

Medidor de vazão de água com configuração prismática hexagonal

• **Data de entrada:**
22/11/2016

• **Data de aprovação:**
26/02/2018

A prismatic hexagonal water flow meter

Natally Annunciato Siqueira^{1*} | Podalyro Amaral de Souza²

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.001>

ORCID ID

Siqueira N.A.  <https://orcid.org/0000-0002-3118-766X>

Souza P.A.  <https://orcid.org/0000-0002-8393-1745>

Resumo

A medição de vazão é fundamental para a gestão de processos. O tubo Pitot Cole é um instrumento amplamente utilizado no setor de saneamento devido a suas vantagens, como baixo custo e fácil instalação. Apesar de sua grande aceitação, estudos apontaram falhas relacionadas à geometria das tomadas de pressão devido a seu formato complexo, que dificulta a confecção de peças idênticas, além de relatos de sua colisão com a tubulação, fazendo com que essas peças fiquem deformadas. Visando aumentar a confiabilidade, a simplicidade e a robustez desse equipamento, construiu-se um protótipo cujas tomadas de pressão estão em faces opostas de um prisma hexagonal. Foram realizados ensaios de calibração, e os resultados apontaram um coeficiente de velocidade estável e inferior ao do Pitot Cole.

Palavras-chave: Medição de vazão. Tubo Pitot. Medição de velocidade.

Abstract

Water flow measurements are fundamental for processes' management. In water companies the Pitot Cole tube is an instrument widely used due to its advantages such as low cost and easy installation. Despite its higher acceptance, studies indicated fails in the pressure taps as its complex geometry makes it difficult to produce identical pieces, as well as reports of its collision with pipes, causing them to become deformed. To increase the reliability, simplicity and robustness of this equipment, this paper proposes the hexagonal prismatic configuration for pressure taps. The prototype was submitted to a calibration test and results showed a stable velocity coefficient with values lower than the Pitot Cole coefficient.

Keywords: Flow meter. Pitot tube. Velocity meter.

¹ Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Departamento de Planejamento, Gestão e Operação da Produção - Divisão De Operação De Água Centro. São Paulo (SP), Brasil.

² Universidade de São Paulo - Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. São Paulo (SP), Brasil.

* **Autor correspondente:** nannunciato@sabesp.com.br.

1 INTRODUÇÃO

A realização de medição de vazão está associada à necessidade de monitoramento de sistemas, o que requer confiabilidade dos dados apresentados. Em sistemas públicos de abastecimento de água, medições de vazão são fundamentais para o controle de processos, desde a captação da água bruta até a distribuição de água tratada, de forma a subsidiar elementos que visem o diagnóstico operacional, mensurar faturamento, a gestão de perdas de água e o controle da eficiência.

Devido à variedade de dispositivos para essa finalidade, a escolha do equipamento deve analisar a necessidade da aplicação, particularidades do escoamento e características do medidor como incerteza, custos, tempo de vida, facilidade de instalação e facilidade de realização da calibração. No setor de saneamento, especificamente em condutos forçados, os medidores mais amplamente utilizados são os eletromagnéticos, os de vórtice, os de velocidade, os ultrassônicos e os de pressão diferencial.

Classificado como medidor de velocidade, o tubo Pitot foi projetado em 1732 por Henry Pitot para o cálculo da velocidade de barcos. Mais adiante, em 1875, Hiran Mills utilizou o instrumento pela primeira vez para medir a vazão em uma tubulação de ferro. E em 1886 Edward Cole idealizou o “Pitometer”, denominado atualmente tubo Pitot Cole (ANDERSON JR., 2015).

Seu funcionamento é baseado na determinação do diferencial de pressão entre duas tomadas opostas denominadas por TIPs, e por meio de equacionamentos pode-se determinar a velocidade do escoamento e, conseqüentemente, a vazão. Como vantagens da aplicação, ressaltam-se o baixo custo e a facilidade no transporte e no manuseio, podendo ser inserido em tubulações, mesmo que em carga, por meio de um registro de derivação.

Por outro lado, devido à extensão dos TIPs, dado que seu comprimento é superior ao diâmetro de registros de derivação, estes devem ser rotacionados no momento da instalação, implicando possibilidade de quebra, deformação ou desalinhamento devido a colisões das tomadas de pressão com a parede interna da tubulação e, assim, levar a erros de medição.

Em relação à dificuldade de execução do projeto dos TIPs, estudos apontam grande discrepância nas medidas, constatando ser esta a principal causa significativa da diferença obtida entre os coeficientes de calibração (PEDRAZZI, 1992).

