



**COBENGE 2005**

**XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**

“Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças”

12 a 15 de setembro - Campina Grande - Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPE

## **BANCADA DIDÁTICA DE SISTEMA DE VENTILAÇÃO**

**Pedro José Moacyr Rangel Neto** – [pedrorangel@puhrs.br](mailto:pedrorangel@puhrs.br)

PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica - Laboratório de Sistemas Fluidomecânicos (LSFM)

Avenida Ipiranga, 6681 – Prédio 30 – Sala 272

90619-900 – Porto Alegre – RS

**Gabriel Cirilo da Silva Simioni** – [simioni@puhrs.br](mailto:simioni@puhrs.br)

**Alexandre Vagtinski de Paula** – [vagtinski@puhrs.br](mailto:vagtinski@puhrs.br)

**Klausen Rodrigues da Rocha** – [klausen@puhrs.br](mailto:klausen@puhrs.br)

**Jorge Antônio Villar Alé** – [villar@puhrs.br](mailto:villar@puhrs.br)

***Resumo:** Atualmente no LSFM existem diferentes equipamentos didáticos destinados a experimentos de laboratório nas disciplinas de mecânicas dos fluidos e sistemas fluidomecânicos. Porém, nenhum deles oferece a possibilidade de ser transportado para explicação direta de algum tópico até a sala de aula devido a suas dimensões. A bancada didática de sistema de ventilação de pequeno porte desenvolvida no LSFM tem exatamente como principal característica a facilidade no transporte. Trata-se de uma bancada que possibilita ao aluno fazer várias experiências, tais como: aprendizado do uso do tubo de Pitot, conceitos de pressão estática, dinâmica e total, levantamento do perfil de velocidades numa tubulação, determinação da velocidade média e número de Reynolds do escoamento, determinação de perda de carga localizada numa tubulação e por fim, levantamento da curva característica de um ventilador centrífugo. Outra vantagem desta bancada é o controle de velocidade de seu ventilador, tipo PWM (Pulse Width Modulation), que é uma técnica de amplificação por modulação de largura de pulsos.*

*No trabalho serão apresentados as características da bancada, e alguns resultados comparativos com outras bancadas usadas para levantamento de curvas característica de ventiladores e de perfil de velocidades dispostas no LSFM.*

**Palavras - Chaves:** Bancada didática, Curva característica de ventilador, Perda de carga, Perfil de velocidades.

## **1. INTRODUÇÃO**

No ensino de Engenharia, os alunos adquirem em aula conhecimentos teóricos repassados pelos professores, os quais também muitas vezes relatam suas experiências práticas e profissionais. Aliado a este fato, em certas disciplinas é indispensável a utilização de experimentos em laboratório para uma melhor compreensão e interação do aluno com o tema abordado. Portanto, para a realização destes experimentos é necessária ou a compra de equipamentos didáticos ou até mesmo sua confecção, quando se trata de um equipamento oneroso ou até mesmo inexistente.

Atualmente os alunos das disciplinas de Mecânica dos Fluidos e Sistemas Fluidomecânicos da Faculdade de Engenharia Mecânica e Mecatrônica da PUCRS desenvolvem diversas tarefas em laboratório, as quais visam complementar seus conhecimentos teóricos e práticos. Os equipamentos utilizados, tais como as bancadas didáticas são na maioria das vezes confeccionados na própria universidade, o que além de baratear sua utilização auxilia no aprendizado dos bolsistas e estagiários responsáveis pelo seu desenvolvimento e construção. Porém, nenhum destes equipamentos oferece a possibilidade de ser transportado para explicação direta de algum tópico até a sala de aula devido a suas dimensões.

O objetivo deste trabalho é apresentar a bancada didática de sistema de ventilação de pequeno porte desenvolvida, que tem exatamente como principal característica a facilidade no transporte, bem como os procedimentos a serem seguidos pelos alunos durante as experiências em laboratório. Trata-se de uma bancada que possibilita ao aluno fazer várias experiências, tais como: aprendizado do uso do tubo de Pitot, conceitos de pressão estática, dinâmica e total, levantamento do perfil de velocidades numa tubulação, determinação da velocidade média e número de Reynolds do escoamento, determinação de perda de carga localizada numa tubulação e por fim, levantamento da curva característica de um ventilador centrífugo. Outra vantagem desta bancada é o controle de velocidade de seu ventilador, tipo PWM (Pulse Width Modulation), que é uma técnica de amplificação por modulação de largura de pulsos.

