

SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA POR VENTILAÇÃO MECÂNICA

José Alberto Naves Cocota Junior, Fabiano José de Souza Maia, Ernesto Peregrino de Rezende Junior, Cássio Pascoal Costa

*Universidade Federal de Ouro Preto. cocotajr@yahoo.com.br
Universidade Federal de Ouro Preto. fjsmaia@yahoo.com.br
Universidade Federal de Ouro Preto. epdrj@yahoo.com.br
Universidade Federal de Ouro Preto. pascoal_controle@yahoo.com.br*

RESUMO

No presente trabalho estuda-se, por meio de testes em uma maquete, processos onde a variável que se deseja controlar é a temperatura. Este controle é realizado por meio de ventilação mecânica implementado por um sistema de controle on-off.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação geral consiste na movimentação de ar através de espaços confinados, com a finalidade de melhorar as condições do ambiente graças ao controle de temperatura, da distribuição e da pureza do ar e, em certos casos, também da umidade. A ventilação pode ser natural ou obtida mecanicamente. A ventilação geral diluidora obtida mecanicamente é usada quando a ventilação natural não possui condições de confiabilidade e de eficiência para atender à vazão, temperatura e umidade desejadas.

Neste trabalho, propõe-se a construção da maquete de um quarto, onde possa-se implementar um sistema de controle de temperatura por ventilação mecânica. Busca-se, por meio deste sistema, realizar um trabalho multidisciplinar que envolva o estudo de termofluidodinâmica, instrumentação, eletrônica e computação.

Conforme mostrado na figura 1.1, a maquete foi construída com placas de compensado, material de fácil obtenção e de baixo custo, da mesma forma que os componentes eletrônicos e mecânicos utilizados. Alguns destes componentes eletrônicos e mecânicos foram aproveitados de aparelhos fora de uso, como é o caso das carcaças dos ventiladores axiais, retiradas de coolers de CPUs e os motores usados nos ventiladores que foram retirados de leitores de CD-ROMs danificados.

O objetivo básico deste projeto foi o de construir um sistema capaz de reduzir a temperatura interna da maquete, por meio de ventilação, utilizando-se um controlador on-off, sempre que esta temperatura ultrapassasse uma determinada temperatura de referência, superior à externa.

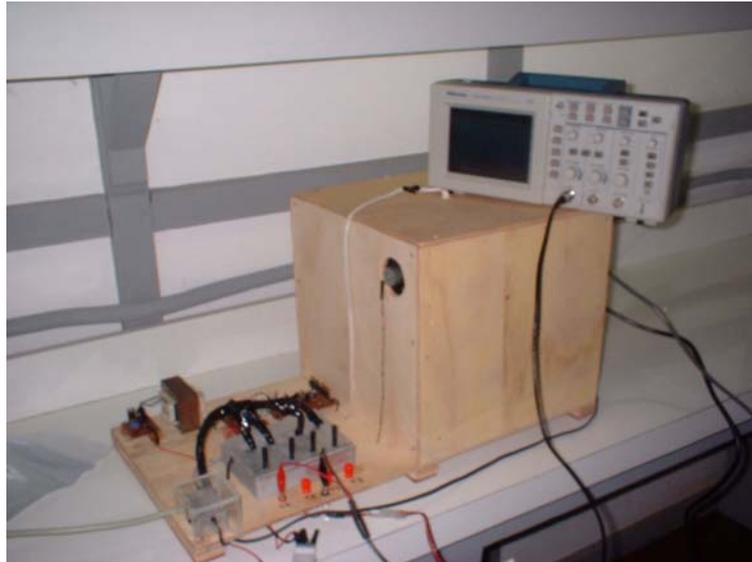


Figura 1.1 – Maquete

Para elevar a temperatura interna da maquete, utilizou-se, como fonte de calor, uma lâmpada incandescente, com a qual se controlou a potencia fornecida ao sistema.

2. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo esperado, fez-se, inicialmente, uma pesquisa bibliográfica, para se conhecer os diversos modelos de ventilação mecânica disponíveis. Após este levantamento, optou-se pela insuflação e exaustão mecânica, que demonstrou ser um sistema de ventilação mais controlável tanto em relação à qualidade de ar que entra, quanto à sua distribuição no recinto.

Fez-se, em seguida, um levantamento de componentes eletrônicos e mecânicos para a montagem da maquete para a execução de testes.

3. O PROTÓTIPO

3.1. Dimensões

- Altura = 0,28m;
- Comprimento = 0,3m;
- Largura = 0,3m;

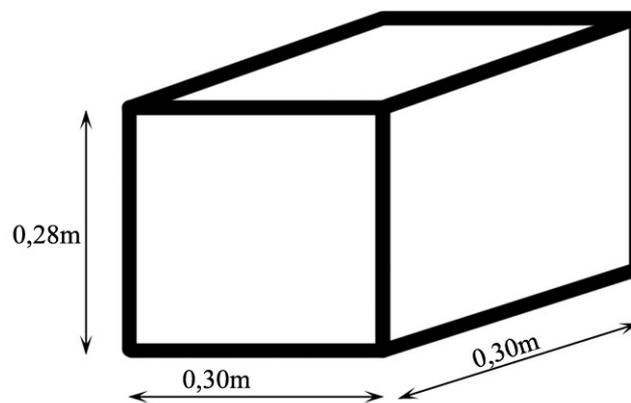


Figura 3.1 – Dimensão da Maquete

3.2 Equipamentos Utilizados

- Analisador de potência DW – 6090 Lutron
- Fonte de Energia – PHYWE – 2 a 14 Volts
- Microcomputador Pentium 200 MHz