2 OBJETIVO

Frente às vantagens e oportunidades de melhoria do tubo Pitot Cole, este trabalho propõe o posicionamento das tomadas de pressão em faces opostas de um prisma hexagonal visando mitigar erros na medição, mantendo a simplicidade da aplicação do equipamento, tornando-o mais robusto, de simples construção e instalação. A Fig. 1 apresenta a comparação entre os TIPs do Pitot Cole e o do protótipo testado.



Figura 1 - TIPs do tubo Pitot Cole à esquerda e do protótipo à direita.

3 O MODELO CONCEITUAL

Apresenta-se o modelo desenvolvido para a determinação da velocidade por meio do protótipo elaborado considerando-se as seguintes hipóteses:

- O fluido (água) é incompressível;
- O escoamento é permanente;
- As duas tomadas de pressão estão na mesma cota;
- A pressão na face frontal (p_1) é maior que a pressão na face oposta (p_2).

A Fig. 2 ilustra o esquema das tomadas de pressão do protótipo de forma a auxiliar a compreensão do modelo desenvolvido.

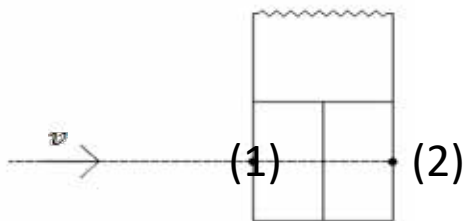


Figura 2 - Esquema das tomadas de pressão do protótipo.

Primeiramente aplica-se Bernoulli para determinar a carga total no ponto (1).

$$h_1 = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z_1 \quad (1)$$

Na Eq. 1, $\frac{v^2}{2g}$ é o acréscimo de pressão devido à estagnação em (1).

Analogamente aplica-se Bernoulli para o ponto (2):

$$h_2 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2)$$

Por estar posicionada na face oposta, a velocidade v_2 , na tomada (2), é nula. No entanto, a pressão p_2 é menor que p_1 devido ao efeito de sucção de pelo menos uma fração do termo cinético $\frac{v^2}{2g}$ representado por k na Eq. 3, onde $0 < k < 1$. Dessa forma, pode-se adotar que:

$$\frac{p_2}{\rho g} = \left(\frac{p_1}{\rho g} - k \frac{v^2}{2g} \right) \quad (3)$$

Assim, a carga total h_2 pode ser expressa por:

$$h_2 = \left(\frac{p_1}{\rho g} - k \frac{v^2}{2g} \right) + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (4)$$

Como $z_1 = z_2$ e $\frac{v_2^2}{2g} = 0$, a aplicação de Bernoulli entre os pontos (1) e (2) é dada por:

$$h_1 - h_2 = \Delta h = \frac{v^2}{2g} (1 + k) \quad (5)$$

e obtém-se a equação da velocidade:

$$v = \frac{1}{\sqrt{1 + k}} \sqrt{2g\Delta h} \quad (6)$$

Onde:

g = Aceleração da gravidade (m/s^2);

h_1, h_2 = Leitura piezométrica em 1, 2 (mH_2O);

p_1, p_2 = Pressão em 1, 2 (mH_2O);

v, v_2 = Velocidade em 1, 2 (m/s);

z_1, z_2 = Cota na tomada de pressão 1, 2 (m);

Δh = Diferencial de pressão (mH_2O);

ρ = Massa específica (kg/m^3).

Salienta-se a existência do coeficiente de correção (k) imposto pelo equipamento e que permite que as leituras do diferencial de pressão apresentem maior valor com relação ao tubo Pitot convencional.

4 O APARATO E MEDIÇÕES

O protótipo foi desenvolvido com o intuito de ser inserido com simplicidade em registros de derivação que possuem diâmetro usual de uma polegada. Dessa forma, o prisma foi elaborado com o diâmetro de 24 mm.

O ensaio de calibração foi realizado em uma bancada composta por um canal circular de seção transversal retangular, dotada de placas tranquilizadoras instaladas ao longo do canal, evitando que o fluido entrasse em movimentação e atingisse a velocidade de rotação do protótipo.

Em seu eixo encontra-se fixada uma haste giratória conectada a um motor controlado por inversor de frequência, permitindo o controle da velocidade angular.

O protótipo foi instalado em uma das extremidades da haste giratória a 1,52 m do eixo, onde as faces com as tomadas de pressão ficaram posicionadas perpendicularmente à trajetória circular e com profundidade fixa. Observa-se que ocorre leve depressão à jusante do TIP, porém ambas as tomadas de pressão foram totalmente inseridas na água.

A velocidade tangencial foi determinada pela relação entre o espaço percorrido, e o tempo gasto foi medido por meio de um cronômetro digital. Para a leitura do diferencial de pressão, foi utilizado um manômetro em forma de U invertido, também fixado na parte superior da haste giratória, como ilustrado pela Fig. 3.