## **2. OBJETIVOS:**

A presente bancada permite realizar diversas experiências básicas com a finalidade de aprender os fundamentos de sistemas fluidomecânicos, especificamente os que envolvem conceitos de ventiladores e sistemas de ventilação industrial. As principais experiências são:

- Experiência 1: Aprendizado do uso de tubo de Pitot, conceitos de pressão estática, pressão dinâmica e pressão total;
- Experiência 2: Aprendizado para levantamento de perfil de velocidades numa tubulação industrial, determinação da velocidade média e número de Reynolds do escoamento;
- Experiência 3: Determinação de perda de carga localizada numa tubulação industrial;
- Experiência 4: Levantamento da curva característica de um ventilador centrífugo.

## **3. APRESENTAÇÃO DA BANCADA DIDÁTICA DO LSFM:**

A Figura 1 ilustra esquematicamente os componentes da bancada didática, a qual possui um duto de 100 mm de diâmetro, e a Figura 2 mostra uma foto desta bancada.

Foi utilizado um ventilador centrífugo com pás voltadas para frente, com potência de 60W, ao qual foi acoplado um duto de PVC de 800 mm de comprimento e 100 mm de diâmetro, no qual possui um laminador de fluxo e um registro cônico para regulação da vazão.

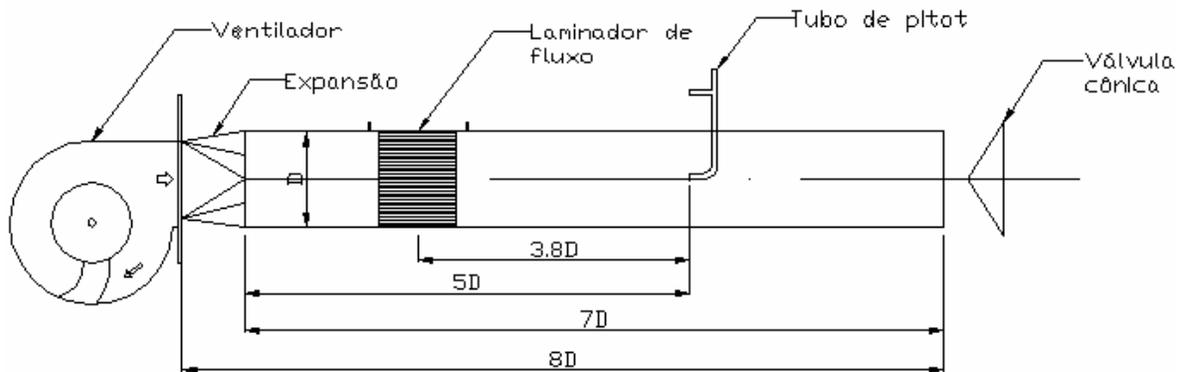


Figura 1 – Componentes da bancada didática.



Figura 2 – Foto da bancada didática.

#### 4. EXPERIÊNCIA N.º 1: UTILIZAÇÃO DO TUBO DE PITOT

##### 4.1 Objetivo:

Aprendizado do uso do tubo de Pitot, conceitos de pressão estática, pressão dinâmica e pressão total.

##### *Comentário teórico e procedimento para realização da experiência :*

Pressão estática ( $P_E$ ): Função do estado termodinâmico do escoamento do ar, exercido igual em todas as direções. A pressão estática decresce ao longo de um duto de seção constante e cresce nos aumentos de seção (recuperação da pressão).

Pressão de dinâmica ( $P_V$ ): Associada à energia cinética do escoamento do ar. Mantém-se constante em dutos de seção transversal constante. Medida com tubo de Pitot-Prandtl.

$$P_V = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (\text{Pa})$$

(1)

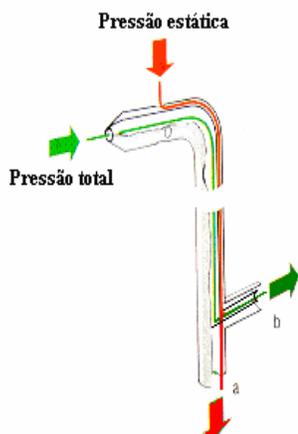
, onde  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) é a massa específica do gás e  $V$  ( $\text{m/s}$ ) a velocidade no ponto de medição.

Pressão total ( $P_T$ ): Soma algébrica das pressões estática e de velocidade. Sempre decresce ao longo do sistema de dutos, podendo aumentar somente quando houver suprimento de energia ao escoamento (através do ventilador).

$$P_T = P_E + P_V \quad (\text{Pa})$$

(2)

A pressão total do ventilador pode ser medida através de um Tubo de Pitot (Figura 3a), que é inserido na seção transversal do duto de ventilação a  $3,8D$  após o último acidente (favo de mel). Ligado ao tubo de Pitot está um manômetro digital (Figura 3b), com o qual medimos as pressões estáticas e dinâmicas do escoamento.



