ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE O USO DE ESTRUTURAS DE BAIXO CUSTO PARA A MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS ABERTOS

Gabriel Lima Fava [1] ; Leandro Conceição Pinto [2]; João Francisco Carlexo Horn[2] &

Fabio Sebastian Oliveira França[3]

RESUMO – Atualmente, a medição de vazão em pequenos córregos ou canais são realizados com a utilização de estruturas hidráulicas de complexa montagem, como calhas parshall, vertedores que necessitam de um barramento da sessão ou com a utilização de equipamentos eletrônicos de custo elevado. Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo estudar a utilização de uma estrutura de baixo custo, feita de tubulações de PVC, para a medição de vazão em canais abertos. A medição do fluxo d'água com esta estrutura, se baseia no conceito de fluxo crítico, onde a estrutura impõe uma mudança de regime no escoamento, passando do estado subcrítico para supercrítico, permitindo, por meio de análise dimensional, a determinação de uma equação característica para o cálculo de vazão calibrada em laboratório. Por meio do método volumétrico realizou-se a calibração da estrutura, onde foram utilizados três diâmetros nominais: 100 mm, 200 mm e 300 mm e vazões entre 4 e 15 L/s. Os resultados obtidos foram satisfatórios para a estrutura de baixo custo montada em PVC.

ABSTRACT– The most used methods for measuring flow require complex structures, such as parshall flume, weirs that require a session of damming or using expensive electronic devices. Therefore, the present work aims to study the possibility of using a low-cost apparatus, made in PVC pipe, to measure flows in open channels. Such flow measurement consists in the use of the structure inside the channel which forces a change from subcritical to supercritical flow regime, allowing the calibration of a characteristic equation discharge. Using the volumetric method of measuring, the structure proposed was calibrated for three PVC pipe diameters: 100 mm, 200 mm and 300 mm and flow rates in a range of 4 to 15 L/s. Satisfactory results were obtained up to here for the low-cost structure proposed.

Palavras-Chave – Medição de vazão; Monitoramento; Baixo custo.

INTRODUÇÃO

No Brasil, desde 1997, com a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), pela Lei nº 9.433 [Brasil (1997)], o gerenciamento dos recursos hídricos avançou na direção do desenvolvimento sustentável. Com a PNRH, uma nova visão da água foi adotada, de forma que esta passou a ser considerada um recurso finito. Ademais, a lei prevê que os recursos hídricos são de domínio público e, com isso, cabe ao Poder público e a toda sociedade protegê-lo.

Ainda, a partir da PNRH, desenvolveu-se um dos pilares para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, que é o monitoramento contínuo dos cursos d'água presentes no Brasil, fazendo

[1]) Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS 97105-900, Brasil
[2]) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS 97105-900, Brasil, fone1: 55-991560707, email1: leandro.pinto@ufsm.br, fone2: 55-997088487, email2: jfchorn@gmail.com
[3]) Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS 97105-900, Brasil, fone: 51-984145399, email: fabio.sebastian@hotmail.com

um acompanhamento tanto quantitativo quanto qualitativo. Uma das principais medidas para avaliar quantitativamente os recursos hídricos é a vazão, a qual representa o volume d'água que está passando sobre a seção de um rio em um intervalo de tempo.

Nos dias de hoje, as formas mais empregadas para medição de vazão nos rios necessitam de uma estrutura mais complexa de montagem, como o uso de vertedores, que envolvem uma logística complicada de preparação e instalação dentro do curso d 'água. A vazão também pode ser medida por equipamentos específicos disponíveis no mercado, como os molinetes e os medidores de fluxo eletromagnético, contudo a dificuldade nesse caso é o elevado custo para aquisição desses instrumentos. Somando-se a isso, existe o fato de que o Brasil possui uma extensão muito grande de rios, fazendo com que o monitoramento dentro de uma bacia hidrográfica seja feito geralmente nos cursos d'água de maiores dimensões, o que pode resultar numa caracterização superficial das condições da água no ambiente como um todo.

