

Projeto de Física II

Tubo de Pitot

Engenharia Ambiental

Junho/2013

Aline Cristine

Bruno Machado

Gabriel da Franca

Ivan Berlim

Vitor Nakamoto

I. **Objetivo**

O objetivo deste projeto era montar um tubo de Pitot, para que conseguíssemos medir a velocidade de um fluido, neste caso a água. Buscou-se também criar um projeto que além de obter um resultado esperado, servisse como conhecimento didático a outros estudantes. Teve-se o cuidado de utilizar materiais recicláveis e de fácil obtenção.

II. **Introdução**

Em muitos estudos de escoamentos é fundamental determinar o módulo e a direção da velocidade do fluido em alguns pontos da região estudada. Apesar de ser impossível a obtenção da velocidade exata num ponto, pode-se determinar a velocidade média numa pequena área ou volume com o auxílio de alguns instrumentos adequados.

Existem muitos métodos para a determinação da velocidade dos fluidos, entre eles podemos listar: medir o tempo que uma partícula leva para percorrer uma distância conhecida; medir a rotação de uma hélice introduzida no escoamento; medir a variação da resistência elétrica pelo resfriamento de um condutor elétrico introduzido no escoamento; identificar a diferença entre a pressão total e a estática, método introduzido por Henri Pitot em 1732, sendo este um dos mais utilizados.

Henri Pitot nasceu em Aramon, França, em 1695 e foi um importante engenheiro especializado em hidráulica. Começou os seus estudos em matemáticas e astronomia em Paris, tornando-se logo mais assistente do físico Réaumur em 1723. Em 1724 foi nomeado membro da Academia das Ciências de França.

Pitot começou a se interessar por fluídos e testou vários de seus projetos e teorias no Rio Sena, até que inventou em 1732 um dispositivo para medir a velocidade com que o fluido se movia, conhecido hoje por tubo de Pitot, ou ainda pitômetro.

O tubo de Pitot é um instrumento de medição que mede a velocidade de fluidos em modelos físicos em laboratórios de hidráulica, em laboratórios de aerodinâmica e também na hidrologia para a medição indireta de vazões em canais e rios, em redes de abastecimento de água, em adutoras, em oleodutos e ainda a velocidade dos aviões, medindo a velocidade de escoamento do ar.

- **Determinando o perfil de velocidade em uma tubulação:**

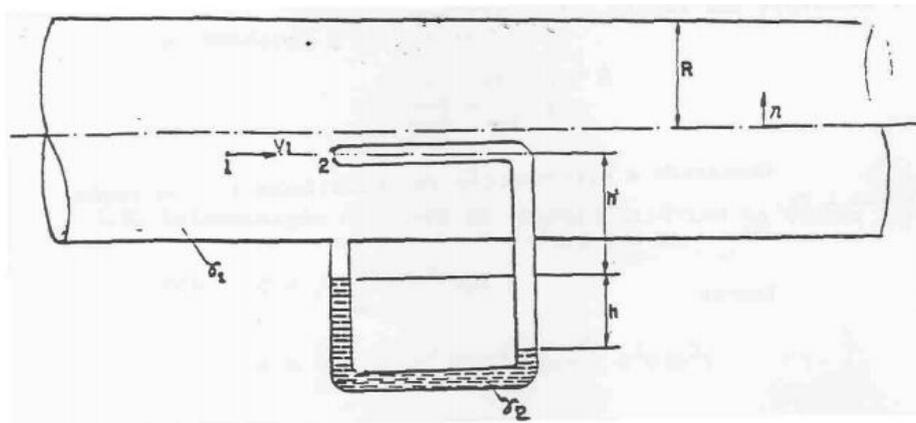


Figura 1: Tubo de Pitot em uma tubulação

Sendo assim, a equação de Bernoulli aplicada entre os pontos 1 e 2, é a seguinte:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} \rightarrow V_1 = \sqrt{2g \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right)}$$

Equação 1

E sendo a equação do manômetro diferencial, ou Tubo de Pitot, neste caso:

$$P_1 + \gamma_1 h' + \gamma_2 h = P_2 + \gamma_1 (h + h')$$

Ou

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = h \left(\frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_1} \right)$$

Equação 2

Então das equações 1 e 2, têm-se a equação 3:

$$v_1 = \sqrt{2gh \left(\frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_1} \right)}$$

Ou ainda de forma mais simples:

$$v = \sqrt{2g\Delta h}$$

- **À respeito do Tubo de Pitot...**

No caso dos aviões, o tubo de Pitot atua como um sensor de pressão que possibilita o funcionamento de um dos mais importantes instrumentos, o velocímetro. Basicamente, é um tubo instalado paralelamente ao vento relativo e com um orifício voltado diretamente para o fluxo de ar resultante da velocidade aerodinâmica da aeronave (Ver figura 1). Esse orifício se comunica com o interior de uma cápsula

aneroide, instalada no velocímetro da aeronave. A caixa do instrumento recebe a pressão estática do ar de uma fonte estática, que não é afetada pela variação de velocidade da aeronave.



