

ESTUDO DAS INCERTEZAS DE MEDIDORES DE VAZÃO DE ÁGUA EM SITUAÇÕES DE INSTALAÇÕES REAIS PRÁTICAS



Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

R. P. Dias¹; J. G. Dalfré Filho²; Y.F.L. Lucca³

rodrigopdias@hotmail.com¹ dalfre@fec.unicamp.br² yvone.lucca@gmail.com³



FEC – FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL ARQUITETURA E URBANISMO

Agência Financiadora: PIBIC – SAE

Palavras-chave: medidores de vazão – incertezas – redes de abastecimento

Introdução

Toda planta de um sistema de abastecimento de água ou de uma usina hidrelétrica necessita do conhecimento de um parâmetro técnico essencial, que é a vazão de água. Para a adequada aquisição do valor de vazão, o medidor deve estar posicionado em trechos retilíneos das tubulações. Contudo, em muitos casos práticos, não é possível atender as condições exigidas pelas normas. Empregando-se a teoria dos erros e os conceitos de Hidráulica, este trabalho apresenta um estudo para medições de vazão em situações reais práticas, em que não se consegue obedecer aos critérios exigidos pelas normas.

Materiais e Métodos

Para a realização desta pesquisa foi construído o banco de ensaio do Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, conforme observada nas figuras 1 e 2.

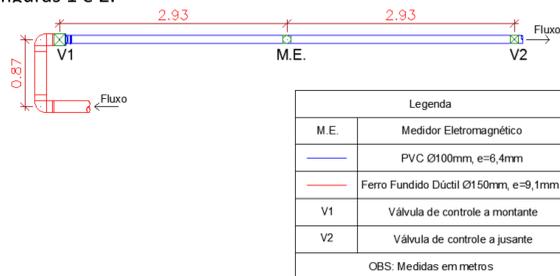


Figura 1: Desenho esquemático da bancada de testes.



Figura 2 (a) e (b): Bancada de testes, evidenciando o posicionamento dos medidores.

O medidor de vazão tipo eletromagnético usado foi o modelo 570TM de 4" da Fisher-Rosemount do Brasil, que possui incerteza de 1% do valor da medição. O medidor de vazão tipo ultrassônico usado foi TransPortTM Model PT868 da Panametrics e sua incerteza na medição de vazão depende do diâmetro da tubulação e da velocidade do fluido: para diâmetros maiores que 150mm e velocidades menores que 0,3 m/s temos erro de $\pm 0,01$ m/s e para velocidades maiores, erro de 2% da vazão; para diâmetros menores ou iguais a 150mm e velocidades menores que 0,3 m/s temos $\pm 0,05$ m/s e para velocidades maiores, erro de 2% a 5% da vazão.

O medidor ultrassônico foi instalado em 10 posições diferentes a partir da válvula V1 de montante, conforme figura 1 e para cada posição foi variada a vazão 20 vezes com a ajuda da válvula V2 a jusante, para um intervalo de vazões entre 0 e 1000 L/min. Foi feita, então, a leitura nos medidores ultrassônico e magnético e os resultados foram anotados em planilha para posterior análise. As distâncias de medições a partir da válvula foram então 1D_{int} = 98mm, 2D_{int} = 196mm, 3D_{int} = 294mm, 4D_{int} = 392mm, 5D_{int} = 490mm, 6D_{int} = 588mm, 7D_{int} = 686mm, 8D_{int} = 784mm, 9D_{int} = 882mm e 10D_{int} = 980mm.

Resultados e Discussão

Quando se realizam repetidas leituras de vazão em laboratório, os valores que são obtidos estão sujeitos a erros aleatórios e permanecem dentro de uma certa média quando se trata de um regime permanente. Como foram anotados os valores máximos e mínimos para cada faixa de vazão estabelecida e para cada posição do medidor ultrassônico, podemos considerar que a vazão média de uma determinada vazão Q_i segue a equação 1.

$$Q_{i,méd} = \frac{Q_{i,min} + Q_{i,máx}}{2} \quad (1)$$

Para as vazões médias de cada medidor e considerando-se o medidor eletromagnético como referência, determina-se o erro sistemático envolvido em cada medição através da equação 2.

$$B_i (\%) = \frac{Q_{i,med,ultra} - Q_{i,med,eletro}}{Q_{i,med,eletro}} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que B_i é erro sistemático da medição i (em %); $Q_{i,med,ultra}$ é a vazão média no medidor ultrassônico na medição i ; $Q_{i,med,eletro}$ é a vazão média no medidor eletromagnético na medição i .

