

Instrumentação e Monitoramento de Um Túnel Psicrométrico Utilizando o LabVIEW

Alysson Domingos Silvestre

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB

alyssonocara@hotmail.com

Márcio Gomes da Silva

Alberdan Santiago de Aquino

Laurivan da Silva Diniz

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB

mgcefet@gmail.com

RESUMO: *Este trabalho descreve a instrumentação de um túnel climatizador (psicrométrico) e o cálculo das propriedades termodinâmicas do ar e o monitoramento destas propriedades utilizando uma plataforma virtual. O monitoramento das propriedades é realizado medindo-se as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido do ar na saída do climatizador e a partir destas temperaturas a umidade relativa e absoluta são calculadas, também são calculadas a vazão e a quantidade total de vapor de água contida no ar que sai do equipamento por hora.*

PALAVRAS-CHAVES: *Climatizador, propriedades do ar, monitoramento.*

ABSTRACT: *This paper describes the instrumentation of a tunnel conditioner (psychrometric) and the calculation of the thermodynamic properties of air and monitoring these properties using a virtual platform. The monitoring of the properties and performed by measuring the temperature of dry bulb and wet bulb air conditioner and the output from these temperatures the relative and absolute humidity are calculated, are also calculated flow and total amount of water vapor contained that comes out of equipment air per hour.*

KEY-WORDS: *Temperature, properties of air, monitoring.*

1. Introdução

Atualmente existem vários meios para a climatização de ambientes. Quando se necessita de refrigerar o ar o sistema mais utilizado é o de compressão de vapor, este é utilizado em climatização onde se deseja o conforto humano e em ambientes industriais das mais diversas linhas de produção. Muitas vezes a climatização é utilizada sem o controle adequado das propriedades do ar, ou seja, se climatiza monitorando apenas a temperatura, mas outras variáveis como a razão de umidade e velocidade do ar são tão importantes quanto à temperatura para o conforto humano. Em ambiente onde se tem processos produtivos as propriedades do ar, podem ter valores diferentes do que os especificados para o conforto humano, nestes casos, o que vai prevalecer são as características do que é produzido ou das máquinas usadas no processo produtivo, porém o controle das variáveis relacionadas ao ar é igualmente complexo. Devido a estas questões o monitoramento e controle de mais de uma variável do processo de climatização, quer seja para refrigeração ou aquecimento é de fundamental importância na diminuição de patologias humanas, dos custos da produção e manutenção ou aumento da produtividade.

1.1. Objetivos

Levando-se em conta que quando o ar é condicionado, ou seja, ele deve ter as propriedades psicrométricas controladas para proporcionar conforto térmico a seres humanos ou deve fornecer condições apropriadas para um determinado processo produtivo ou produto, a medição e o controle destas propriedades é extremamente necessário e em muitos casos difícil de realizar. Considerando a importância do monitoramento e controle das propriedades do ar, este trabalho realiza:

- A instrumentação do climatizador usando sensores de temperatura NTC (coeficiente Negativo de Temperatura) e termopar.
- A construção de circuitos elétricos capazes de realizar a aquisição das temperaturas do ar em tempo real.
- A medição e monitoramento em tempo real das temperaturas de bulbo seco e de

bulbo úmido do ar de saída do túnel climatizador.

- Calcula as propriedades do ar através das equações da psicrometria e de Bernoulli, com o uso do software LabVIEW.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Conforto térmico e psicrometria

O corpo humano é um organismo com uma extraordinária capacidade de adaptação. Assim, desde que haja o tempo necessário a aclimatização, o corpo humano pode suportar condições térmicas bastantes adversas. Entretanto, as condições externas de temperatura e umidade podem variar entre limites que ultrapassam a capacidade de adaptação do corpo humano, existindo um controle das condições internas de modo a proporcionar um ambiente sadio e confortável (STOECKER e JONES, 1999).

Conforto térmico é de difícil conceituação, pois, varia de organismo para organismo e depende de uma série de fatores como: idade, processos metabólicos e até a região onde se vive pode influenciar na nossa sensação de conforto. Uma grande quantidade de variáveis influenciam nas trocas térmicas em ambientes a serem condicionados e, conseqüentemente, nas respostas fisiológicas e psicológicas do ser humano. Segundo a ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1992), a situação de conforto térmico é definida como “aquele estado da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”.

