

RESISTOR E PNEUMOTACÓGRAFO DE UM MODELO PULMONAR PARA TESTE DE VENTILADORES

por

V. MELLO-NETO¹, J.O.C. FLOSI¹ e A.GIANNELLA-NETO¹

RESUMO -- O trabalho descreve um modelo mecânico pulmonar para teste de ventiladores. O resistor que simula as vias aéreas e o pneumotacógrafo que mede as vazões gasosas são fundidos num único elemento. São apresentadas as curvas de calibração do pneumotacógrafo obtidas em duas configurações. A resistência do elemento também é calculada.

INTRODUÇÃO

Ventiladores são todos os equipamentos designados a aumentar, ou substituir a ventilação espontânea de um ser. É extremamente difícil a sua avaliação pela grande variação das características da impedância pulmonar, que compreende a resistência e a complacência. Numa avaliação são levadas em conta as seguintes variáveis: pressão, volume e tempo.

Até os anos 70 era realizado apenas o TESTE ESTÁTICO, em que são aferidas algumas características físicas de alguns elementos do ventilador porém sem levar em conta o padrão de oferta de ar ao paciente, que é o principal problema a ser levantado. Surgiu então o TESTE DINÂMICO, ou de PERFORMANCE que, baseado no uso de um modelo pulmonar, é capaz de estabelecer uma análise quantitativa e qualitativa dos parâmetros de interesse, prestando-se pois como um padrão de avaliação tecnológica de novos ventiladores, e também como aferição de equipamento já conhecido. Houve por certo tempo o problema de padronização do teste pois ficava a cargo do observador estipular os valores de resistência e complacência a serem empregados, o que ficou solucionado pelo AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI), com a resolução Z 79.7-1976, estabelecendo critérios de impedância segundo o tipo de paciente (adulto, criança ou neo-nato). Esta resolução é mundialmente aceita e será por nós empregada como referência.

¹-PROGRAMA DE ENGENHARIA BIOMÉDICA-COPPE/UFRJ

ETAPAS DO PROJETO

Hardware

Compreende a parte física do projeto, o modelo propriamente dito, os transdutores e sua eletrônica, o conversor análogo-digital, e o microcomputador para a aquisição e análise dos dados.

O modelo convencional é composto de uma resistência que simula as vias aéreas e de um recipiente indeformável, logo de volume fixo, para simulação da complacência pulmonar. Há no modelo conexões entre estas partes, feitas por tubos rígidos para que a sua complacência não interfira com a do modelo. Há ainda um pneumotacógrafo para a determinação de vazões no modelo. São estas partes ligadas a um processador analógico que fornece leituras instantâneas e gráficos para posterior análise. Um esquema do modelo convencional é apresentado na figura 1.

O modelo por nós construído (figura 3) incorpora o pneumotacógrafo e o resistor numa única peça que além de eliminar conexões desnecessárias, economiza um item na montagem do modelo. A forma de construção do resistor também foge ao habitual, geralmente encontrado como tubos metálicos, telas superpostas, ou orifícios em superfícies rígidas (Torzala(1987)). O resistor foi construído baseado em pneumotacógrafos do tipo FLEISCH (Giannella-Neto, von Kruger, Souza-Fraga, e Wiederhecker (1985)).

Dispõe de capilares distribuídos radialmente na periferia da porção central de uma estrutura em fuso para o melhor aproveitamento aerodinâmico (figura 3). A vazão de ar pode ser determinada através da pressão diferencial entre duas tomadas de pressão. No resistor essas tomadas foram dispostas de duas formas: 1) Numa região externa aos capilares; 2) Numa região interna aos capilares. No tocante ao recipiente que representa a complacência pulmonar devemos ter o cuidado de torná-lo isotérmico, pois como o ar atmosférico sob condições fisiológicas comporta-se como um gás ideal, estará sujeito às suas leis, isto é, a pressão exercida pelo gás num determinado volume é proporcional ao número de moles do gás e à sua temperatura. Num recipiente isotérmico, para a determinação do volume gasoso que foi admitido, pode-se empregar a LEI de BOYLE, ou pode-se calculá-lo pela integral temporal da vazão determinada através do resistor. Para manter a temperatura constante emprega-se um material capaz de absorver o calor gerado no interior do recipiente (palha-de-aço, latão, alumínio, etc.). As pressões úteis ao modelo são: pressão na "boca" (P_b), pressão "alveolar" (P_A) e a pressão diferencial para a medida da vazão. Essas pressões são medidas respectivamente pelos transdutores T1, T3 e T2 da figura 2.