Frente a essa dificuldade de estender a medição de vazão para todos os cursos d'água no país, existe a necessidade de produzir outras ferramentas e estruturas mais simples de medição. Com isso, estudos como os de Ghare e Badar (2014) e Samani (2017) propuseram a criação de estruturas impostas no interior de canais para a medição de vazão. Samani (2017) desenvolveu uma estrutura de baixo custo, feita com duas meias seções de uma tubulação de PVC, para a medição da vazão em um curso d'água natural. De acordo com Baptista e Lara (2014), a base para o cálculo de vazão vem do conceito de fluxo crítico, onde a troca do regime subcrítico para supercrítico no escoamento proporciona configurações para uma medição de vazão simplificada. No entanto, Samani (2017) aplicou seu experimento para vazões maiores que 100 L/s, o que torna factível propor a medição através de estruturas de baixo custo em fluxos d'água com menores vazões.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral analisar as possibilidades de uso de uma estrutura simples e de baixo custo para a medição de vazão em canais abertos de pequenos fluxos d'água. E como objetivos específicos:

i. Montar uma estrutura para medir vazão utilizando tubulações de Policloreto de Vinila (PVC) com 3 diâmetros nominais (DN) diferentes, analisando qual a melhor configuração de montagem.
ii. Calibrar uma equação para o cálculo da vazão em função da altura da lâmina d'água no instrumento proposto, utilizando como base os dados obtidos pelo método da medição volumétrica.

iii. Comparar as configurações e os dados de Samani (2017) com os encontrados na estrutura de PVC proposta neste trabalho.

iv. Verificar os custos para a construção da estrutura de PVC.

METODOLOGIA

Módulo de circulação de fluidos

Os testes deste trabalho foram realizados no setor de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica do Laboratório de Engenharia de Meio Ambiente – LEMA do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Utilizou-se para o experimento o módulo de circulação de fluidos existente no laboratório, conforme apresentado na Figura 1.

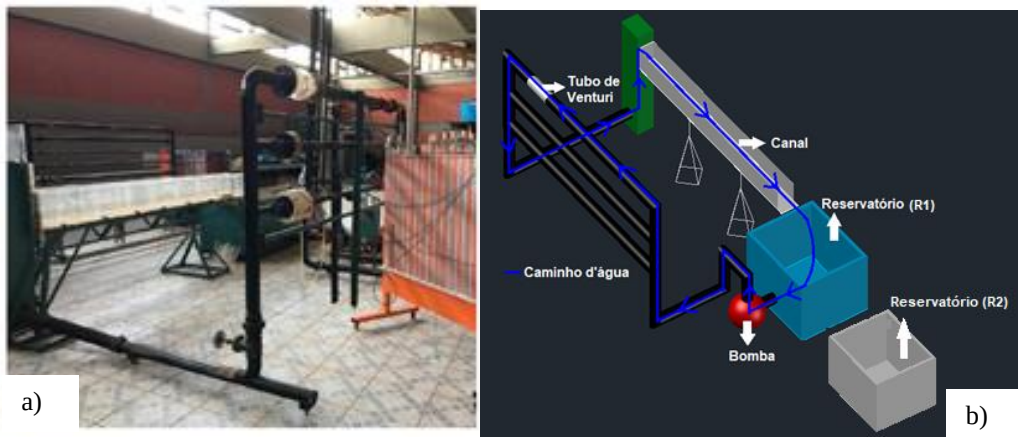

Figura 1. a) Módulo de circulação de fluidos b) desenho esquemático com as partes constituintes do sistema.

O equipamento (Figura 1) é composto por dois reservatórios, um conjunto motor-bomba hidráulico, um sistema de três condutores circulares e em paralelo e um canal prismático retangular de acrílico onde foi realizado o experimento. A Figura 1b mostra um desenho esquemático do sistema com sua direção do fluxo e partes constituintes.

