

MEDIDAS DE VOLUMES GASOSOS POR VÓRTICE FORÇADO E FIO QUENTE

POR

M.G.ABREU¹, A.C.O.ALMEIDA¹, C.R.STRAUSS VIEIRA² e A.GIANNELLA NETO²

RESUMO -- Neste trabalho é abordado um método de medidas de volumes gasosos. O transdutor é constituído por um tubo contendo uma turbina fixa numa de suas extremidades. A turbina impõe um escoamento conhecido como vórtice forçado. Internamente ao tubo, é disposto um fio de platina de $20\mu\text{m}$ de diâmetro, aquecido por corrente elétrica e capaz de sofrer variação de resistência dependente do fluxo de gás que atravessa este tubo. Este comportamento é interpretado por um circuito analógico e devidamente tratado de modo a apresentar a um circuito digital (interface com o microcomputador) um sinal elétrico que guarde uma relação com a vazão que o gerou. O reconhecimento desta relação e, por conseguinte, da vazão, permite a avaliação de volumes gasosos e de parâmetros ventilatórios pulmonares.

INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é possibilitar a mensuração de parâmetros característicos de um fluxo gasoso, tais como vazão e volume total num determinado tempo de escoamento.

O transdutor desenvolvido é unidirecional, podendo, portanto, ser empregado sobretudo em provas de expiração forçada.

O processo baseia-se na utilização de um transdutor formado por um fio de platina com 20 micrômetros de diâmetro, que, na ausência de fluxo, é mantido a uma temperatura fixa. Com a passagem de ar através do tubo ocorrem variações de temperatura, e, conseqüentemente, de resistência. Como as variações nas dimensões geométricas do fio são desprezíveis, temos uma relação entre as variações térmica e resistiva, sendo esta última causadora de variação de tensão nos terminais do fio. Esta relação é conhecida pois a temperatura em que é mantido o fio se encontra em uma zona de linearidade da curva temperatura/resistência. Circuitos eletrônicos são utilizados na manutenção das condições de funcionamento e no tratamento do sinal obtido, de modo a ser analisado por um microcomputador. A conexão deste sinal com o microcomputador é feita a partir de uma interface também desenvolvida no presente trabalho.

¹ Mestrandos do Programa de Engenharia Biomédica da COPPE/UFRJ.

² Professores Adjuntos do Programa de Engenharia Biomédica da COPPE/UFRJ.

COMPORTAMENTO DO FLUXO DENTRO DO TUBO

A passagem do fluxo de ar pela turbina fixa provoca um vórtice confinado ao interior do tubo. Este vórtice, por sua vez, excita o sensor de uma forma característica, dependente do fluxo de entrada e da geometria do sistema, fixa para todos os casos, ou seja, as variações de tensão elétrica encontradas referem-se única e exclusivamente às características do fluxo de entrada. Tendo passado pela turbina, o fluxo assume uma forma helicoidal, cujo passo, constante para cada fluxo, determinará uma frequência de oscilação a ser captada pelo sensor e transferida ao circuito eletrônico na forma de variação de sinal de tensão. Em outras palavras, o comportamento do fluxo dentro do tubo caracteriza-se por ser pulsátil.

MATERIAIS E MÉTODOS

O tubo e o sensor: características e condições de utilização

O tubo utilizado possui uma turbina fixa na extremidade de entrada. Na extremidade do cilindro de menor diâmetro deste tubo, oposta a de entrada de ar, foi alocado um sensor de platina. A figura 1 mostra o tubo e suas dimensões.