Obteve-se, daí, os gráficos das figuras 3 e 4 que apresentam, respectivamente, os valores máximos, mínimos e médios do erro sistemático entre as distâncias para cada ponto de vazão e os valores máximos, mínimos e médios do erro sistemático entre as vazões para cada distância.

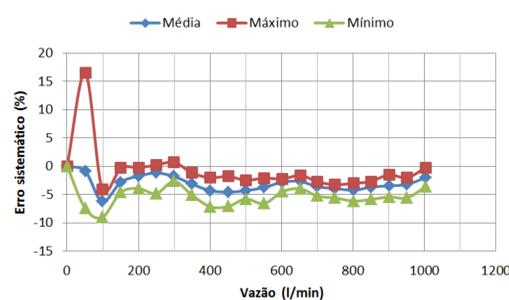


Figura 3: Erro sistemático entre as distâncias de acordo com a vazão.

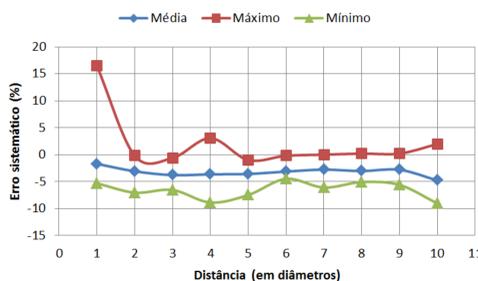


Figura 4: Erro sistemático entre as vazões de acordo com a distância.

Da figura 4, o erro sistemático independe tanto da distância até a válvula como da vazão, sendo assim obteve-se uma média, um desvio padrão da média, o número de algarismos significativos que serão usados e o fator de calibração que pode ser empregado no aparelho. Os valores encontrados estão descritos na tabela 1. Como foram obtidos em laboratório 400 pontos de vazão, pôde-se empregar um "t" de Student de 2,0 para calcular um desvio padrão com 95% de confiança.

Tabela 1: Valores finais do erro sistemático do medidor ultrassônico

Erro sistemático médio	$\bar{B} = -3,236\%$
Desvio padrão do erro sistemático médio	$s_B = \pm 0,159\%$
Desvio padrão do erro sistemático médio com aplicação do t de Student	$t_{95} * s_B = \pm 0,319\%$
Algarismos significativos	0,003
Valor final do erro sistemático médio	$\bar{B} = -3,236 \pm 0,319\%$
Fator de calibração	1,03344

Da tabela 1, o erro sistemático fica próximo do valor máximo da incerteza do próprio aparelho, que é de 5%. Sendo assim, pode-se usar o fator de calibração no medidor ultrassônico de forma a melhorar a precisão das medições. Com relação ao erro aleatório e comparando-se os valores mínimos, médios e máximos das vazões no medidor ultrassônico, elaborou-se o gráfico da figura 5, em relação a média dos valores, entre as distâncias para cada ponto de vazão, e na figura 6, em relação a média dos valores, entre as vazões para cada distância.

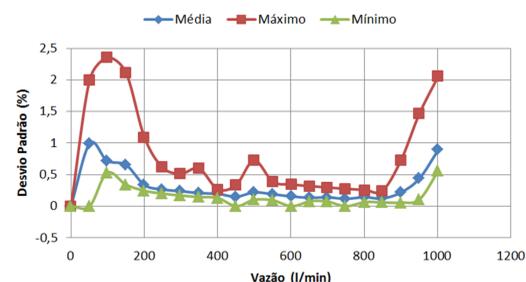


Figura 5: Erro aleatório entre as distâncias de acordo com a vazão.