3.4 Sensores

- 4 Sensores de Temperatura LM35

3.5 Entradas e Saída (I/O)

- 4 Saídas digitais para controle de 2 motores
- 1 Saída digital para o CLK dos conversores A/D
- 1 Saída digital para os CS dos conversores A/D
- 4 Entradas digitais para leitura das temperaturas através dos conversores A/D

4. MATERIAIS UTILIZADOS

Para a construção da maquete utilizaram-se os seguintes materiais eletrônicos:

- 8 Resistores 1/8W CR25 10K Ω ;
- 4 Transistores TIP 120;
- 4 Transistores TIP 125;
- 4 Capacitores 220 μ F x 16V ou 2 capacitores 220 μ F x 16V despolarizados;
- 2 motores de corrente contínua de 5V – 0.1 W;
- 1 Circuito Integrado SN 74LS07;
- 1 Soquete para o CI de 14 vias;
- 16 Resistores de 4.7K Ω ;
- 4 Potenciômetros de 47 K Ω ;
- 4 Sensores de temperatura LM35;
- 4 Capacitores de 0.1 μ F;
- 4 Capacitores de 1 μ F
- 4 Resistores de 75 Ω ;
- 4 Conversores A/D TLC548;
- 1 Conector DB25 macho;

Os materiais para a montagem mecânica são:

- Compensado de 5mm de espessura;
- Ferramentas de carpintaria.

5. PORTA PARALELA

Inicia-se a análise deste projeto pela descrição da interface paralela, já que o funcionamento da maquete está diretamente relacionado à forma como ela foi implementada.

A porta paralela, como o nome diz, pode transmitir um byte inteiro (oito bits), levando cada bit por um condutor separado, conforme apresentado na figura 5.1.

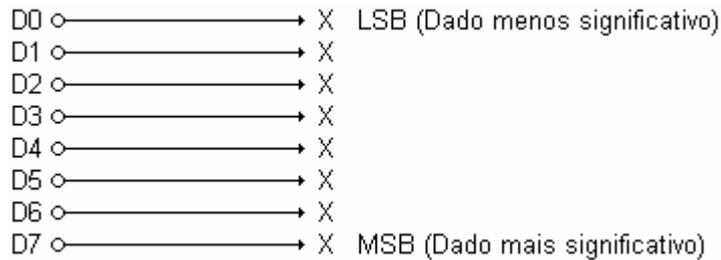


Figura 5.1 - Transmissão de bits pela porta paralela. O bit X pode ser o binário 0 ou 1.

Além dos dados que são transferidos pelos condutores, têm-se sinais especiais de controle, que podem ser lidos pela porta paralela. Sabendo-se usar os sinais da porta paralela, pode-se controlar praticamente qualquer função de um sistema e, ainda, receber sinais de sensores ou de comandos externos.

Na figura 5.2, é representada a porta paralela com seus 25 pinos:

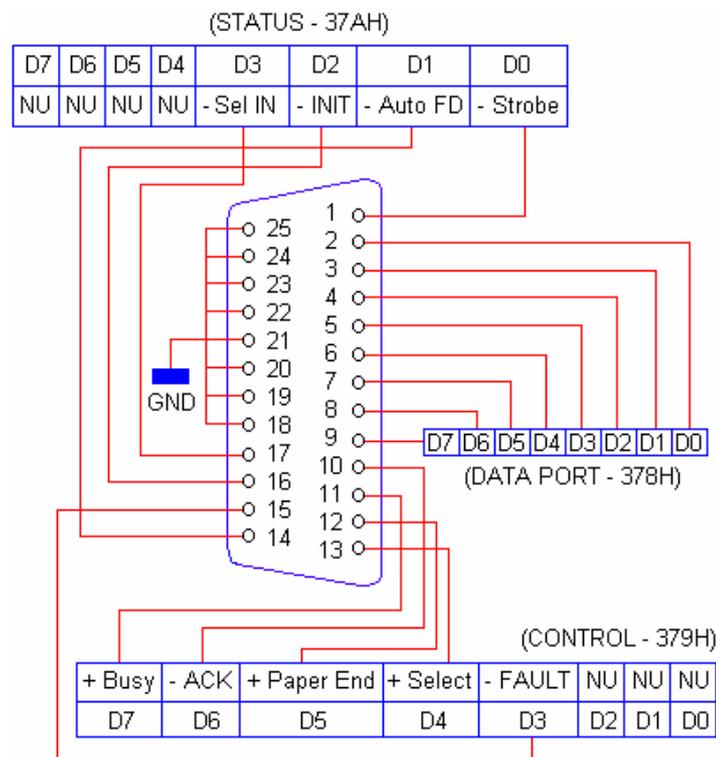


Figura 5.2 Representação do conector DB25. Sendo NU: Não Utilizado.