Figura 1 – Tubo de Pitot instalado sob a asa de um avião.

Quando a aeronave está estacionária e não há vento relativo, nem real, a pressão que entra pelo orifício do Pitot é somente a pressão atmosférica estática. A cápsula aneroide permanece então em uma posição neutra e a velocidade indicada é zero. Quando a aeronave se desloca na massa de ar, o vento relativo causa um aumento na pressão de ar admitida pelo orifício do tubo de Pitot, em relação à pressão estática, e essa "pressão de impacto", somada à pressão estática, faz a cápsula aneroide expandir. O movimento de expansão da cápsula é transmitido aos ponteiros do velocímetro por hastes e engrenagens, do tipo setor e pinhão, o que faz o ponteiro se movimentar, indicando ao piloto a velocidade da aeronave.

Na teoria o processo é bem simples, porém na prática é muito mais complicado. Isso porque, um avião não voa em ambientes de pressão constante e, portanto, a densidade do ar varia. Outro fator que complica é que a partir de determinada velocidade (250 Knots) as equações mais utilizadas de forma simplificada na física não funcionam, sendo necessário considerar efeitos de compressibilidade decorrentes da alta velocidade.

Outra questão a ser considerada é o local onde é instalado o tubo e os problemas que uma instalação errada pode causar, por exemplo, obstruções por gelo, água ou objetivos estranhos. Para evitar o acúmulo de água, os tubos são equipados com drenos, já o gelo é um problema maior e para a solução deste, os tubos de Pitot geralmente possuem um sistema de aquecimento por resistência elétrica. Porém, condições de gelo tais como a presença, nas nuvens, de água em estado de sobrefusão podem tornar inúteis os melhores sistemas de aquecimento do tubo.

A obstrução dos tubos de Pitot podem ter efeitos muito mais graves que a simples falta de indicação de velocidade. Os sistemas de automação e de alerta das aeronaves dependem de dados corretos de velocidade para funcionar. Se os dados de velocidade deixarem de funcionar corretamente, o mesmo ocorre com o piloto automático. Caso não se desconecte sozinho, os pilotos devem desconectá-lo e passar a voar a aeronave manualmente.

Nesse caso, o piloto felizmente ainda tem condições de voar a aeronave, pilotando por atitude, baseando-se a olho nu, para o horizonte natural da Terra, ou para o indicador de atitude, e ignorar os alarmes falsos.

Porém, o mal funcionamento deste aparelho aliado a falta de preparo de alguns pilotos podem ser fatais. O acidente do voo Air France 447, ocorrido em junho de 2009 no Oceano Atlântico, quando voava do Rio de Janeiro para Paris é um exemplo. A aeronave apresentou diversas falhas de indicação de velocidade. Como a aeronave atravessava formações de cumulus-nimbus (nuvens densas e enormes que só podem ser vistas por inteiro a longas distâncias) muito pesadas, seus tubos de pitot foram obstruídos por gelo causado por água em estado de sobrefusão. O acidente do Air France 447 vitimou 12 tripulantes e 216 passageiros e não houve sobreviventes.

A vazão é a terceira grandeza mais utilizada nos processos industriais (sendo a primeira a pressão e a segunda a temperatura), de forma grosseira podemos dizer que é a rapidez com a qual um volume escoar. Uma das vazões mais importantes é a vazão volumétrica: definida como sendo a quantidade em volume que escoar através de uma certa secção em um intervalo de tempo considerado, ou seja, relação entre o volume e o tempo sendo assim a vazão representa com qual um volume escoar.

A forma mais simples para se calcular a vazão volumétrica é apresentada a seguir na equação mostrada:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Equação 4

Pode-se descrever a vazão através da velocidade, já que pode ser vista como a razão da vazão Q pela área de um tubo por exemplo. Assim uma nova equação pode ser descrita como:

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo A a área e v a velocidade.