SILVA (2010) apresenta uma região psicrométrica para conforto humano baseado na Norma Brasileira (NBR 6401, 1980), a região proposta por ele se situa entre as temperaturas de 21 a 26 °C e umidade relativa variando de 40 a 60 %. A psicrometria é o estudo das propriedades do ar e suas misturas com o vapor de água (STOCKER e JONES, 1999). A determinação do estado e, por conseguinte das propriedades de uma mistura de dois gases tal como ar úmido (ar + vapor d'água) exige o conhecimento de duas de suas propriedades. Essa informação é o suporte da construção do diagrama psicrométrico do ar. Normalmente a pressão da mistura é conhecida e constante na maioria dos casos de interesse (MORREIRA, 1999).

As equações de estado e de cálculo das propriedades do ar foram utilizadas aqui como expressas no trabalho de (LOPES, 2008).

2.2. Controle

Dennis Papin (1647-1742) concebeu o primeiro controlador de pressão para caldeiras a vapor em 1681, seu mecanismo é semelhante à válvula da panela de pressão (DORF e BISHOP, 2005). Também segundo Dorf & Bishop (2005), o primeiro controlador automático com retroação usado na indústria é o regulador de esferas de James Watt, desenvolvido em 1769, cuja intenção era controlar a velocidade de máquinas a vapor. Até 1868, os sistemas de controle automáticos eram desenvolvidos através da intuição e invenção humana. Antes da Segunda Guerra Mundial, a principal mola para o uso de sistemas com retroação no ocidente, foi o desenvolvimento do sistema telefônico e dos amplificadores eletrônicos, utilizando o domínio da frequência. Em contrapartida na extinta União Soviética, matemáticos e engenheiros mecânicos inspiraram e dominaram o campo da teoria de controle. (Montenegro, 2007), realizou o controle de um túnel psicrométrico através de um computador que utiliza uma placa de entrada e saída de dados, comandada pelo programa computacional LabVIEW, onde os controladores são implementados. Estes controladores avaliam o erro, que é a diferença entre a temperatura desejada e a temperatura do sistema, e determinam o nível de tensão necessário; sinal de controle, para o motor de corrente contínua. São apresentados resultados de simulação e experimentais dos modelos estimados e respostas do sistema sob a ação dos controladores projetados.

2.3. Instrumentação Virtual

O termo “instrumentação”, de acordo com o dicionário da língua portuguesa, designa a arte se exprimir a música por meio de instrumentos musicais, ou ainda em termos médicos, como a parte da enfermagem relacionada a instrumentos cirúrgicos. Porém a engenharia o associa ao estudo teórico e prático dos instrumentos e seus princípios científicos, utilizando-os para monitorar de forma contínua, ou discreta, o comportamento de variáveis de controle que de alguma forma venha interessar ao homem nas diversas áreas do conhe-

cimento humano aplicado, ou seja, não apenas nos processos produtivos industriais (FIALHO, 2005).

Os instrumentos virtuais oferecem vantagens significativas em cada uma das etapas do processo de engenharia, desde a análise investigativa, ensaios, simulação de processos e ensaio de manufatura. Na investigação e no projeto, engenheiros e cientistas necessitam de capacidade de desenvolvimento e realização de protótipos. Com os instrumentos virtuais pode-se desenvolver rapidamente um programa, tomar decisões a partir do registro dos dados de um instrumento para simular o comportamento do protótipo e analisar os resultados, tudo isso numa fração de tempo significativamente menor do que nos ensaios com instrumentos tradicionais. Quando se necessita de flexibilidade é essencial ter uma plataforma ajustável e aberta, desde computadores comuns até os sistemas mais robustos e distribuídos (SANTOS, 2008).

Com os instrumentos virtuais é possível também automatizar um procedimento de ensaio, eliminando a possibilidade de erro humano e assegurando a consistência dos resultados, e também para evitar introduzir variáveis desconhecidas ou inesperadas (SANTOS, 2008).

Na manufatura e simulação de processos há necessidade que o software tenha confiabilidade, seja de alto rendimento e operacionalidade. Os instrumentos virtuais baseados no LabView oferecem essas vantagens mediante a integração de características tais como controle de alarmes, tendência de dados históricos, segurança de rede, entradas e saídas industrialmente comerciais e conectividade. Graças a essas funcionalidades, podem-se conectar facilmente a muitas classes de equipamentos industriais, tais como Controladores Lógicos Programáveis, redes industriais e placas de aquisição de dados portáteis (SANTOS, 2008).