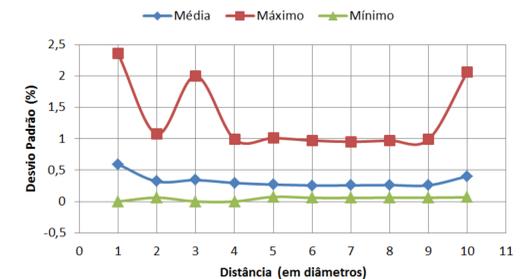


Figura 6: Erro aleatório entre as 20 vazões de medição de acordo com a distância.

Da figura 5, vê-se um maior desvio padrão para vazões pequenas, que pode ser explicado pelo fato que um dígito que variar representa uma grande parte do total. Já, o gráfico da figura 6 mostra que o erro aleatório independe da distância à singularidade em questão, ficando na média de 0,33%. Os pontos discrepantes ocorreram, possivelmente, devido a problema de fixação do aparelho. A pior situação de desvio padrão relativo foi para o caso da vazão em torno de 1000 L/min. Sendo assim, utilizando todos os dados coletados com essa vazão, tem-se um total de 27 valores e pôde-se aplicar um "t" de Student de 2,056. Os dados finais estão na tabela 2.

Tabela 2: Erro aleatório no medidor ultrassônico para a pior situação.

Desvio padrão relativo experimental (equação 11)	$s_{x_i} = \pm 1,3\%$
Valor final do erro aleatório após aplicação de t de Student	$t_{95} * s_{x_i} = \pm 2,6\%$
Algarismos significativos (equação 13)	0,2

Conhecendo-se os erros aleatório e sistemático do aparelho, pode-se encontrar a incerteza U que combina os erros aleatórios e sistemáticos a partir da equação 3, e caso o aparelho seja calibrado pelo fator de calibração encontrado (de modo a retirar o erro sistemático), deve-se usar a equação 4.

$$U = B \pm \sqrt{(t_{95} s_{x_i})^2 + \left(\frac{t_{95} s_{x_i}}{\sqrt{n}}\right)^2} = B \pm \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right) (t_{95} s_{x_i})^2} \quad (3)$$

$$U = \pm t_{95} s_{x_i} \quad (4)$$

Sendo assim, a incerteza total U ficou entre -5,855% e -0,617% do valor da medição. Para cada medição calibrada com o fator de calibração, a incerteza passa a ser entre -2,619% e 2,619% do valor da vazão para o caso crítico, que, contudo, está na faixa de incerteza do próprio aparelho ($\pm 2\%$ a 5% do valor da vazão).

Com o mesmo procedimento, foi obtido, para a faixa central do gráfico da figura 6 (vazões entre 300 e 850 L/min), uma incerteza entre -5,281% e -1,191% para o caso não calibrado e -2,045% e 2,045% para o caso calibrado.

Conclusões

Pode-se concluir com esse relatório que os aparelhos de medição de vazão possuem erros sistemáticos e erros aleatórios que alteram a incerteza total dos valores obtidos pelos mesmos. Para o caso do medidor de vazão ultrassônico, demonstrou-se que o erro sistemático do mesmo não varia com a distância à uma válvula e nem com a vazão. Demonstrou-se também que os erros aleatórios do medidor são constantes para uma determinada faixa de vazão e aumentam conforme a mesma aumenta (consequentemente, o erro aleatório mostrou-se dependente da velocidade do fluido) sendo em todo o caso independente da distância. Também, os aparelhos devem ser calibrados adequadamente e, no caso de instalações onde as medidas de comprimentos retilíneos estabelecidas por norma para um medidor ultrassônico, 10 diâmetros a montante e 5 diâmetros a jusante, não possam ser atendidas, é possível conseguir boa precisão, para as condições descritas neste relatório. Trabalhos futuros, considerando-se diferentes singularidades serão desenvolvidos.

Agradecimentos

Ao PIBIC por Bolsa de Iniciação Científica quota 2010/2011. Aos técnicos do Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos, José Luiz Trinchinato e Carlos Alberto Alcaide.

Ao Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho e a Prof. Dra. Yvone de Faria Lemos de Lucca pela oportunidade de trabalharmos juntos e por todo o apoio durante a pesquisa.