Os transdutores empregados (142PC01D-Micro-Switch) foram associados a amplificadores desenvolvidos para este projeto. Os amplificadores apresentam ganho ajustável (1x, 2x, 5x, e 10x) sendo o ganho controlado tanto em modo local como por linhas digitais, apresentam um filtro passa-baixa com frequência de corte em 30 Hz(3dB/dec) e ajuste de linha

de base em toda a excursão (-10 V a +10 V). Os sinais de pressão são digitalizados por uma placa análogo-digital (IBM PC DATA ACQUISITION AND CONTROL ADAPTER), sendo então as informações processadas por um microcomputador IBM compatível.

Software

O software em fase de desenvolvimento deverá ser capaz de analisar os principais parâmetros ventilatórios gerados pelo ventilador, como frequência respiratória (fr), tempo inspiratório (TI), tempo expiratório (TE), relação TI/TE, pressão máxima atingida na inspiração, pressão mínima atingida na expiração, modalidade de ciclagem do ventilador, eficiência de manômetros e alarmes disponíveis, e outros itens necessários de acordo com o ventilador em teste. Há ainda a intenção de, empregando a classificação clássica proposta por MUSHIN (MUSHIN, W.W., Rendell-Baker, L., e Thompson, P.W. (1987)), classificarmos automaticamente o equipamento em teste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a calibração do resistor-pneumotacógrafo foi utilizado como fonte de fluxo um gerador FLOW CALIBRATION SET (GOULD GOUDART tipo 18987 F5 AT). Este aparelho foi conectado ao resistor por uma mangueira de PVC maleável de 1,7 m de comprimento sendo que em todas as conexões foram utilizadas braçadeiras para evitar vazamentos de ar. Em série com o resistor foi acoplado um pneumotacógrafo tipo FLEISCH n^o. 2 com calibração conhecida e linear na faixa considerada (até 2,12 l/s) para 10 vazões pré-estabelecidas. Foram aferidas 10 medidas nas tomadas internas e externas para cada vazão do resistor (Tabela 1).

A partir dos valores da tabela 1 foram realizadas regressões com polinômios de segundo grau, curvas apresentadas nas figuras 4 e 5. As figuras apresentam os coeficientes para as regressões e os coeficientes de determinação encontrados. Os resultados obtidos indicam que as tomadas internas constituem um pneumotacógrafo com sensibilidade mais uniforme na faixa de vazões considerada em comparação com as tomadas externas. A resistência ao escoamento é obtida com as medidas das tomadas externas. Na faixa de zero a 2 l/s recomendada como limites fisiológicos para o uso de ventiladores (Burton e cols. (1972)), o valor médio da resistência foi de 20,82 cmH₂O/l/s, próximo ao indicado nos modelos mecânicos para simulação de padrão obstrutivo que é de 20 cmH₂O/l/s (Torzala, T. (1987)).

A utilização da calibração obtida com as tomadas externas para medição das vazões gasosas pode ser considerada como alternativa. Por um lado a sensibilidade do transdutor torna-se menos uniforme, por outro, o projeto fica simplificado pois as tomadas externas tendo pressões absolutas próximas à "boca" ou aos "alvéolos" (recipiente), sugerem a eliminação de um dos transdutores ("boca" ou "alvéolos") sem perda de informação.