3. Montagem Experimental

A Montagem experimental é composta por um túnel psicrométrico, um manômetro, placa de aquisição de dados, circuito eletrônico, computador, sensores de temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido. O túnel psicrométrico é composto por um conjunto de equipamentos como; sistema de refrigeração por compressão de vapor, bomba d'água, mini-caldeira, instrumentação de pressão

e temperatura analíticos, resistências de aquecimento e de pré-aquecimento, o mesmo, pode ser visualizado na figura 1. O túnel psicrométrico pode simular e fornecer dentro de seus limites de funcionamento (potência de aquecimento, temperatura de resfriamento do ar, vazão da bomba e da caldeira), condições ao ar que passa através dele, para promover conforto térmico humano, viabilizar um processo ou a fabricação de um determinado produto.



Figura 1. Túnel psicrométrico modelo T110D/C.

O trajeto que o ar percorre no interior do túnel psicrométrico é: o ventilador radial força o ar a passar entre uma resistência de pré-aquecimento, passa por pulverizadores ligados a saídas de vapor da caldeira, em seguida passa pelo evaporador do sistema de refrigeração, passa pela resistência de aquecimento, entra em uma câmara onde estão localizados os pulverizadores de água à temperatura ambiente, após esta câmara existe um dispositivo para uniformizar o fluxo de ar e logo em seguida estão fixados os pontos de medição de temperaturas e pressão. Para sair do túnel e ser lançado no ambiente externo, obrigatoriamente o ar tem que passar por um furo de 100 mm de diâmetro o que facilita o cálculo de sua vazão. Todos estes equipamentos podem estar em funcionamento ou não, dependendo das condições requeridas pelo ambiente a ser condicionado. Na figura 2, o diagrama da sequencia percorrida pelo ar pode ser visualizada.

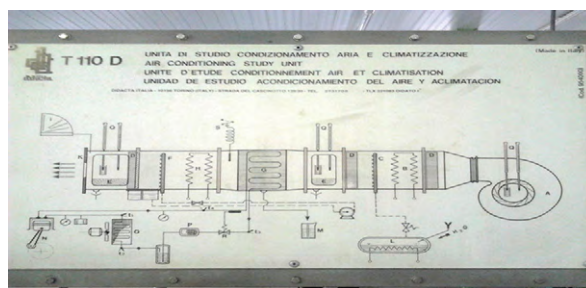


Figura 2. Trajeto percorrido pelo ar no túnel.

Para medição da temperatura de bulbo seco foi utilizado um sensor de coeficiente negativo de temperatura NTC, para medição da temperatura de bulbo úmido foi usado um termopar, com par bimetálico cobre constantan. Para medição de pressão foi usado sensor de pressão piezelétrico de modelo (Kimo MP 100), que pode ser visualizado na figura 3 e um manômetro tipo coluna em “U” com água.



Figura 3. Sensor de pressão piezelétrico de modelo (Kimo MP 100).

4. Metodologia

O túnel psicrométrico é instrumentado originalmente com dispositivos que realizam as medições necessárias para descrever as propriedades do ar analiticamente, porém o cálculo destas propriedades tem que ser feito manualmente e mesmo com auxílio de ferramentas mais modernas, o cálculo é realizado por um operador e de forma manual/visual. Para que o cálculo das propriedades do ar na saída para o ambiente a ser condicionado seja realizado automaticamente, com proposto no presente trabalho foi necessário a medição das

temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido na saída do túnel, como indicado na figura 4.



Figura 4. Sensores instalados na saída do túnel.

Para calcular a quantidade de água por hora, lançada pelo túnel no ambiente a ser climatizado é necessário saber a umidade absoluta e a vazão de ar. A umidade absoluta é obtida por meio da pressão parcial máxima e pressão exercida pelo vapor de água no ar. Com as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido e a diferença de pressão na saída do túnel, foi possível calcular as propriedades e estado do ar. Para cálculo da pressão máxima de vapor, pressão de vapor e pressão de ar seco, foram usadas as equações de LOPES (2008). Da equação 1 é calculada a pressão máxima do vapor d'água na temperatura de bulbo úmido.

$$P_{vms} = 6,1078 \cdot 10^{(7,5 \cdot T_u / 237,3 + T_u)} \quad (1)$$

De onde temos que P_{vms} é pressão máxima que o vapor na temperatura de bulbo úmido, em mmbar;

T_u é a temperatura de bulbo úmido, em °C.

Para determinar a pressão de vapor de água no ar foi utilizada a equação 2.

$$P_v = P_{vms} - 6,7 \cdot 10^{-4} \cdot 760 (T_s - T_u) \quad (2)$$

Em que P_v é a pressão de vapor em mmbar e;

T_s é a temperatura de bulbo seco.