III. Materiais e Métodos

III.I Materiais

- 1/2 metro tubo PVC 75mm – 0,5 Metro;
- 1 Metro de tubo PVC ¾ ;
- 3 Adaptadores de tubo PVC ¾ para 75mm*;
- 6 Cotovelos de tubo PVC ¾;
- 1 Tubo em T PVC ¾;
- 1 Registro de tubo PVC ¾;
- 2 Metros de Mangueira transparente;
- 4 Abraçadeiras de mangueira;
- 1 Galão de água de 20 Litros.;
- 2 m² de madeira com 2cm de espessura.
- Durepox
- Parafusos
- Mini Retífica
- Corante
- Fita veda-rosca

III.II Métodos

III.II.I Montagem do Tubo de Pitot.

Parte Inferior do Tubo em U.

Primeiramente, realizou-se uma marcação nos canos para o posterior corte. No tubo de PVC de 75mm foram feitos dois furos, com uma mini retífica, com espessura de 30mm, o primeiro furo foi feito a uma distância de 10 centímetros de uma das bordas, já o segundo foi feito a 15 centímetros do primeiro furo, conforme a Figura 1.



Figura 1: Tubo de 75mm com dois canos de PVC $\frac{3}{4}$.

Em seguida, foram cortados dois pedaços de tubo $\frac{3}{4}$, cada um com 10 cm de tamanho, estes tubos foram introduzidos nos orifícios feitos inicialmente no tubo de 75mm, e cada um separadamente foi colado a um cotovelo, conforme a Figura 2. Para vedar os tubos $\frac{3}{4}$ com o de 75mm utilizou-se Durexi.



Figura 2: *Tubo de 75mm com dois tubos de PVC $\frac{3}{4}$ junto a dois cotovelos.*

Parte Superior do Tubo em U.

A parte superior do tubo em U foi montada da seguinte maneira: Primeiro foram cortadas quatro partes de tubo $\frac{3}{4}$, duas delas foram juntas ao Tubo em T, em seguida foi colocado um cotovelo em cada lado, e os dois pedaços de 10cm restantes foram juntos a esta primeira armação. Em seguida os dois pedaços de mangueira foram presos aos dois lados desta armação com duas abraçadeiras, conforme a Figura 3.



Figura 3: Parte superior do tubo em U.

Por último, juntaram-se as duas outras pontas das mangueiras com a Parte Inferior do tubo em U com as duas abraçadeiras restantes.

Suporte vertical:

Primeiro foi feito o corte de três pedaços de tubo PVC $\frac{3}{4}$, um com 15cm e outros dois com 20cm. Em seguida, os dois pedaços de 20cm foram unidos ao registro, e na extremidade de um dos canos, foi colocado o terceiro adaptador de PVC $\frac{3}{4}$ para 75mm. A parte com o adaptador deve ser virada para cima, pois na parte inferior deve ser posto um cotovelo. A outra extremidade do cotovelo foi unida ao cano de 15cm, e este cano foi unido a um adaptador de cano PVC $\frac{3}{4}$ para 75mm.

Saída do tubo de Pitot:

Para a parte de saída do tubo de Pitot, foi cortado um pedaço de tubo PVC de 10cm. Este pedaço foi unido em uma extremidade a um cotovelo, e a outra extremidade a um adaptador de cano PVC $\frac{3}{4}$ para 75mm. Na Figura 4 a seguir podemos observar a Saída do tubo de Pitot, o Suporte Vertical, o Galão, a Parte Superior e inferior do Tubo em U e a Base de Madeira.



Figura 4: Estruturas para montar o Tubo de Pitot.

Base de Madeira:

Para a base, foram cortados quatro pedaços de madeira. Três deles possuíam dimensões de 40cm x 80cm e outro maior com dimensões 50cm x 100cm. Em um dos três pedaços iguais foi feito um corte no centro do lado de 40cm formando um quadrado com lado de 10cm. Para montar a base, um pedaço de madeira de 40x80 deve ser pregado na extremidade de outro pedaço de 40x80, em seguida o pedaço com o corte em formato de quadrado também deve ser unido a esta armação. No centro do pedaço maior, foi feita uma circunferência com Raio de 10cm para encaixar o Galão. Por último deve se unir essa parte maior com a armação, formando a seguinte estrutura representada na Figura 5.



Figura 5: Base de madeira com o suporte vertical e o galão.

Montagem do Tubo de Pitot.

Primeiramente deve-se unir o suporte vertical com uma extremidade da Parte Inferior do Tubo em U, a outra extremidade da Parte Inferior do Tubo em U deve ser fixada a Saída do tubo de Pitot, formando uma estrutura conforme representado na Figura 6. Na “boca” do galão passou-se bastante veda-rosca, para que qualquer vazamento de água fosse tampado.