Tabela 1
Valores aferidos

REGISTRO	PRESSÃO DIFERENCIAL (cm H ₂ O)		VAZÃO(l/s)
	INTERNA	EXTERNA	
1	2,01 (0,27)	5,11 (0,10)	0,54
2	3,12 (0,04)	7,79 (0,11)	0,70
3	4,27 (0,04)	11,00 (0,06)	0,87
4	5,56 (0,05)	14,60 (0,13)	1,03
5	6,93 (0,04)	18,61 (0,11)	1,20
6	8,45 (0,05)	23,07 (0,13)	1,38
7	10,08 (0,07)	27,96 (0,23)	1,55
8	11,85 (0,14)	33,34 (0,34)	1,74
9	13,71 (0,11)	39,03 (0,32)	1,92
10	15,71 (0,09)	45,28 (0,22)	2,12

desvio-padrão entre parênteses

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer os serviços prestados pelo CEMEq, órgão governamental que tem nos prestado relevante ajuda no desenrolar do projeto, especialmente aos eng. Francisco de Paula Bueno de Azevedo Neto e José Luiz de Oliveira.

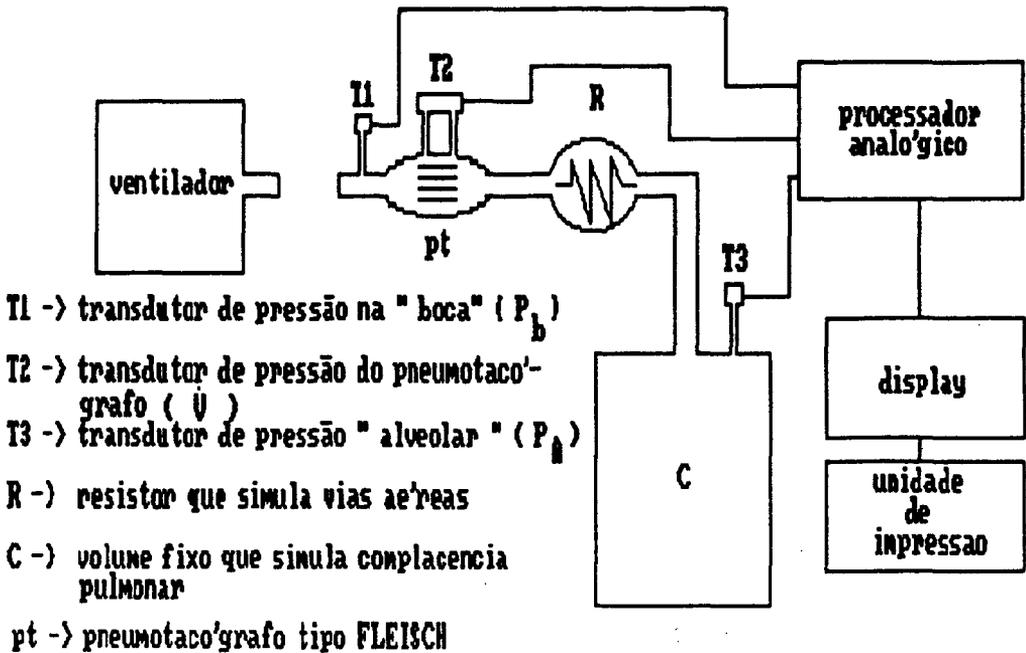


Figura 1. Modelo mecânico pulmonar convencional e módulo de processamento.