A umidade absoluta pode então ser calculada pela equação 3.

$$W = 0,622 \cdot P_v / (P_{atm} - P_v) \quad (3)$$

P_{atm} é a pressão atmosférica.

Para o cálculo da velocidade do ar na saída do túnel, foram aplicadas as seguintes condições na equação geral da conservação de energia: o ar se comporta como um fluido ideal, o escoamento é não viscoso, o escoamento é unidirecional, incompressível, em regime permanente, ao longo de uma mesma linha de corrente e o ar é lançado no ambiente de forma que a sua velocidade é considerada nula dentro do ambiente (FOX e MC DONALD, 2008). Aplicando estas condições, temos a equação 4.

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (4)$$

Onde V é a velocidade do fluxo de ar em m/s;

ΔP é a diferença de pressão em Pa; e,
 ρ é a massa específica do ar em kg/m³.

Para o cálculo da vazão a equação 5 pode ser empregada;

$$Q = \frac{V \cdot (\pi \cdot D^2)}{4} \quad (5)$$

Q é a vazão de ar em m³/s; e,

D é o diâmetro do furo de saída do túnel em mm.

De posse das equações de 1 a 5 a massa total de água que é lançada pelo túnel, no ambiente climatizado pode ser calculada pela equação 6.

$$M_t = \rho \cdot W \cdot Q \quad (6)$$

M_t é a massa de vapor d'água em kg/s.

Após, estabelecidas às relações matemáticas que calculam as variáveis de estado do ar, foram elaborados circuitos eletrônicos como apresentado na figura 5, para fazer a conexão dos ter-

mômetros com a placa de aquisição de dados, que por sua vez se comunica com o *software* em que os dados são expressos em gráficos.

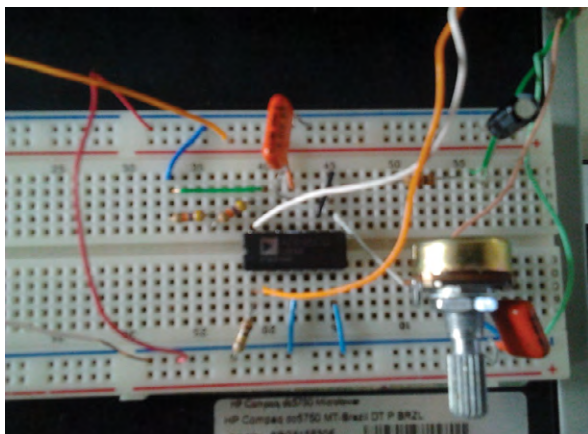


Figura 5. Circuito eletrônico.

Para que os dados fossem apresentados na forma gráfica, um programa computacional em linguagem gráfica “G”, produzido no LabVIEW, foi desenvolvido. Através deste programa as variáveis do ar são adquiridas, processadas conforme as equações matemáticas e apresentadas na tela digitalmente. Na figura 6 o programa pode ser visto.

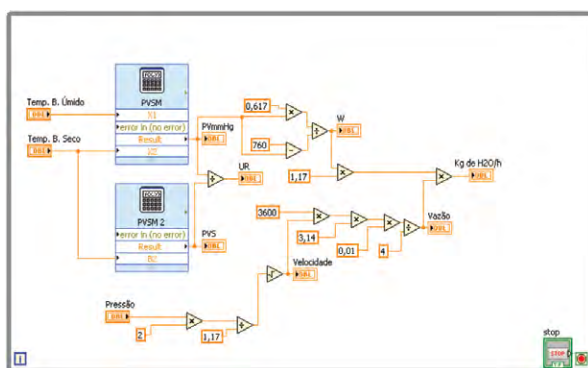


Figura 6. Programa em linguagem G.

5. Resultados e discussões

Os dados obtidos serão apresentados na forma de figuras que são produzidas diretamente no formato gerado pelo *software* aqui usado. São apresentadas na figura 7 as evoluções no tempo das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido, a linha superior do gráfico estará sempre relacionada a temperatura de bulbo seco e a inferior a temperatura de bulbo úmido. Os resultados aqui obtidos foram comparados com os dados de ta-

belas termodinâmicas encontradas no *software* CTT2 e não apresentaram qualquer discordância.

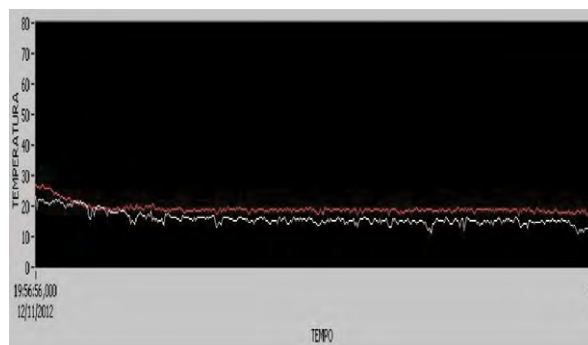


Figura 7. Evolução das temperaturas no tempo.