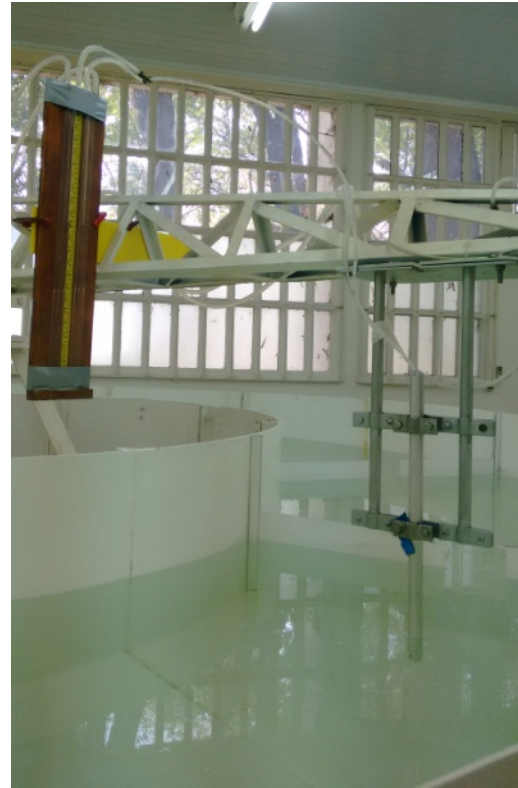


Figura 3 - Bancada utilizada para o ensaio de calibração.

A Tabela 1 apresenta dados medidos no ensaio de calibração, apresentando o número de rotações, o tempo gasto para o equipamento realizar as rotações e alturas manométricas referentes às tomadas de pressão 1 e 2.

Tabela 1 - Medições realizadas no ensaio de calibração.

Nº do ensaio	Nº de rotações	Tempo (s)	Altura 1 (cm)	Altura 2 (cm)
1	5	70,53	395,8	399,5
2	5	58,31	394,9	400,2
3	6	62,86	394,3	400,8
4	7	66,72	393,3	401,7
5	7	61,08	392,6	402,2
6	8	64,58	391,7	403,1
7	8	57,86	390,3	404,3
8	8	54,06	389,3	405,4
9	8	50,71	388,2	406,4
10	10	59,93	386,9	407,6

A partir da Eq. 6 pode-se definir o coeficiente de velocidade, C_v , como:

$$C_v = \frac{1}{\sqrt{1+k}} \quad (7)$$

Pode-se então escrever que:

$$v = C_v \sqrt{2g\Delta h} \quad (8)$$

A partir da Eq. 8 fica evidente que o termo cinético, $\frac{v^2}{2g}$, deve ser proporcional ao diferencial de pressão " Δh " e a constante de proporcionalidade é C_v^2 , isto é:

$$\frac{v^2}{2g} = C_v^2 \cdot \Delta h \quad (9)$$

Na Fig. 4 está a representação dos valores experimentais de $\frac{v^2}{2g}$ contra Δh , valores estes calculados a partir da Tabela 1.

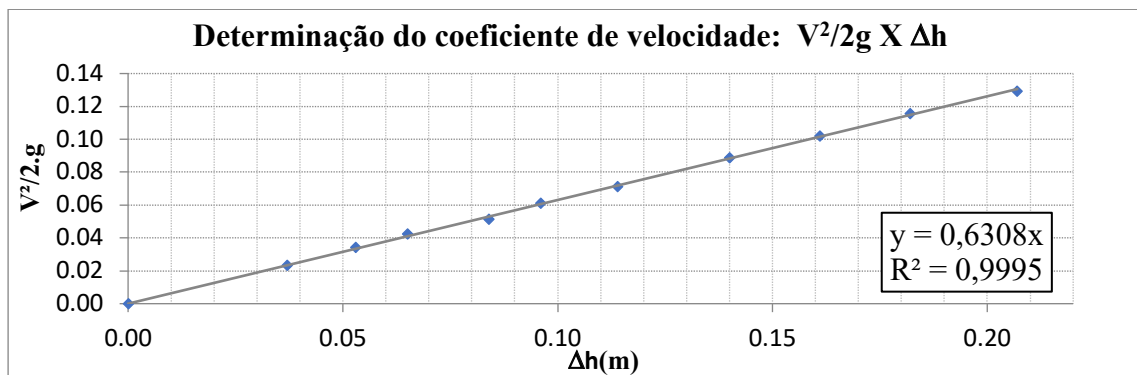


Figura 4 - Determinação do coeficiente de velocidade.