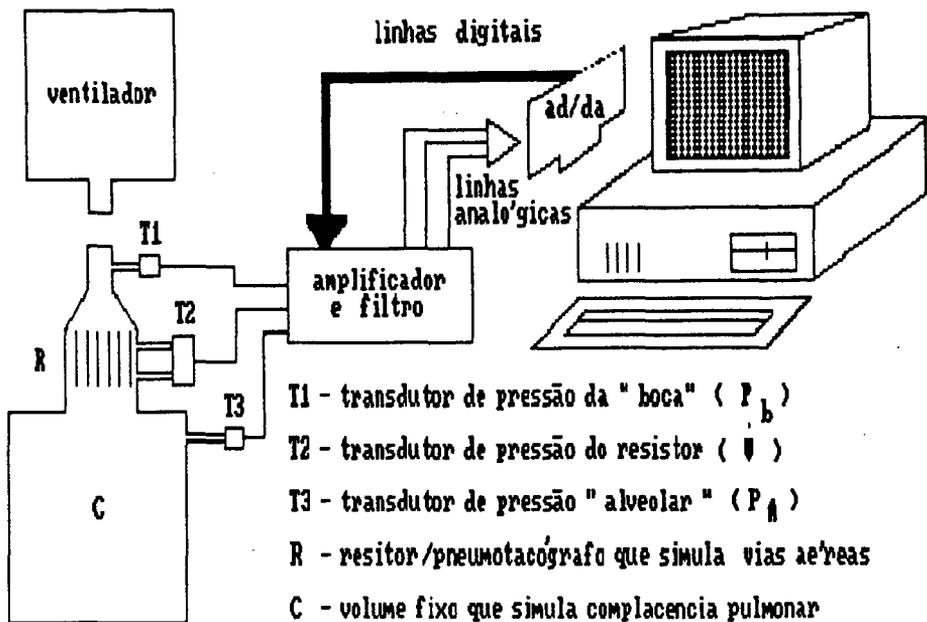


Figura 2. Modelo mecânico pulmonar proposto e módulo de processamento.

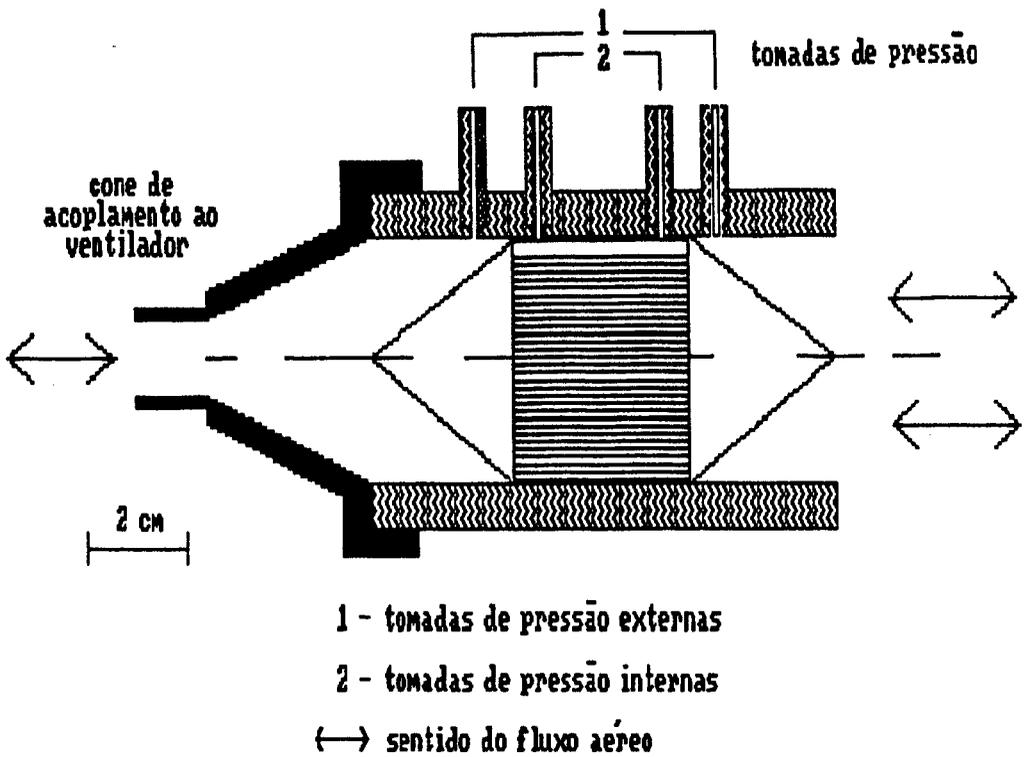


Figura 3 Resistor / pneumotacógrafo . Corte longitudinal.