O sistema funciona em circuito fechado onde o conjunto motor bomba com potência de 7,5 cv recalca a água do reservatório R1, com capacidade de 1000 L, para um conduto forçado de ferro com diâmetro de 77.93 mm, que possui um registro de gaveta para regulagem da vazão desejada. Após, a água flui pela tubulação e em sequência entra no canal de acrílico. Este canal possui seção transversal retangular de 25 cm de largura por 30 cm de altura e 3,15 m de comprimento total. Após passar pelo canal a água retorna para o reservatório R1 onde é bombeado novamente para o sistema.

O reservatório R2, com capacidade de 500 litros, é utilizado para a realização de medições volumétricas. O fluxo d'água é desviado do canal do módulo de circulação por um pequeno intervalo de tempo permitindo a medição da vazão. Após a tomada do volume a água é bombeada novamente para o Reservatório R1 (Figura 2).

Figura 2. Reservatório R2 para medição volumétrica de vazão com régua de medição de volume.

Montagem da estrutura de medição de vazão proposta

Samani (2017) propôs a geração de um fluxo crítico para a medição de vazão em canais retangulares, com o uso de duas partes iguais de tubos de diâmetros conhecidos, instalados um em cada lado do canal, como mostra a Figura 3a.

Para a condição apresentada, a vazão Q se torna função dependente da aceleração gravitacional g, da profundidade da lâmina de água H, medida a montante da estrutura, e da menor largura encontrada na seção de controle B_c. Aplicando a análise dimensional pode-se chegar a seguinte expressão para o cálculo da vazão:

$$Q = a\, g^{0,5} {B_c}^{2,5} \left(\frac{H}{B_c}\right)^b, \qquad (1)$$

onde Q é dada em L/s, g em dm/s^2, B_c e H em dm. Os parâmetros a e b serão calibrados a partir dos dados de vazão volumétrica. A NBR 13403 (1995) estabelece que a medição volumétrica é a forma mais recomendada para a tomada de vazão devido ao seu baixo custo, sua precisão e à simplicidade de operação.