(a) – Tubo de Pitot.



(b) – Manômetro digital.

Figura 3 – Tubo de Pitot e manômetro digital.

Procedimentos para medição de pressões:

- 1- Inserir o tubo de Pitot posicionado num determinado raio do duto;
- 2- Conectar o manômetro digital com as duas tomadas de pressão do tubo de Pitot;
- 3- Acionar o ventilador e ajustá-lo em uma determinada rotação;
- 4- Fazendo a leitura se obtém a diferença de pressão total e pressão estática, isto é, a leitura feita corresponde à pressão dinâmica em Pa.

Como exemplo, utilizando a bancada foram realizadas medições das pressões no ponto  $34,5 \text{ mm}$  afastado da parede superior do duto. O resultados são mostrados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados de pressões medidas na bancada.

$P_E$ (Pa)	$P_D$ (Pa)	$P_T$ (Pa)
68	69	137

Considerando ar em condições padrão ( $\rho = 1,223 \text{ kg} / \text{m}^3$ ) se obtém uma velocidade de  $V = 10,62 \text{ m} / \text{s}$

#### 4. EXPERIÊNCIA N.º. 2: PERFIL DE VELOCIDADES NUMA TUBULAÇÃO INDUSTRIAL.

##### 5.1 Objetivo:

Levantamento de perfil de velocidades na tubulação da bancada. A Figura 4 mostra como se comporta o perfil de velocidades em função da distância após a passagem por um ventilador centrífugo.

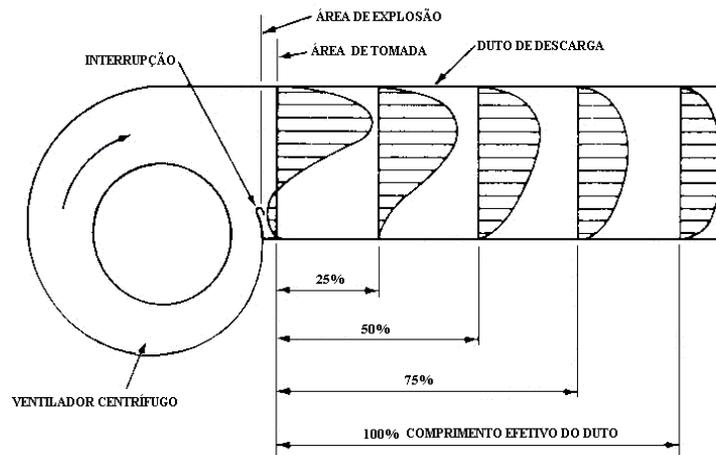


Figura 4 – Perfil de velocidade em função da distância.

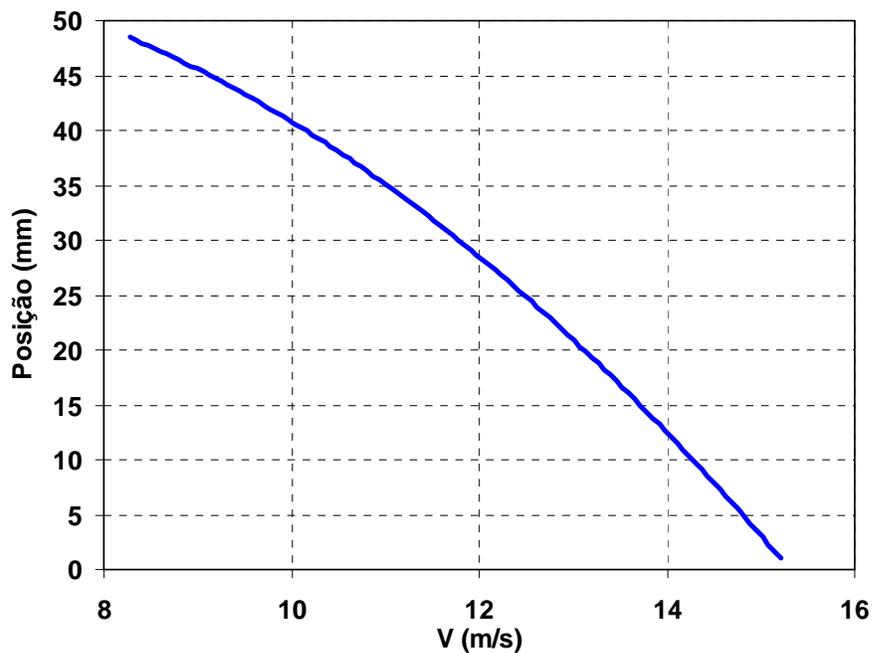
##### *Comentário teórico e procedimento para realização da experiência :*

As velocidades são medidas com o auxílio de um tubo de Pitot e do manômetro digital, para diversos pontos como por exemplo se ilustra na Figura 5b, iniciando da parte superior até a metade da tubulação.

