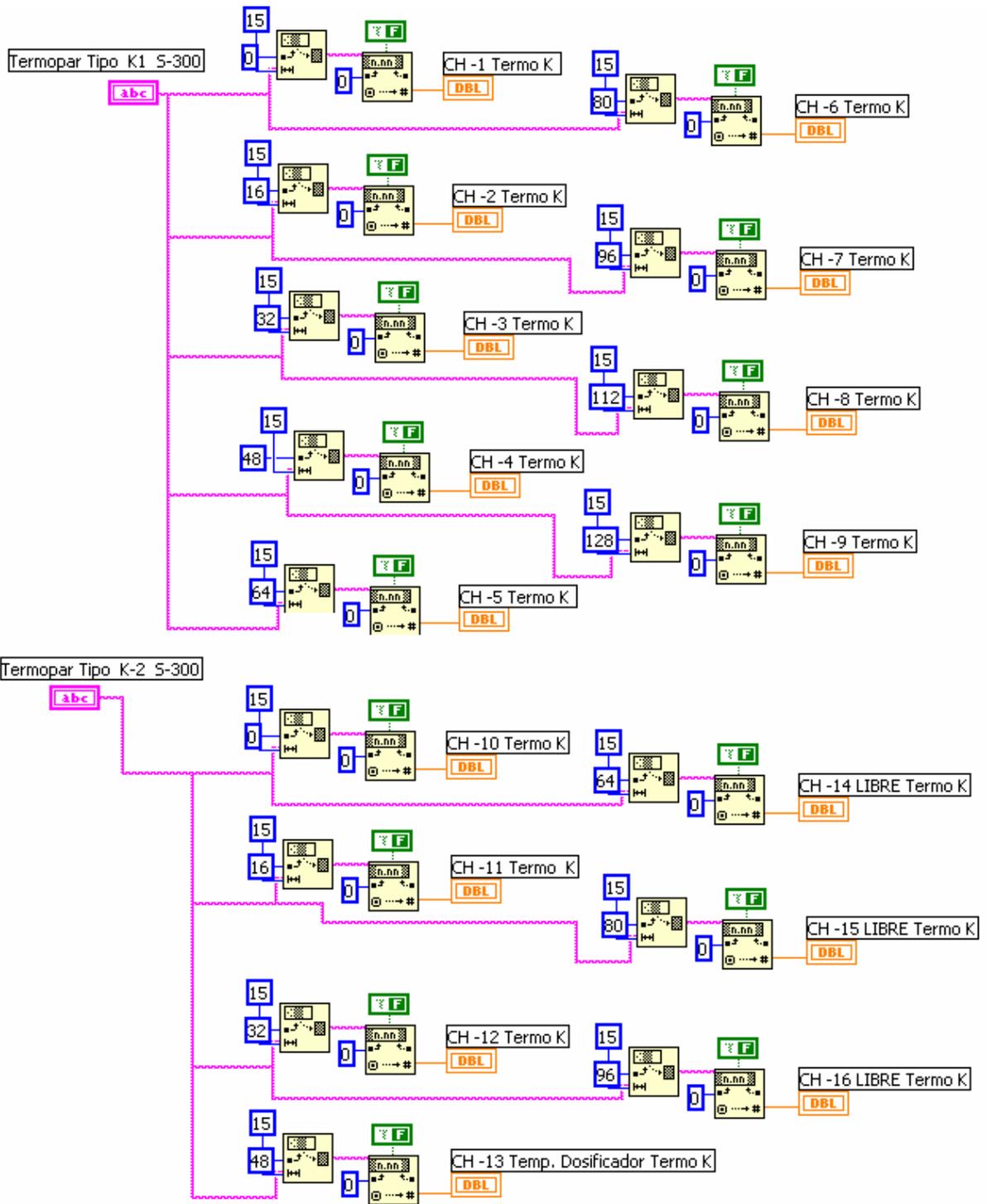


Figura 4.25- Configuração sub-rotina Conversão para a Câmara (2).