Dentre os 25 pinos da porta paralela, utilizou-se apenas 11 pinos, sendo eles:

- Pinos 2 (D0) e 3 (D1) para controle do sentido de rotação do motor 1 localizado na parte superior da maquete;
- Pinos 4 (D2) e 5 (D3) para controle do sentido de rotação do motor 2 localizado na parte inferior da maquete;
- Pino 6 (D4), ligado ao I/O_clock dos conversores A/D TCL548;
- Pino 7 (D5), ligado ao CS dos conversores A/D TCL548;
- Pinos 10 a 13 para leitura das temperaturas através dos conversores A/D TLC548;
- Pino 18 – GND, como aterramento.

6. OS CIRCUITOS

Neste trabalho, utilizou-se dois circuitos eletrônicos. Um para o controle do motor do ventilador axial, e outro para medir temperatura e fazer a conversão analógica para digital (A/D).

O circuito do módulo de potência por ponte H de transistores é representado na figura 7.1.

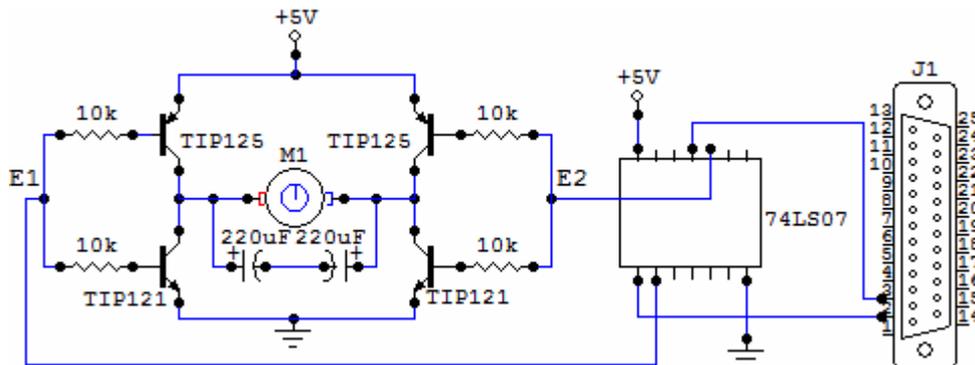


Figura 6.1 – Diagrama do módulo de potência.

Na figura 6.1, foi representada uma ponte H de transistores. Na maquete foram utilizadas duas destas pontes, para o controle dos dois motores de corrente contínua (CC) responsáveis pelo insuflamento e exaustão de ar no sistema.

O acionamento destes motores poderia ser feito utilizando-se apenas um único transistor para cada motor. Entretanto, optou-se pela ponte H a fim de tornar o sistema mais flexível. Deste modo, cada ventilador opera tanto como exaustor, quanto como um insuflador, possibilitando que esta planta possa ser utilizada, posteriormente, em estudos de outras modalidades de ventilação.

Basicamente, o acionamento do motor é feito por uma diferença de potencial (ddp) aplicada em seus terminais, gerada a partir de sinais enviados pela porta paralela. Quando o pino 2 (D0), por exemplo, está no nível lógico alto (1b), o pino 3 (D1) está no nível lógico baixo (0b). O resultado é uma ddp nas entradas E1 e E2 do módulo de potência que aciona o motor em um determinado sentido.

Pela análise deste circuito, percebe-se que, quando $E1 = E2$, os transistores TIP 120 e TIP 125 estarão cortados, não havendo, portanto, ddp aplicada ao motor, que permanecerá parado. Quando $E1 = 0$ e $E2 = 1$, o motor do ventilador funcionará em um sentido e quando $E1 = 1$ e $E2 = 0$, ele funcionará no sentido contrário. O sentido de rotação do motor de ventilação é que definirá se ele funcionará como insuflador ou como exaustor.

O circuito integrado (C.I.) SN 74LS07, apresentado na figura 6.1, foi utilizado como um “buffer” para fazer o interfaceamento indireto, isolando, assim, o circuito de comando do circuito de potência.

O circuito para medir a temperatura é constituído, basicamente, por um sensor analógico de temperatura, LM35 e de um conversor A/D TLC548, conforme mostrado na figura 6.2.

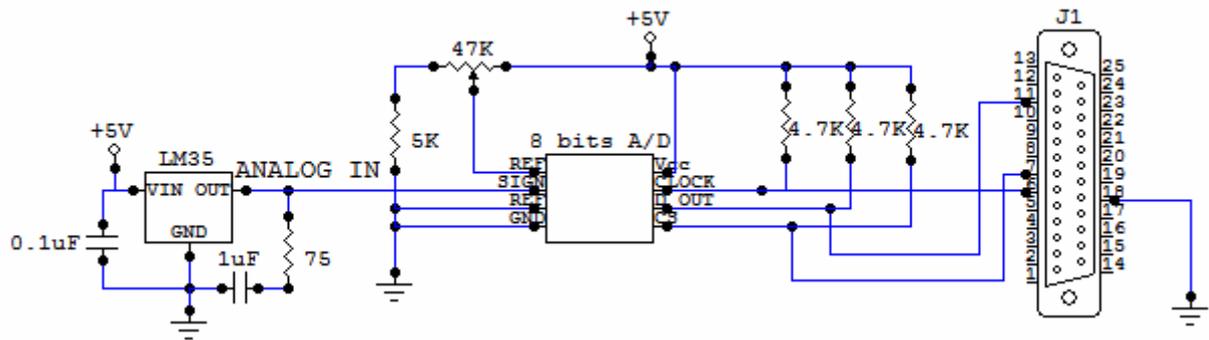


Figura 6.2 – Circuito para medida da temperatura.