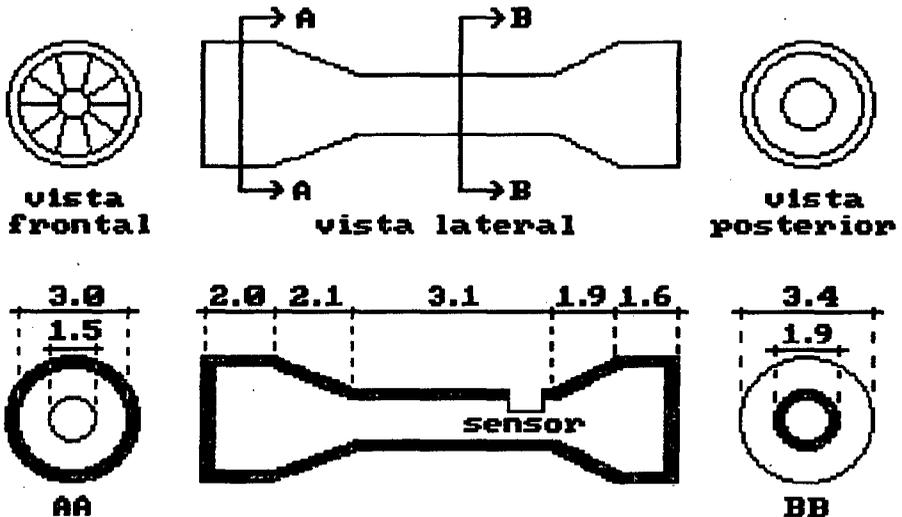


Figura 1. Desenho do transdutor de fluxo. O sentido do fluxo é da esquerda para direita. A turbina fixa localiza-se antes do corte AA (dimensões em cm).

O sensor utilizado é um fio de platina, que apresenta alto ponto de fusão, difícil oxidação, baixo tempo de resposta (baixa inércia térmica) e linearidade da relação temperatura/resistência. Foi escolhido como ponto de operação a temperatura de $375^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$. O diâmetro do fio utilizado é de 20 μm , pequeno devido à necessidade de se otimizar a relação área/volume (A/V), para facilitar a troca de calor. O comprimento do fio é de 2,5 milímetros. A resistência R do fio, para uma temperatura ambiente de 25°C , é de 1,0 Ohm.

O PROJETO

O projeto como um todo constitui-se de três partes bem diferenciadas: um hardware analógico, um hardware digital e um software.

Hardware analógico

Por hardware analógico entende-se todo o conjunto que engloba desde o sensor até a saída para a interface com o microcomputador (hardware digital), conforme mostra a figura 2.

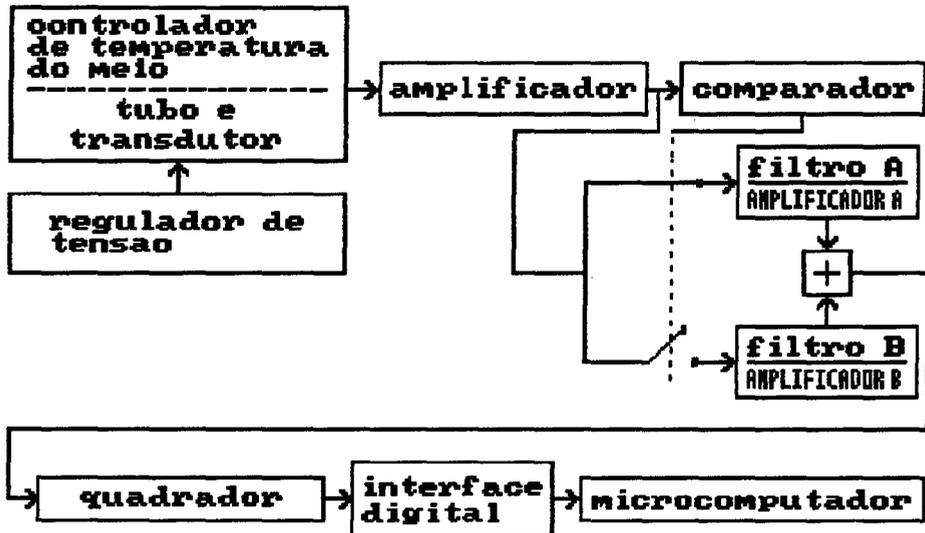


Figura 2. Diagrama do hardware analógico e do digital

Na ausência de fluxo, a temperatura do fio de platina é mantida a $375^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ através de um regulador de tensão. O sinal coletado durante a passagem de fluxo, a partir da consequente variação de temperatura, apresenta um nível de tensão contínua (DC), cuja magnitude diminui à medida que o fluxo aumenta. A tensão alternada (AC) é nula na ausência de fluxo. Com a passagem de ar pela turbina, o nível AC surge, e a medida que a vazão cresce, este diminui e a frequência aumenta. O sinal obtido pelo estágio de comparação é utilizado para selecionar um entre dois filtros passa-faixa de frequência. Vale ressaltar que o parâmetro de seleção é o nível de tensão DC apresentado ao comparador, correspondente a uma determinada magnitude de fluxo. Assim sendo, cada filtro é selecionado e implementado a partir do conhecimento empírico da correspondência entre o nível de tensão e a faixa de frequência predominante. Ou seja, sabendo-se que o espectro de frequência concentra-se em determinada faixa para determinado nível de fluxo, utiliza-se o nível de tensão a ele correspondente para seleção dos filtros passa-banda. Desta forma, é possível utilizar uma amplificação diferenciada para cada faixa, o que permite compensar a queda da amplitude da componente AC do sinal, que varia com a frequência. Este sinal, filtrado e amplificado, é então transformado em uma onda quadrada, de mesma frequência, conveniente para a interface com o microcomputador. O controlador de temperatura foi projetado para manter a temperatura do

interior do tubo em 38°C, de forma a evitar a condensação de vapor d'água e as variações de volume gasoso.