5 ANÁLISE

Da Fig. 4 e do coeficiente de regressão linear obtido, 0,9995, apreende-se que os pontos experimentais aderem à reta $y=0,6308x$, cuja tangente corresponde ao valor de C_v^2 , conforme demonstrado na Eq. 9. Numericamente, obteve-se $C_v^2=0,6308$ ou $C_v=0,794$. Assim, de modo preliminar, a lei de aferição do medidor proposto é:

$$v = 0,794 \sqrt{2g\Delta h} \quad (10)$$

A dispersão experimental associada aos valores de C_v está apresentada na Fig. 5 em função do número de Reynolds expresso em termos do diâ-

metro circunscrito ao prisma do protótipo, d , e da velocidade "teórica", $\sqrt{2g\Delta h}$, dado pela Eq. 11.

$$Re = \frac{d\sqrt{2g\Delta h}}{\nu} \quad (11)$$

O valor do coeficiente de velocidade, $C_v=0,794$ difere do valor histórico clássico do Pitot Cole, que é $C_v=0,870$, o que não acarreta dificuldade e ainda eleva o valor de Δh , diminuindo a incerteza relativa da medição.

Ressalta-se que o protótipo proposto apresentou-se bem estável em termos de valores de C_v , notadamente para $Re > 33.000$ ($v > 1,09$ m/s).

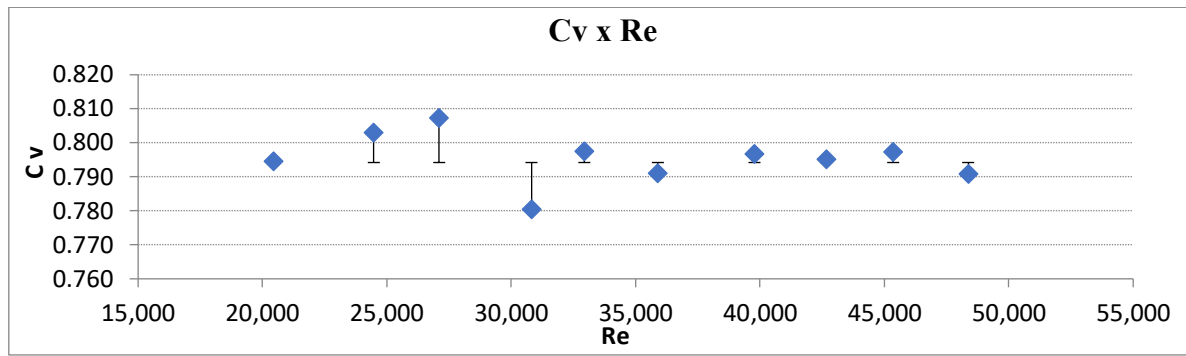


Figura 5 - Coeficiente de velocidade em função do número de Reynolds.

Observa-se que por se tratar de um estudo preliminar, com o intuito de verificar a viabilidade do protótipo, a velocidade máxima ensaiada foi de 1,6 m/s, devido às limitações da instalação. Com o manômetro em forma de U invertido e líquido manométrico água, o maior diferencial de pressão viável para leitura foi 21 cm. Entretanto, dada a aderência do coeficiente de calibração à reta, espera-se que a relação de calibração se mantenha estável devido ao formato do protótipo que assegura o descolamento camada limite no mesmo ponto, nas arestas do hexágono.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O confronto do termo cinético com o diferencial de pressão, obtidos na calibração do equipamento, evidencia forte correlação linear, o que indica confiabilidade na determinação do coeficiente de velocidade.

Ainda assim, esse coeficiente apresentou valores inferiores aos do tubo Pitot Cole, o que aumenta a precisão na determinação do diferencial de pressão.

Por meio da geometria prismática hexagonal com as tomadas de pressão em faces opostas, espera-se determinar com maior confiabilidade medidas de vazão, aumentando a simplicidade no projeto, mantendo o baixo custo e a facilidade na aplicação.

Os próximos passos do estudo incluem a aferição do equipamento em condutos forçados, ampliando a faixa de velocidades ensaiadas e a determinação do coeficiente de área.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (CTH) pela disposição do espaço para a realização dos ensaios experimentais.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) pelo incentivo e apoio a esta pesquisa.

8 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização, Souza, P.A; Siqueira, N.A; Metodologia, Souza, P.A; Siqueira, N.A; Investigação, Siqueira, N.A; Redação – Primeira versão, Souza, P.A; Siqueira, N.A; Redação – Revisão & Edição, Souza, P.A; Siqueira, N.A; Supervisão, Souza, P.A.

9 REFERÊNCIAS

- ANDERSON JR., J. **Fundamentos de Engenharia Aeronáutica: Introdução ao voo**. 7 ed. AMGH Editora LDTA, 2015.
- PEDRAZZI, J. A. **Crítérios de projeto para um novo tip do Pitot-Cole**. São Paulo: USP, 1992. 132p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo, 1992.