Analisando-se a figura 6.2, verifica-se que o sensor analógico LM35 foi ligado de tal modo que fornece ao conversor A/D uma tensão 10mV para cada grau Celsius medido.

Este sensor opera na faixa de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$. Pelo pino 2 do conversor A/D TLC548, chega o sinal analógico fornecido pelo sensor LM35. Neste circuito, há um potenciômetro que deve ser regulado de tal modo que forneça, no pino 1 (+REF), uma tensão de 2,56V. Assim, quando o conversor A/D de 8 bits for realizar uma conversão, ele irá dividir esta tensão de referência por 2^8 , que é igual a 256 partes, obtendo-se desta divisão uma relação de que, a cada variação de 10mV no sensor analógico LM35, haverá a variação de um bit no conversor A/D.

7. MODELO DE CONTROLE

Em um sistema de controle de duas posições, o elemento atuante possui apenas dois estados possíveis que são, simplesmente, ligado ou desligado (on-off). O controle de duas posições é relativamente simples e barato e, por esta razão, é extremamente utilizado tanto em sistemas de controle industriais quanto em sistemas de controle domésticos.

Considerando-se T_{interno} o sinal de saída do controlador e E o sinal de erro atuante, em um controle de duas posições, o sinal T_{interno} permanece igual a um valor máximo ou a um valor mínimo, conforme o sinal de erro seja positivo ou negativo, de modo que:

$$T_{\text{interno}} = T_{\text{max}} \text{ para } E > 0$$

$$T_{\text{interno}} = T_{\text{min}} \text{ para } E < 0$$

onde T_{max} e T_{min} são constantes e equivalem a temperatura máxima e a mínima que se deseja na parte interna da maquete, conforme mostrado no diagrama de blocos da figura 7.1.

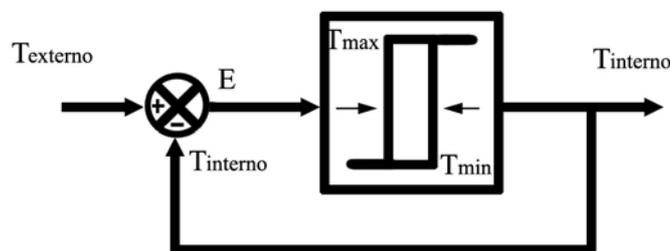


Figura 7.1 – Diagrama de Blocos

A diferença entre T_{max} e T_{min} , denominada histerese ou intervalo diferencial é mostrada na figura 7.2. Quando a temperatura interna da maquete ultrapassar a temperatura máxima (T_{max}) desejada pelo controlador, o sistema acionará os ventiladores, até que a temperatura interna diminua até a temperatura mínima (T_{min}) de trabalho admissível. Quando o sistema atingir T_{min} , os ventiladores serão desligados até que a temperatura ultrapasse, novamente,

T_{max} . Assim, a temperatura interna da planta será mantida dentro do intervalo diferencial pré-definido pelo usuário.

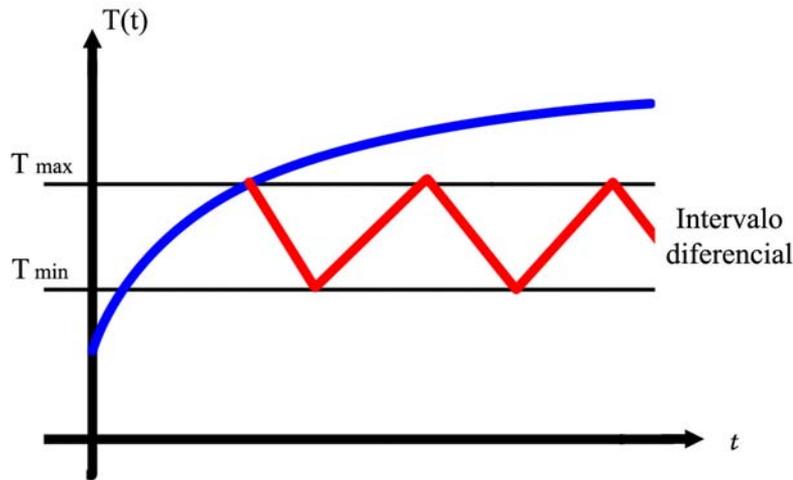


Figura 7.2 – Representação do intervalo diferencial

8. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Para se determinar a faixa na qual o sistema atuará deve-se, inicialmente, encontrar a sua vazão e seu coeficiente global de transferência de calor.