Hardware digital:

O hardware digital consiste na interface entre o hardware analógico e o microcomputador, sendo implementada em uma placa própria para o slot do PC/IBM.

O sinal de onda quadrada chega à placa, mais especificamente ao clock de um flip-flop tipo D de transição, modificando o estado em que este se encontra. A partir de então se dá a leitura de uma palavra de 12 bits, gerada na própria interface, que guarda uma relação com o sinal de saída do hardware analógico, ou seja, com a vazão. Esta leitura é feita através de um oscilador estável e um contador, cuja conexão com a barra de dados é feita por dois "latches". A escolha de uma palavra de 12 bits se deu devido a questões de precisão; segundo a American Thoracic Society (ATS), é necessário um mínimo de 10 bits e um período máximo de amostragem de 20 ms para leitura de fluxo. Tal restrição é feita de forma a permitir, com perda mínima de informação, a leitura nas rápidas variações de fluxo.

Nesta implementação, o período de amostragem é variável de acordo com o período do sinal da onda quadrada gerada pelo fluxo, ou, mais precisamente, é o próprio período deste sinal. A medição deste período é feita pela contagem de uma frequência fixa, de valor 20 vezes superior que a maior frequência de fluxo gerada. Esta frequência é chamada de frequência de referência. A figura 3 ilustra a idéia.

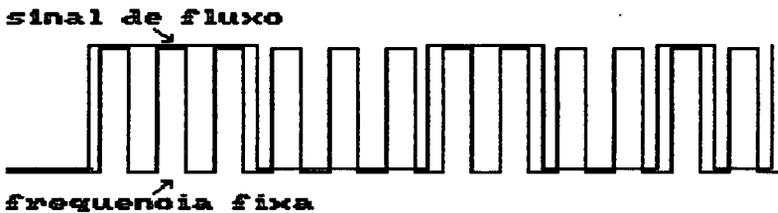


Figura 3. Ilustração do processo de medição da frequência do sinal gerado no quadrador

O software

Foram desenvolvidos seis softwares em linguagem assembly do microprocessador 8086. Assim, desenvolveu-se programas para verificação do reconhecimento ou não da ocorrência de fluxo. Foi desenvolvida, também, uma rotina para calibração do transdutor, e, finalmente, o programa de avaliação do volume gasoso que atravessa o transdutor.

O software de calibração

Foi idealizado um programa que permitiu levantar a curva de calibração do transdutor, isto é, possibilitou escrever um gráfico palavra de 12 bits x magnitude de vazão, onde foi interpolada, por métodos matemáticos, a curva que melhor se ajustava aos pontos obtidos.

Esta rotina exibe no vídeo do computador dez leituras de uma vazão constante, de valor conhecido, proporcionada por um gerador de vazão. Utilizando, então, comandos do próprio sistema operacional, foram listados os valores obtidos e construído o gráfico.

O software para avaliação de volume

O objetivo inicial deste software foi o de verificar a qualidade da medida que era efetuada por esta implementação a partir da injeção de uma seringa de calibração de 2 litros, contendo ar à temperatura ambiente. Este programa considera como instante inicial para cálculo de volume a identificação de uma magnitude de vazão superior a 12 l/min, ou seja, o menor valor utilizado durante calibração. Reconhece como instante final o ponto a partir do qual o tempo de amostragem do contador seja superior a 270 ms (vazão inferior a 12 l/min).

A partir destes critérios, o software comanda a interface e faz análise dos dados, apresentando, ao final, o valor do volume de ar que atravessou o tubo. As leituras são armazenadas na memória do computador e podem ser utilizadas para cálculo de outros parâmetros (fluxo máximo, volumes parciais, etc.) e para representação gráfica.

RESULTADOS

Foi construído um gráfico com as leituras calculadas como a média de 9 valores tomados consecutivamente para cada vazão constante, abrangendo o intervalo de 12 l/min a 360 l/min. O limite superior corresponde a maior vazão possível do gerador de vazão empregado (Gould Godart BV, tipo 18987 F5AT).