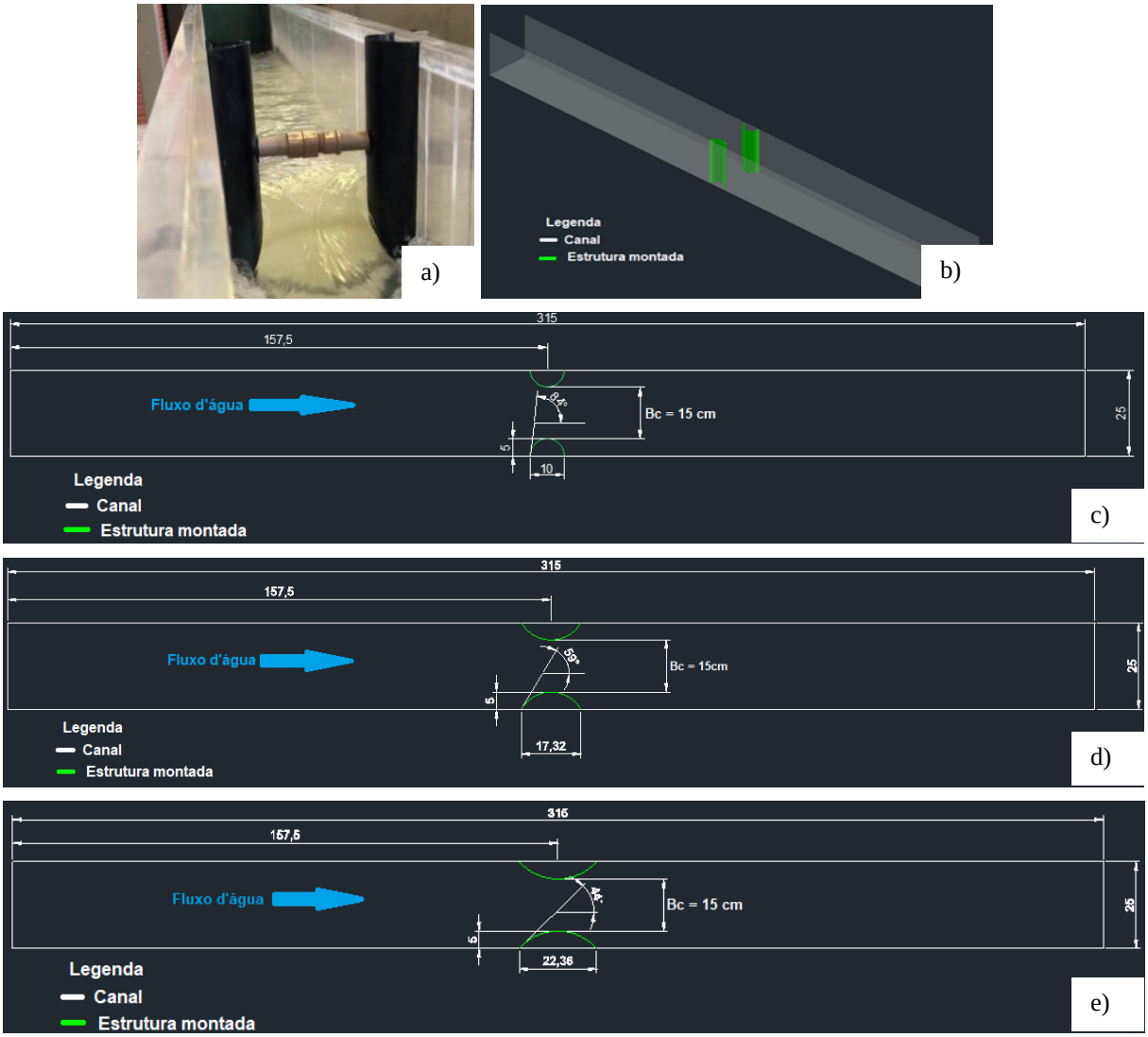

Figura 3. Estrutura de medição de baixo custo instalada no canal do módulo de circulação de fluidos. a) Esquema de montagem da estrutura no canal. b) Desenho em planta mostrando o ângulo de entrada ϕ para c) DN=100 mm, d) DN=200 mm e e) DN=300 mm.

Foram usados três diâmetros de tubos de PVC para a montagem da estrutura de medição proposta, sendo estes: 100 mm, 200 mm e 300 mm. Estes tubos foram cortados em diferentes setores de circunferência de forma que a largura da seção de controle ficasse com um valor constante de B_c=15 cm em todas as condições testadas. Portanto, como pode ser observado na Figura 3, a única variável geométrica resultante das condições impostas no experimento é o ângulo de entrada ϕ.

RESULTADOS

A partir da medição dos valores de $\frac{H}{B_c}$ e da vazão volumétrica, a equação (1) foi calibrada para cada diâmetro nominal estudado. A Tabela 1 apresenta os resultados da calibração dos coeficientes a e b para cada caso estudado.

Tabela 1 – Resultados da calibração dos parâmetros da equação (1) para os testes realizados e comparação com o resultado obtido por Samani (2017).

DN (mm)	***a***	***b***	R^2	**ϕ(°)**	Q**(L/s)**
100	0,7397	1,8316	0,995	84	4-15
200	0,7250	2,0071	0,997	59	4-15
300	0,6935	1,8082	0,994	44	4-15
Samani (2017)	0,701	1,59	-	84	107 - 326,5

Observa-se pelos valores do coeficiente de ajuste linear R^2 que a calibração se mostrou satisfatória para os três diâmetros testados (Tabela 1). Na comparação com os resultados de Samani (2017) nota-se ainda que os coeficientes apresentaram valores similares apesar das diferenças nas faixas de vazão e dimensões do canal testadas em cada caso. Na Figura 4 é apresentada uma comparação visual entre as curvas calibradas do presente trabalho e a correspondente de Samani (2017).