8.1 Determinação do coeficiente global de transferência de calor (U)

Para a determinação do coeficiente global de transferência de calor, fixou-se a potência da lâmpada em 10W. Um cooler com potência de 0.9W foi colocado na parte interna da maquete para funcionar como misturador de fluido, neste caso o ar, conforme mostrado na figura 8.1.1. Na figura 8.1.2, tem-se a distribuição dos sensores de temperatura na planta.

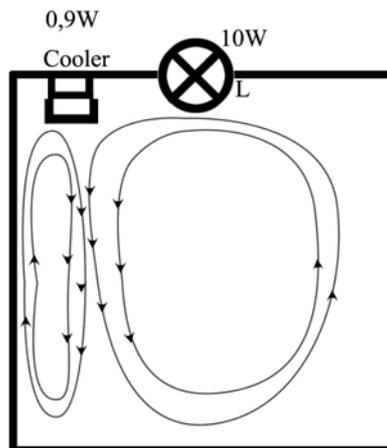


Figura 8.1.1 – Experiência para determinação do U

Com a lâmpada e o cooler ligados durante 10 horas, realizou-se as leituras das temperaturas internas e externa à maquete. Durante este período, as entradas e saídas de ar da câmara foram vedadas. Os dados obtidos neste ensaio estão plotados no gráfico 8.1.1.

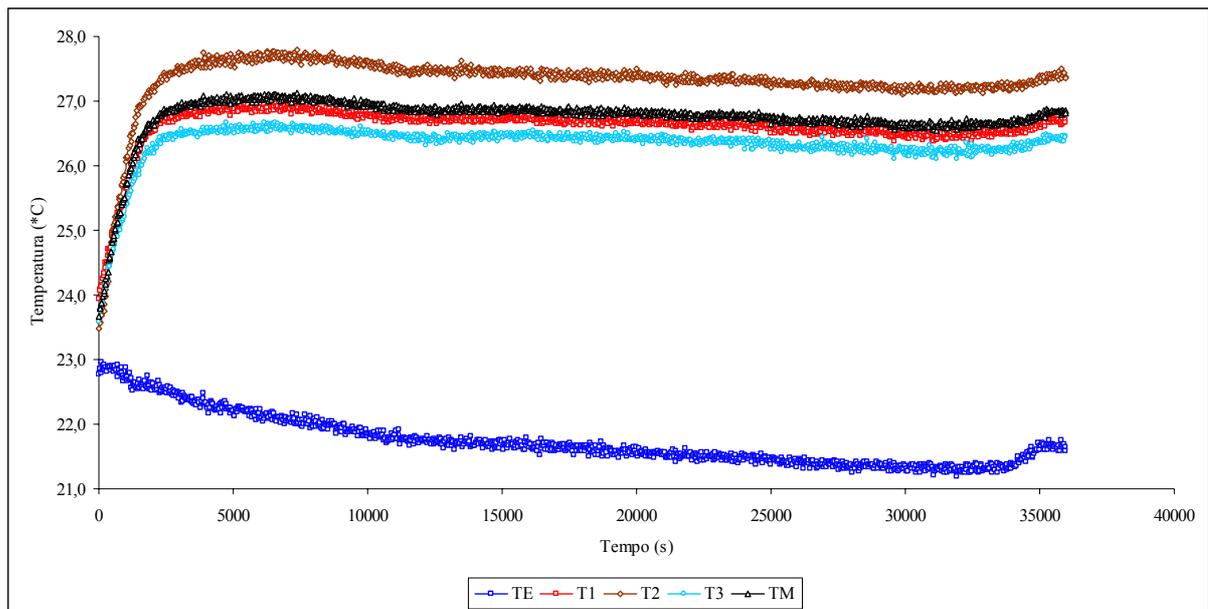


Gráfico 8.1.1 – Resultados obtidos da experiência para determinação de U.

Onde:

TE: sensor de temperatura externa;

T1: sensor de temperatura localizado na parte superior;

T2: sensor de temperatura localizado na parte mediana;

T3: sensor de temperatura localizado na parte inferior;

TM: média das temperaturas internas (T1, T2 e T3).

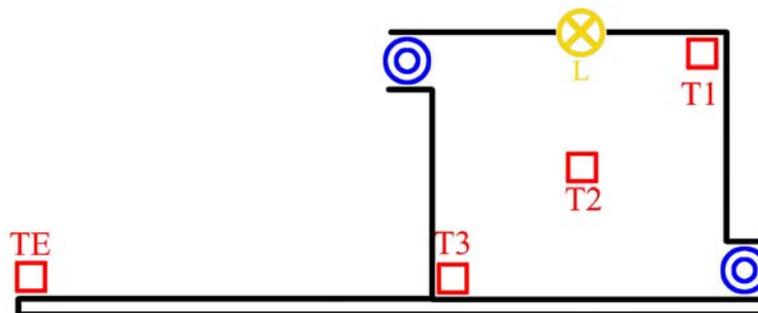


Figura 8.1.2 Posicionamento dos sensores.

Observa-se que após 15000 segundos de experiência, o sistema começa a entrar em regime permanente. Para o cálculo de determinação de U optou-se pelo intervalo de tempo de 25200 a 30000 segundos, mostrado no gráfico 8.1.2.