Figura 6: Tubo de Pitot pronto.

III.II.II Determinação da velocidade do fluido.

Para determinar a velocidade do fluido, deve-se encher o galão com água misturada a um corante, em seguida o galão deve ser virado para que o fluido entre no Tubo de Pitot pela parte superior do Suporte Vertical. Para calcular a velocidade do fluido, deve-se medir a altura que este sobe nas duas mangueiras, a diferença de altura nas duas mangueiras será aplicada na Equação 1, no lugar da letra h .



Figura 7: Diferença de altura (h) entre as duas mangueiras.

IV. Resultados:

Após término do projeto, enchemos um galão de 20 litros, que foi utilizado para a medição da velocidade da água. Ao liberar o registro, observamos claramente a diferença de altura da coluna de água nas mangueiras transparentes. Essa diferença de altura que aplicada a equação $v = \sqrt{2g\Delta h}$, encontramos a velocidade da água.

A tabela 1 abaixo apresenta a altura de cada uma das mangueiras:

Tabela 1: altura da coluna d'água nas mangueiras

Primeira altura (h_1) ($\pm 0,5$)cm	Segunda altura (h_1) ($\pm 0,5$)cm
45,0	38,0
46,0	38,5
47,0	39,0
$h_1 = (46 \pm 1)$ cm	$h_2 = (38,5 \pm 0,8)$ cm

Sendo assim, através da fórmula do Δh , sabemos que a variação das alturas é de 7,5cm.

Aplicando o Δh encontrado na equação $v = \sqrt{2g\Delta h}$ e adotando $g = 980$ cm/s² obtivemos a velocidade:

$$v = \sqrt{2g\Delta h} = \sqrt{2 * 980 * 7,5} = 121,2 \text{ cm/s}$$

Somente com este resultado da velocidade não poderíamos adotar que a velocidade da água no tubo está correta, para isso descobrimos a velocidade por outro método: a da vazão.

A tabela 2 abaixo mostra as três medições realizadas do tempo gasto para esvaziar um galão de 20 litros.

Tabela 2: tempo para esvaziar 20 litros de água.

Tempo p/ esvaziar 20L ($\pm 0,01$)s
45,50
46,24
46,39
$T = (46,0 \pm 0,5)$ s

Calculamos então o $Q_v = V/t$ (equação 2) = $20/46,04 = 0,4344$ L/s

Transformando L/s para m^3/s :

$$0,4344 \text{ L/s} \longrightarrow 0,0004344 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } 4,344 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Como o tubo de PVC era de $\frac{3}{4}$ polegadas para sabermos o raio em metros:

$$1 \text{ polegada} = 0,0254 \text{ m}$$

$$\frac{3}{4} \text{ polegadas} = 0,01905 \text{ m}$$

Para determinar a velocidade através da equação 3:

$$0,004344 = v * [(\pi * 0,01905^2) / 4] \longrightarrow v = 1,5240 \text{ m/s} \text{ ou } \mathbf{152,40 \text{ cm/s}}$$

V. Conclusões:

Ao fim do projeto concluímos que o objetivo foi cumprido, já que foi possível medir a velocidade da água, sendo esta de aproximadamente **121,2 cm/s**, no tubo de Pitot. Comparando a velocidade encontrada no tubo de Pitot com a da obtida pelo cálculo da vazão (152,40cm/s), percebemos que apesar dos erros, tanto por parte dos operadores quanto pelo instrumento (já que não fora construído com alto padrão de “qualidade”), obtemos um ótimo resultado já que as velocidades estão próximas.

Assim como todo projeto ou construção de engenharia obtivemos muitos desafios, como por exemplo, a dificuldade de trabalhar com madeira, necessidade de muitas máquinas, uso de materiais de construção que possui custo elevado, dificuldade em não deixar a água vazar e dificuldade em conectar tubos diferentes, de esgoto e de água.

VI. Referências Bibliográficas:

- Experiência Tubo de Pitot. Disponível em: <http://xa.yimg.com/kq/groups/21657146/454452026/name/Experiencia+Tubo+de+Pitot.pdf>. Acessado em 23/05/2013 às 19h

- Tubo de Pitot, como funciona. Disponível em: <http://culturaaeronautica.blogspot.com.br/2011/04/tubo-de-pitot-como-funciona.html>. Acessado em 28/05/2013 às 14h.

- Medição de vazão. Disponível em : http://www.profibus.org.br/files/artigos/Artigo_Vazao_CI_2008.pdf. Acessado em 17/06/2013.