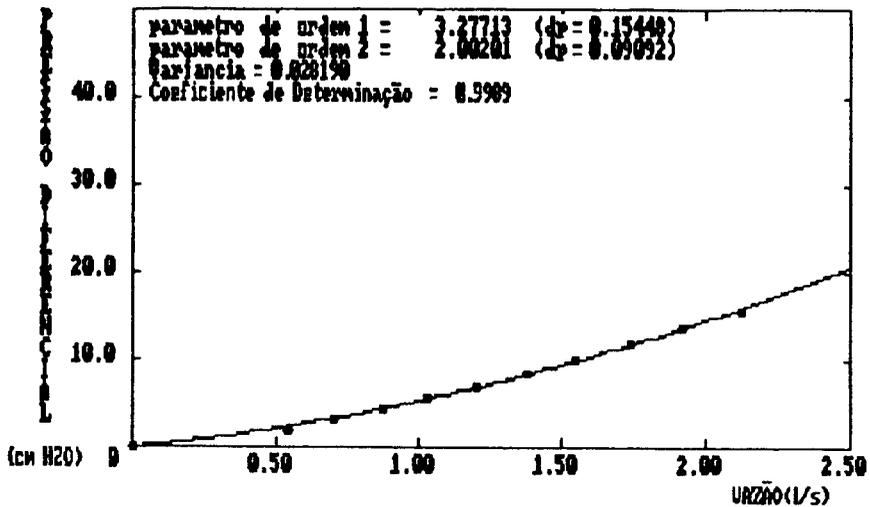


Figura 4. Calibração do resistor/pneumotacógrafo usando as tomadas internas. A linha contínua representa o polinômio de 2º grau obtido pelo método de mínimos quadrados . Os valores experimentais são os da tabela 1. Os coeficientes são apresentados na figura.

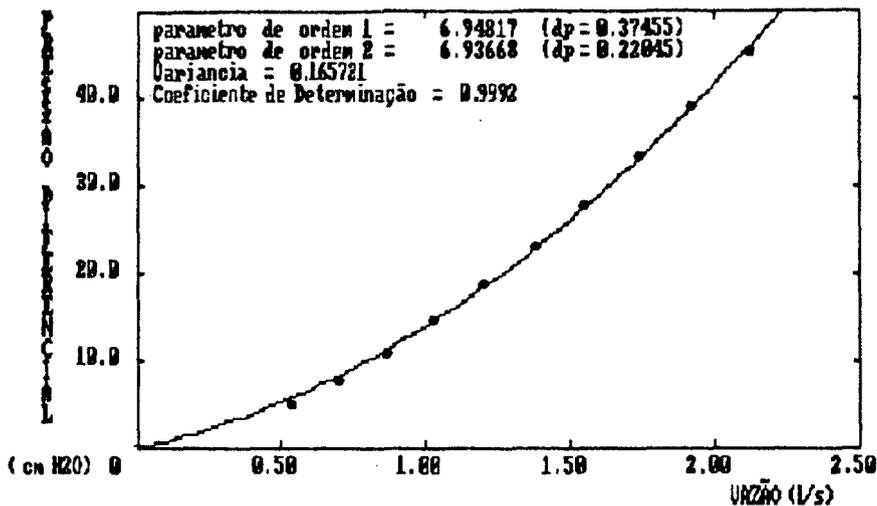


Figura 5. Calibração do resistor/pneumotacógrafo usando as tomadas externas. A linha continua representa o polinômio de 2o. grau obtido pelo método dos mínimos quadrados. Os valores experimentais são os da tabela 1. Os coeficientes são apresentados na figura.

REFERÊNCIAS

- BURTON, G.W. e FOX. D. E. R., (1972), "An airway resistance for use in an artificial lung", Brit. J. Anaesth.
- MUSHIN, W. W.; RENDELL-BAKER, L., e THOMPSON, P. W., (1977), Automatic Ventilation of the lung, Oxford: blackwell.
- TORZALA, T., (1987), Ventilator performance testing, Medical Electronics.
- GIANNELLA-NETO, A., vonKRUGER, M. A. e WIEDERHECKER, N. G. (1985), Pneumotacógrafo tipo Fleish: Construção e Calibração, IX Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica.

RESISTOR AND PNEUMOTACOGRAPH OF A LONG MODEL FOR TESTING MECHANICAL VENTILATOR

ABSTRACT -- The present work describes a Lung Mechanical Model for testing automatic mechanic ventilators. The resistor which simulates the airways and the pneumotachograph which measures gas flow rates are coupled in a single unit. There pneumotachograph calibration curves are presented for two sets of configurations. The airflow resistance is also determined.