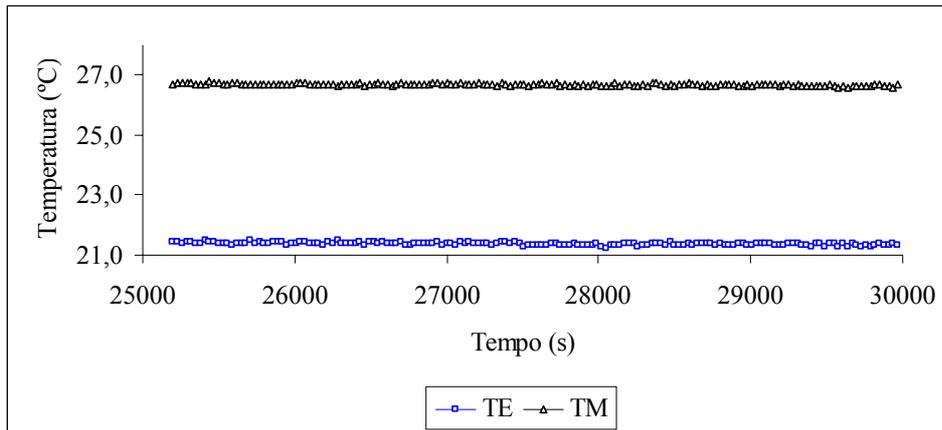


Gráfico 8.1.2 – Intervalo do gráfico 8.1.1 considerado como regime permanente.

Tem-se que:

$$\dot{w}_{el} = \dot{w}_{cooler} + \dot{w}_{lamp}$$

$$\dot{w}_{el} = \dot{Q} + \frac{de}{d\tau}$$

considerando-se que neste intervalo de tempo o sistema opera em regime permanente, $\frac{dE}{d\tau} \cong 0$.

Considerando-se que as perdas de calor pelas paredes da maquete são homogêneas, tem-se que:

$$\dot{w}_{el} = \dot{Q} = AU(T_{int} - T_{ext}) + \frac{de}{d\tau} \Rightarrow A * U = \frac{\dot{w}_{el}}{T_{int} - T_{ext}} = \frac{(10 + 0.9)K}{5,3K} = 2,1 \frac{W}{K}$$

8.2 Determinação da vazão a partir do coeficiente global de transferência de calor (U)

Neste experimento fixou-se a potência da lâmpada em 10W e ligou-se simultaneamente o sistema de ventilação por insuflação e exaustão mecânica, conforme mostrado na figura 8.2.1.

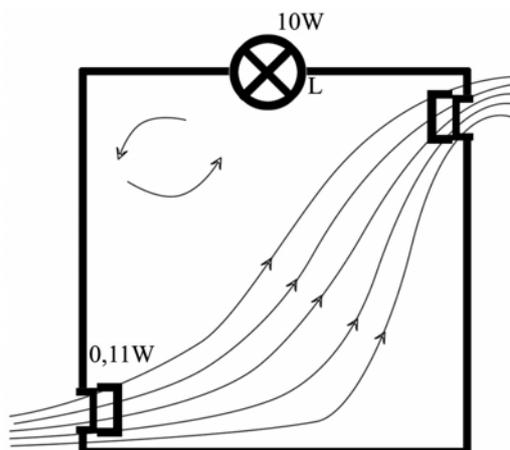


Figura 8.2.1 – Experiência para determinação da vazão a partir do coeficiente global de transferência de calor (U).

Após 8 horas, obteve-se o seguinte gráfico:

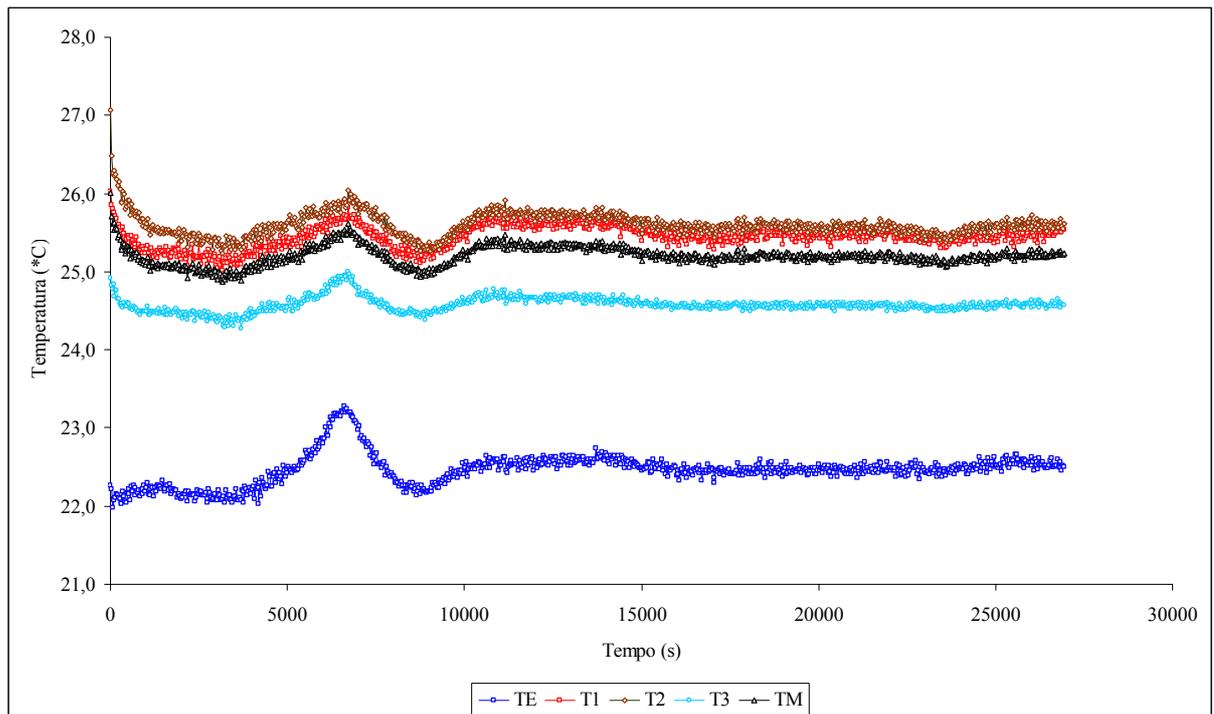


Gráfico 8.2.1 - Experiência para determinação da vazão a partir do coeficiente global de transferência de calor (U).

Observando-se este gráfico, vê-se que, decorridos 3400 segundos, a temperatura interna média reduziu 0,7°C em relação ao valor inicial. Em seguida, o sistema tende a entrar em regime permanente, em torno de 12000 segundos. No gráfico 8.2.2, entre o intervalo de 16000 e 21000 segundos, verifica-se, com maior clareza, um regime permanente.

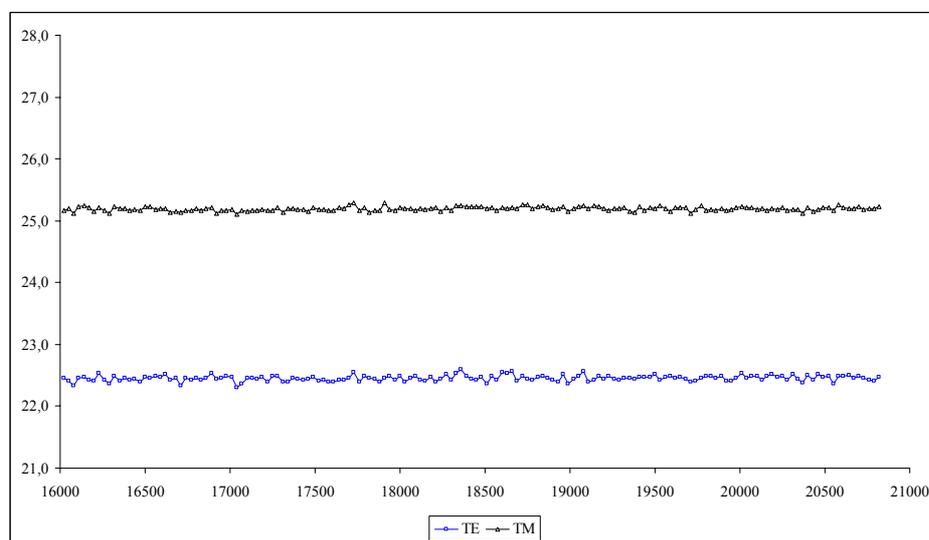


Gráfico 8.2.2– Intervalo do gráfico 8.2.1 considerado como regime permanente.

Para este sistema em regime permanente tem-se as seguintes equações:

$$\dot{w}_{el} = 10W + 0.11W = 10,11W$$

$$\dot{w}_{el} = A * U(T_{int} - T_{ext}) + \dot{m} Cp(T_{int} - T_{ext}) = A * U(\Delta T) - \dot{m} Cp(\Delta T)$$

$$10,11 = 2,1 \frac{W}{K} (2,76)K + \dot{m} 1000 \frac{J}{Kg.K} (2,76)K$$

$$\dot{m} = \frac{(10,11 + 5,8)W}{2760 \frac{J}{Kg}} = 1,56 * 10^{-3} \frac{Kg}{s}$$

9. RESULTADOS OBTIDOS

A partir da vazão e do coeficiente global de transferência de calor obtidos, definiu-se a temperatura mínima que se consegue chegar pela ventilação com a potência de 10W.

Fazendo o equilíbrio térmico temos:

$$\dot{w}_{el} = \dot{Q}_{amb} + \dot{m}.Cp.\Delta T$$

$$\dot{w}_{el} = A.U.\Delta T + \dot{m}.Cp.\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\dot{W}_{el}}{A.u + \dot{m}.Cp} = \frac{10W}{2,1 \frac{W}{K} + 1,56 \frac{Kg}{s} \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \frac{J}{Kg.^{\circ}C}} = 2,7^{\circ}C$$

Isto é, para a potência de 10W fornecida pela lâmpada e com a dada vazão, consegue-se, no máximo, resfriar, por meio ventilação, até uma temperatura interna média (Tm) de 2.7°C acima da ambiente.