Posteriormente, a seguinte figura 4.26 mostra a configuração da sub-rotina Conversão Slot300.vi, onde se efetua a conversão da aquisição dos dados (de string para números), para nosso trabalho, dados dos parâmetros da Câmara (1) e o ciclo de refrigeração.



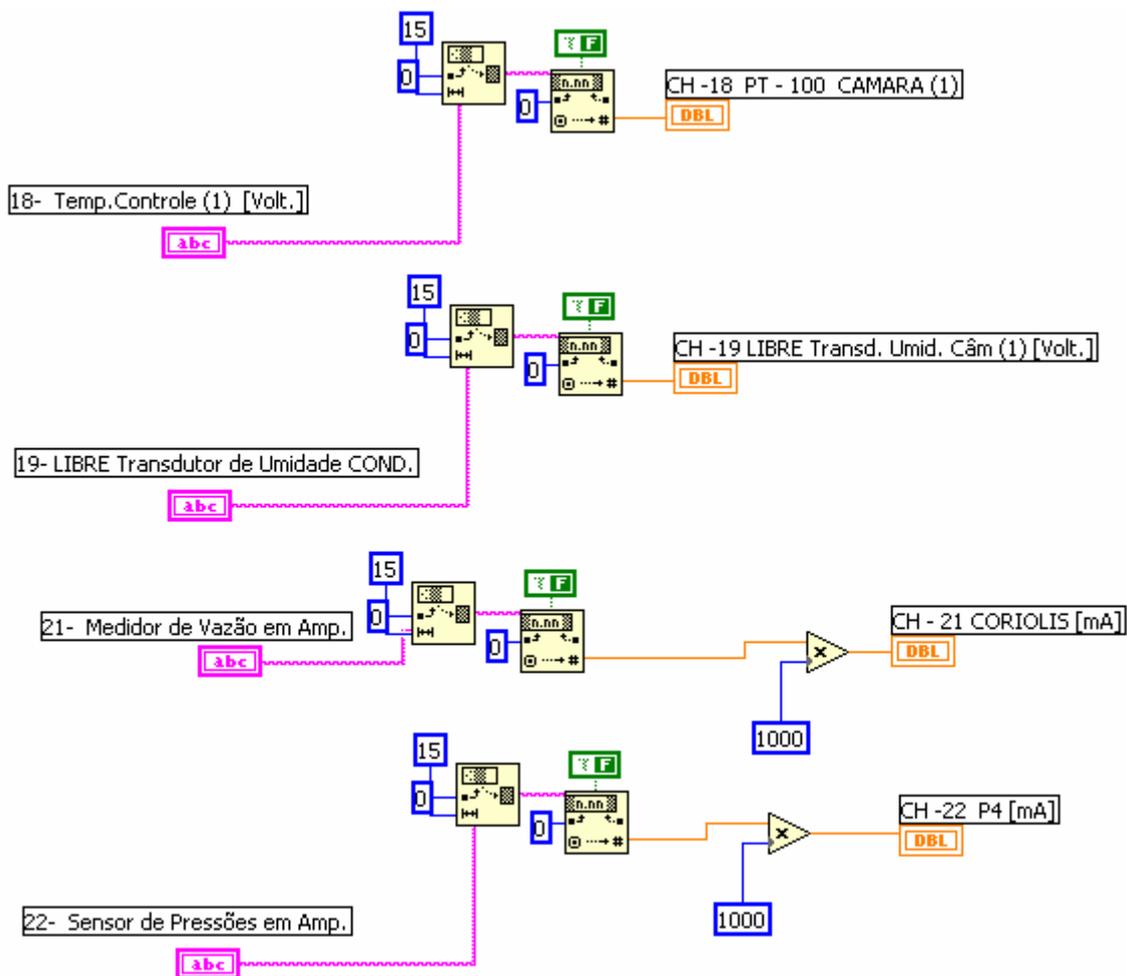


Figura 4.26- Configuração sub-rotina ConversãoSlot300 para a Câmara (1).