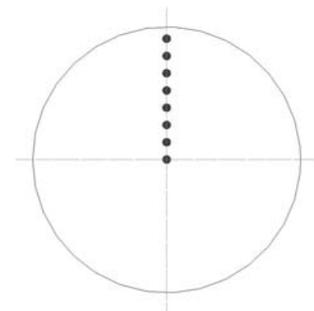
Procedimentos para o levantamento de perfil de velocidades na tubulação:

- 1- Ligar o ventilador e ajustá-lo em uma determinada rotação com o auxílio de um tacômetro;
- 2- Inserir o Tubo de Pitot e conectá-lo ao manômetro digital;
- 3- Medir as velocidades em cada um dos pontos marcados na Figura 5b;

A Figura 5a ilustra o resultado da medição de velocidade na tubulação (perfil de velocidades), para metade do diâmetro do desta.



(a) Perfil de velocidades.



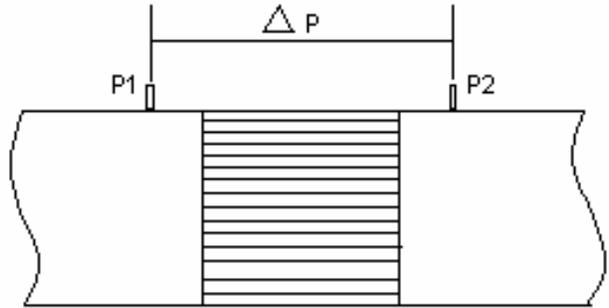
(b) Pontos das medições.

Figura 5 – Perfil de velocidades e pontos das medições.

## 5. EXPERIÊNCIA Nº. 3: DETERMINAÇÃO DE PERDA DE CARGA LOCALIZADA NUMA TUBULAÇÃO INDUSTRIAL.

### 5.1 Objetivo:

Medir a perda de carga no laminador de fluxo (favo de mel). Esta medição é realizada através da diferenças de pressão em relação às duas tomadas instaladas antes e após o laminador (Figura 6), utilizando o manômetro digital.



Figuras 6 – Tomadas de pressão para medição da perda de carga.

***Comentário teórico e procedimento para realização da experiência :***

Procedimento para medição da perda de carga:

- 1- Fazer a média das velocidades da experiência anterior usando a mesma rotação;
- 2- Calcular o *Coefficiente de Perda de Carga (K)*, lembrando que:

$$\Delta P = K\rho \frac{V^2}{2} \quad (3)$$

, onde  $\Delta P$  (Pa) é a perda de carga do laminador de fluxo,  $V$  (m/s) é a velocidade instantânea do escoamento e  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) é a massa específica do ar.

Seguindo o procedimento, foi encontrado um coeficiente de perda de carga médio de  $K = 1,61$ .

Realizando o procedimento de medição da velocidade em diferentes pontos da seção transversal do duto foi obtida uma velocidade média igual a  $V_M = 8,6$  m/s.

O número de Reynolds (Re) do escoamento pode ser determinado através da fórmula:

$$Re = \frac{V_M D}{\nu} \quad (4)$$

, onde  $V_M$  (m/s) é a velocidade média do escoamento,  $D$  (m) é o diâmetro do duto e  $\nu$  (m<sup>2</sup>/s) é a viscosidade cinemática do ar. Com a velocidade média anterior se obtém  $Re \cong 17200$ .

## 6. EXPERIÊNCIA Nº. 4: LEVANTAR A CURVA CARACTERÍSTICA DE UM VENTILADOR CENTRÍFUGO

### 6.1 Objetivo :

Para uma determinada rotação, levantar a curva característica do ventilador medindo a pressão total em função da vazão.

- Graficar a curva  $P_t \times Q$  (Pressão Total x Vazão).

#### *Comentário Teórico e procedimento para realização da experiência :*

Com o registro fechado se obtém a pressão máxima que o ventilador pode liberar. Com o registro totalmente aberto a vazão será máxima e a pressão mínima. Para graficar a curva são levantados pontos intermediários entre a pressão máxima e a pressão mínima. A Figura 7 ilustra este gráfico.