Com este dado, definiu-se a histerese do sistema de controle on-off entre 3 a 3.5°C acima da temperatura externa. Deve-se salientar que, sem o controle, a temperatura interna da maquete atingiu uma média de 5.3°C acima da temperatura ambiente. Os resultados obtidos com a implementação do controlador on-off são apresentados no gráfico 9.1:

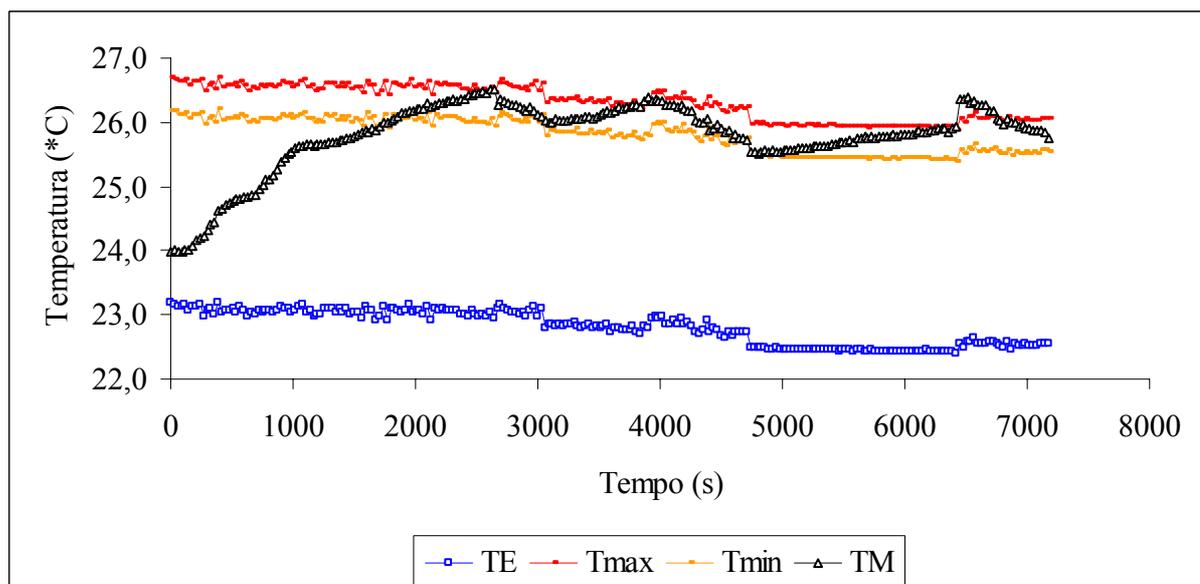


Gráfico 9.1 – Resultados obtidos com a implementação do sistema de controle on-off.

O gráfico comprova o projeto bem sucedido do controlador on-off para o controle de temperatura por ventilação mecânica.

A presença de oscilações no gráfico deve-se ao fato de que os acionamentos dos motores de corrente contínua necessitam de um certo valor mínimo de corrente de armadura para darem partida e iniciarem a operação. Esta corrente necessária gera uma pequena queda de tensão na referência dos conversores A/D, que causa, como consequência, esta oscilação.

10. CONCLUSÕES

Neste trabalho, verificou-se ser possível desenvolver trabalhos multidisciplinares que envolvam instrumentação, eletrônica e controle ligados a outras disciplinas durante o semestre letivo.

O cálculo do coeficiente global de transferência de calor da maquete para o meio externo, foi fundamental para a determinação da faixa de trabalho do controlador on-off.

O circuito para amostragem da temperatura demonstrou precisão quando realizado de modo adequado uma blindagem do mesmo.

O sensor de temperatura LM35 teve de ser posicionado em uma caixa escura com pequenos furos para a entrada e saída do ar a ser amostrado, a fim de reduzir erros de leitura causados pela absorção de calor por radiação na superfície do encapsulamento do sensor, que é negra.

Os atuadores escolhidos, motores de corrente contínua apresentaram oscilações na leitura de temperatura mesmo quando alimentados por uma fonte separada.

A programação em alto nível utilizando-se linguagem Object Pascal possibilitou a construção de uma interface amigável com o usuário, e tornou rápido o processo de construção de um programa a partir de um algoritmo que representasse a estratégia de controle on-off.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] Archibald Joseph Macintyre, *Ventilação Industrial e Controle da Poluição*, LTC, Brasil, 1990.
- [2] Ernest O. Doebelin, *Measurement Systems*, McGraw-Hill, USA, 1990.
- [3] James W. Dally, William F. Riley, *Instrumentation for Engineering Measurements*, John Wiley & Sons Inc, Canada, 1993.
- [4] Katsuhiko Ogata, *Engenharia de Controle Moderno*, LTC, Brasil, 2000.
- [5] Marcelo Leão, *Delphi 6 & Kylix Curso Completo*, Axcel Books, Brasil, 2001.
- [6] Paul Bergsman, *Controlling the World With Your PC*, HighText, USA, 1994.
- [7] Willis J. Tompkins, John G. Webster, *Interfacing Sensors To The IBM PC*, Prentice Hall, USA, 1987.