O objetivo da calibração foi o de reconhecer a melhor curva que se ajusta à resposta do sistema, bem como determinar a função que a descreve. A figura 4 mostra a curva Leitura x Vazão

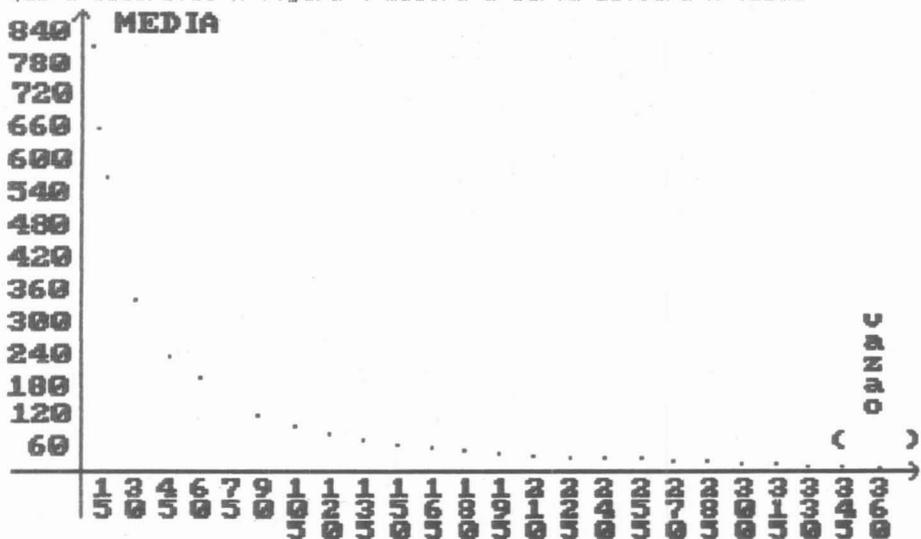


Figura 4. Curva Leitura x Vazão

O aspecto hiperbólico da curva Leitura x Vazão sugeriu que se fizesse um outro gráfico com o recíproco da ordenada. Assim:

$$y = \frac{A}{x} + C \quad ; \quad \frac{1}{y} = Y = A' \cdot x + C'$$

Na figura 5 apresenta-se este outro gráfico, bem como a reta de regressão obtida a partir dos valores de 1/Leitura, calculados segundo o método dos mínimos quadrados.

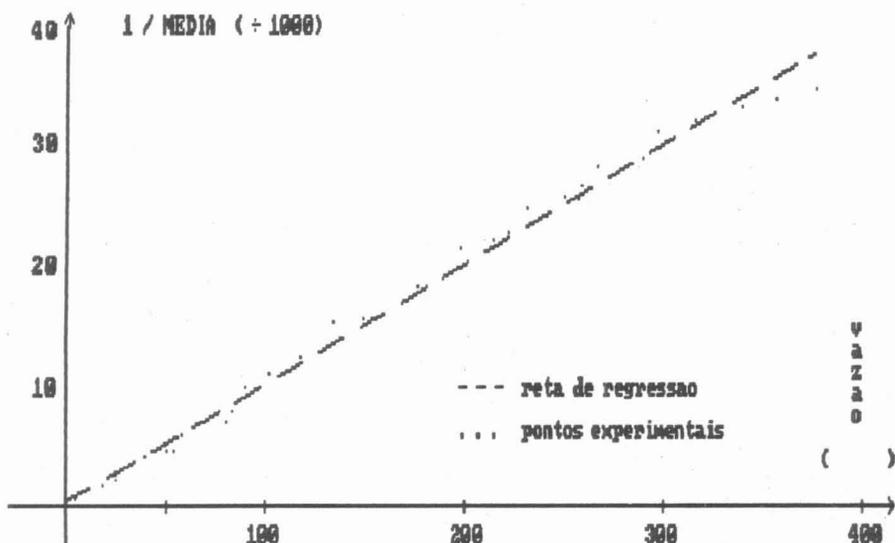


Figura 5. Curvas obtidas a partir dos valores 1/Leitura e da reta de regressão

Feita a regressão, foram obtidos os seguintes parâmetros:

- coeficiente linear: 0,836
- coeficiente angular: 0,901 min/l
- coeficiente de correlação (R): 0,997