Na bancada se utiliza um ventilador centrífugo com pás voltadas para frente e o registro é do tipo cônico, o qual obstrui a entrada de ar por regulação gradual.

Procedimento para levantar a curva do ventilador:

1. Ligar o ventilador e ajustá-lo em uma determinada rotação com o auxílio de um tacômetro;
2. Posicionar o tubo de pitot (conforme a Figura 8) conectando ao manômetro digital numa posição radial do duto;
3. Deixar o registro cônico totalmente aberto;
4. Medir a pressões total e dinâmica para a posição radial;
5. Mudar a posição do tubo de Pitot para outras posições radiais e repetir o item 4;
6. Fechar parcialmente o registro e repetir o procedimento a partir do item 2;
7. Finalizar a experiência até o fechamento total do registro cônico.

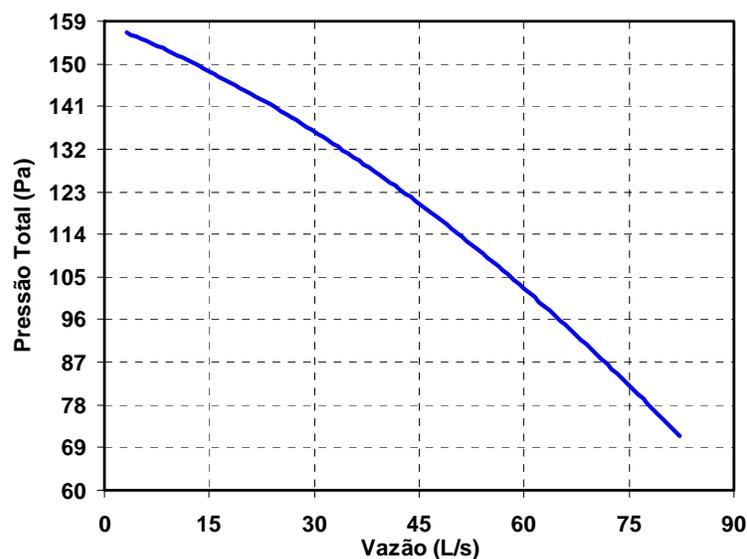


Figura 7 – Exemplo da curva característica da bancada

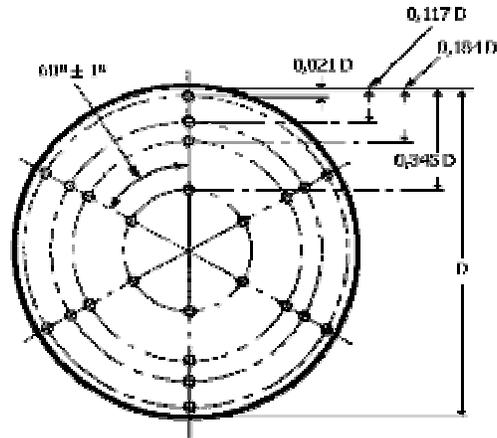


Figura 8– Pontos para medição de pressão segundo a norma ANSI/AMCA 210-85.

## 7. CONCLUSÕES

O desenvolvimento da bancada didática de sistema de ventilação de pequeno porte propicia a utilização de um equipamento didático diretamente em sala de aula, o que facilita tanto a explicação de conceitos e teorias repassadas pelo professor, quanto o entendimento por parte dos alunos. Através desta bancada é possível o aluno realizar experiências que lhe complemente conhecimentos como aprendizado do uso do *tubo de Pitot*, conceitos de pressão estática, dinâmica e total, levantamento do perfil de velocidades numa tubulação, determinação da velocidade média e *número de Reynolds* do escoamento, determinação de perda de carga localizada numa tubulação e por fim, levantamento da curva característica de um ventilador centrífugo.

Assim, através da realização das experiências propostas na bancada desenvolvida verifica-se que os resultados obtidos são satisfatórios, bem como o uso da técnica de modulação por largura de pulso (PWM) para controle de velocidade do ventilador mostra-se bastante eficiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Air Movement and control Association and American Society of Heating, Refrigeration and Air - conditioning Engineers – Laboratory Methods of testing Fans Rating, American National Standard, ANSI/AMCA STANDART 210 – 85, Illinois, 1995.

A. L. S. Mesquita – **Engenharia de Ventilação Industrial**, 1º Edição, São Paulo, 1977.

J. V. A. Alé – **Ventiladores e Sistemas de Ventilação Industrial Industrial**, Apostila da Disciplina de Máquinas de Fluxo do curso de graduação em Engenharia Mecânica da PUCRS, Porto Alegre, 2001.