Na figura 8 pode ser observada a evolução das temperaturas do ar, em um processo onde o ar está sendo aquecido pelas baterias de resistências elétricas.

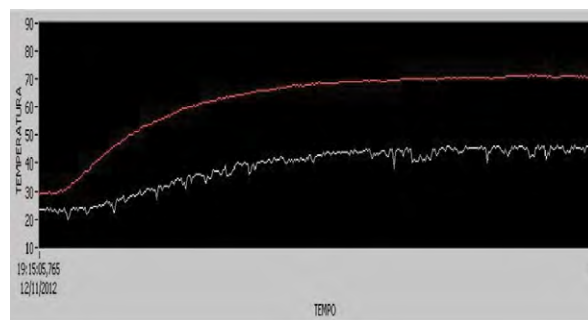


Figura 8. Processo de aquecimento.

Pode ser observado que a temperatura de bulbo seco tem uma elevação bem mais rápida que a temperatura de bulbo úmido. São visualizadas variações da temperatura de bulbo úmido que são provocadas pelas taxas de evaporação não uniforme da água que envolve o bulbo no termopar, assim como pelos ruídos gerados pelo circuito eletrônico, porém esses ruídos não afetam os cálculos das propriedades do ar, uma vez que o programa utiliza a média dos dados coletados em um intervalo de tempo.

Na figura 9 estão representados três processos, inicialmente o ar foi submetido a aquecimento, após um intervalo de tempo o sistema de refrigeração foi ligado e as curvas de temperatura apresentam uma diminuição e em seguida o ar foi submetido novamente a aquecimento. este procedimento foi realizado para testar a estabilidade do sistema gerado sete trabalho.



Figura 9. Teste do sistema.

Nas caixas distribuídas na tela da figura 9, podem ser observados os valores das propriedades do ar que calcula em função do tempo e automaticamente a cada intervalo de tempo. O intervalo de tempo foi fixado a cada 15 segundos. Os dados apresentados na tela são: As temperaturas com a respectiva diferença entre elas, pressões de vapor e pressão de vapor máxima, umidade relativa e absoluta, vazão e velocidade do ar.

6. Conclusões

O sistema desenvolvido é capaz de medir e monitorar em tempo real as variáveis físicas envolvidas no condicionamento de ar proporcionado pelo túnel psicrométrico, e ainda proporciona precisão compatível com as exigências de um sistema de climatização.

Com a automatização da aquisição das temperaturas e cálculo das propriedades do ar, este sistema pode servir de base para o desenvolvimento de outro sistema capaz de controlar e gerenciar o funcionamento de todos os componentes do túnel psicrométrico automaticamente.

7. Referências

ASHRAE, Standard 62, Ventilation for acceptable indoor air quality, **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, Atlanta/Ga.F, 1992.

DORF, R. C., BISHOP, R. H., **Modern Control Systems**. 10 edição. United States of America: Pearson Prentice Hall, 2005.

FIALHO, A. B., **Instrumentação Industrial**. São Paulo: Editora Érica, 7ª Edição, 2005.

FOX, R.W., MacDonald, A.T., **Introdução à Mecânica dos Fluidos**, Editora LTC, 5ª Edição, 2008.

LOPES, R. P; SILVA, J. S., REZENDE, R. C., **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: UFV - Viçosa: UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. 39p, 2008.

MONTENEGRO, P. H. M., Controle de temperatura de ar em um túnel psicrométrico por meio de técnicas adaptativas. **Tese Doutorado - PPGEM, UFPB, Paraíba, (2007)**.

MOREIRA, J. R. S., **Fundamentos e Aplicações da Psicrometria**, São Paulo: RPA Editora, 1999.

SANTOS, T. L. M. **Tópicos em aquisição de dados usando LabVIEW**, 2008. Disponível em: <http://www.dee.eng.ufba.br/usuarios/estud/tito_71/arquivos/T%F3picos.pdf>. Acesso em 05 maio de 2012.

SILVA, M. G., Estudo experimental de um sistema de condicionamento de ar com rotores dessecantes, **Tese Doutorado - PPGEM, UFPB, 2010**.

STOECKER, W. F. e JONES, J.W, **Refrigeração e Ar Condicionado**, São Paulo Editora McGraw-Hill, 1999.