Assim sendo, obtém-se a seguinte equação:

$$\frac{1}{\text{Leitura}} = \text{Vazão} \cdot 10^{-4} + 9,3 \cdot 10^{-5}$$

De posse dos parâmetros da reta de regressão (coeficientes linear e angular), foi possível ainda estabelecer a equação que permite relacionar a palavra de 12 bits lida, com o fluxo necessário para gerá-la, a partir de um algebrismo muito simples:

$$Y = A' \cdot x + C' \quad \text{ou} \quad x = (Y/A' - C'/A')$$

Definindo

TA_i = Tempo de amostragem da leitura i , e

UV_i = Unidade de volume que atravessou o tubo durante a leitura i ,

tem-se:

$$UV_i = x \cdot TA_i = \frac{9000}{Leitura_i} \cdot \frac{1}{A'} \cdot \frac{Leitura_i}{41161} = \frac{C'}{A'} \cdot \frac{Leitura_i}{41161}$$

Mas $C' \cdot Leitura_i \ll A' \cdot 41161$, ou seja,

$$UV = UV_i = \frac{1}{246} \cdot 1, \text{ constante para qualquer } i$$

Foram feitas 10 medidas de volume utilizando-se uma seringa de 2,0 litros, com injeções de duração total entre 2 e 4 segundos. Utilizando-se o valor UV calculado acima, os resultados para todas as injeções foram constantes e iguais a 1,4 litros, o que sugeriu a necessidade de se alterar o valor UV para:

$$UV = \frac{2,0}{1,4} \cdot \frac{1}{246} = \frac{1}{180}$$

Com este novo valor foram feitas 10 novas medidas do volume da seringa com duração também entre 2 e 4 segundos, registrando-se 9 vezes o valor 2,0 litros e uma vez, 1,9 litros. Injeções fora desta faixa (muito rápidas ou muito lentas) resultaram em valores não aceitáveis segundo os critérios da ATS.

DISCUSSÃO

O aspecto hiperbólico da curva Leitura \times Vazão foi confirmado na figura 5, obtendo-se um diagrama de espalhamento sugestivo de uma reta. A curva de regressão apresentou um coeficiente de correlação muito alto (0,997). Neste ponto do trabalho já havia sido levantada a hipótese de que entre um sinal de transição e outro, provenientes do hardware analógico em correspondência ao fluxo pulsátil, estaria escoando um volume constante, ou melhor, uma pequena unidade de volume, independente do tempo decorrido entre uma e outra transição. A equação que relaciona a unidade de volume com a palavra de 12 bits veio a confirmar a hipótese inicial, uma vez que esta unidade de volume, conforme foi demonstrado, independe da palavra.

A explicação para os erros obtidos nas leituras de injeções muito lentas e muito rápidas pode estar no hardware analógico, mais precisamente no estágio de filtragem, responsável por selecionar que magnitudes de vazão (e de frequência, por conseguinte) vão ser capazes de gerar sinal de transição para a interface digital. Como não se dispusesse de um gerador capaz de oferecer vazões que proporcionassem frequências superiores a 2,2 KHz, o hardware analógico foi projetado para desprezar as vazões superiores. A injeção feita com a seringa, por não haver um controle da velocidade de

deslocamento do êmbolo, pode proporcionar uma vazão superior à que pode ser convertida em sinal elétrico de onda quadrada pelo hardware analógico, determinando, assim, os erros de medida observados. Essa hipótese é reforçada quando se observa que injeções muito rápidas proporcionam erros sempre negativos, enquanto as muito lentas geram erros sempre positivos. As medidas são corretas para a faixa de vazão onde houve calibração, ou seja, de zero a 360 l/min, sugerindo que se altere a frequência de corte do filtro B (figura 2) para um valor superior a 4 KHz.

AGRADECIMENTOS

.....

Aos órgãos financiadores, CNPq e FAPERJ.

REFERENCIAS

.....

GARDNER, R.M. et all (1987), "Standardization of Spirometry-1987 Update", American Review of Respiratory Diseases, Volume 136, pages 1285-1298.

YOSHIYA, I., NAKAJIMA, T., NAGAI, I., e JITSUKAWA, S. (1975), "A Bidirecional Respiratory Flowmeter Using the Hot-Wire Principle", Journal of Applied Physiology, Volume 38, Number 3, pages 360-365.

ABSTRACT -- This paper presents a gas volume measurement method. The transducer is constituted by a tube with a fixed turbine at one of the extremities. The turbine inflicts a flowage regime known as vortex. Inside the tube there is a 20 μ m diameter platinum wire, hot by electrical current and capable of suffering resistance variation dependent on the gas that flows through the tube. This property is interpreted by an analogical circuit and treated in order to present to a digital circuit (microcomputer interface) an electrical signal which is dependent on the flow. The recognising of that relationship and, so, of the flow, allows the evaluation of gas volumes and pulmonary ventilation parameters.