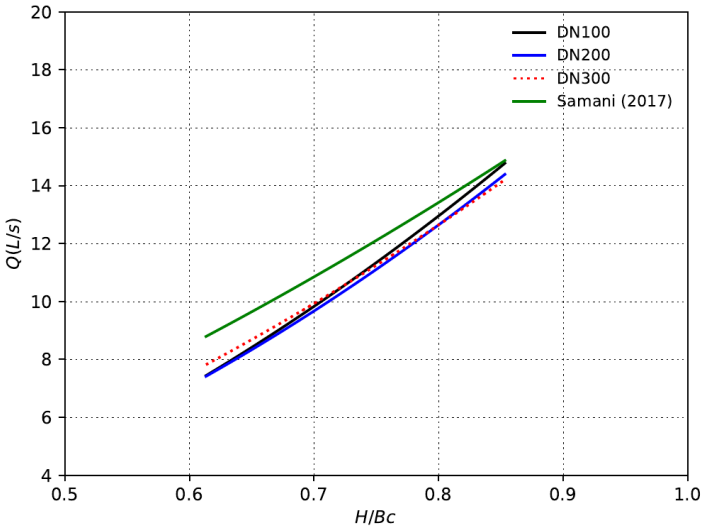

Figura 4. Curvas calibradas e comparação visual com Samani (2017).

CONCLUSÃO

Atualmente, existem vários tipos de equipamentos tradicionalmente usados para a medição de vazão, no entanto, estes possuem a limitação de seus altos custos para aquisição e/ou necessitam de uma logística mais complexa de instalação, com todo um dimensionamento específico. Dessa forma, o presente estudo propõe o uso de uma estrutura de baixo custo e simples instalação para a medição de vazão em canais abertos.

A medição de vazão com a estrutura de PVC, baseia-se no conceito de fluxo crítico para o cálculo da vazão, onde uma equação característica é calibrada em função dos dados da medição volumétrica. Para a montagem da estrutura, utilizou-se tubos de PVC com diâmetros nominais de 100, 200 e 300 mm, mantendo-se a mesma largura de passagem do fluxo de água, resultando na variação única dos ângulos de entrada do fluxo. Com a calibração de uma equação característica para o cálculo da vazão, verificou-se que a estrutura montada com o PVC apresentou resultados satisfatórios quando calibrada a equação em relação aos dados de vazão da medição volumétrica.

Os valores dos coeficientes calibrados para a equação característica de vazão foram próximos aos encontrados por Samani (2017), resultado importante levando-se em conta que este último autor desenvolveu o experimento para uma faixa de vazões maiores em comparação às utilizadas no presente trabalho. De maneira geral, entende-se que o dispositivo proposto pode ser efetivamente usado para uma ampla faixa de vazões. Este trabalho também buscou demonstrar a viabilidade econômica e prática do dispositivo testado em comparação aos equipamentos tradicionais, de elevado custo de aquisição, e consequentemente, inviável no uso em larga escala.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação desta estrutura em um curso d’água natural, onde comumente são encontradas outras variantes como mudanças na declividade e na largura do canal de escoamento, presença de vegetações, maiores concentrações de sólidos na água, entre outras condições. Além disso, assim como mencionado no trabalho de Samani (2017), seria importante a elaboração de uma equação uniforme que possa ser aplicada para todas as faixas de vazões.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M.; LARA, M. (2014) *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. Editora UFMG, 3ª edição. Belo Horizonte-MG, 473p.

BRASIL (1997) *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Brasília - BR.

GHARE, A.; BADAR, A. (2014) "*Experimental studies on the use of mobile cylinders for measurement of flow through rectangular channels"*. International Journal of Civil Engineering v. 12, n. 4, p. 504-512.

NBR 13403 (1995) *Medição de Vazão Em Efluentes Líquidos e Corpos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro-RJ 7p.

SAMANI, Z. (2017). "*Three Simple Flumes for Flow Measurement in Open Channels".* Journal of Irrigation and Drainage Engineering v. 143, n. 6, p. 04017010.