

COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DO FLUTUADOR E O MOLINETE HIDROMÉTRICO PARA ESTIMATIVA DE VAZÕES EM CONDUTOS LIVRES

Jheymsion de Sousa Sobrinho¹
Mateus de Leles Lima²
Fernando Ernesto Ucker^{2,3}
Felipe Corrêa Veloso dos Santos³
Cleveland Lemos Freire²
Fabrício Marçal Vieira e Silva⁴

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a produção e calibração de um molinete hidrométrico, e comparar os resultados obtidos com a técnica do flutuador, determinando a vazão e a velocidades média de escoamento do córrego Caveirinha, situado no município de Goiânia, Goiás. Quando comparados os resultados entre os métodos de medida de velocidades e a vazão no córrego Caveirinha, a diferença percentual da velocidade média entre os dois métodos usados foi menor que 5% em suas vazões. Portanto, o molinete produzido garante resultados confiáveis, contribuindo assim para uma melhor gestão dos recursos hídricos. Contudo, há uma grande necessidade de compará-lo com o molinete hidrométrico convencional devidamente calibrado estabelecendo uma relação direta nos resultados.

Palavras-chave: Hidrometria, molinete hidrométrico, método do flutuador.

COMPARISON BETWEEN THE FLOAT METHOD AND THE HYDROMETRIC SHEET FOR ESTIMATION OF FREE FLOW CONDUITS

ABSTRACT

The objective of this work was to produce and calibrate a windmill, and to compare the results obtained with the float technique, determining the flow rate and mean flow velocity of the Caveirinha stream, located in the city of Goiânia, Goiás. Results between the methods of measurement of velocities and the flow in Caveirinha stream, the percentage difference of the average speed between the two methods used was of 54.55% and of 51% in their flows. Therefore, the windlass produced guarantees reliable results, thus contributing to better management of water resources. However, there is a great need to compare it with the properly calibrated conventional hydrometric windlass establishing a direct relationship in the results.

Key words: Hydrometria, hydrometric windlass, float method.

Recebido em 22 de maio de 2019. Aprovado em 25 de agosto de 2019.

¹Graduado em Engenharia Ambiental - Faculdade Araguaia, Goiânia -GO.
mail: jheyck18@hotmail.com;

² Docente do curso de Engenharia Ambiental da Faculdade Araguaia, Goiânia -GO;

³ Docente da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia -GO;

⁴ EMATER-GO.

E-

INTRODUÇÃO

Hidrometria é um componente da hidrologia que proporciona inteirar-se do regime hídrico e conseqüentemente das disponibilidades hídricas de uma região. A utilização de procedimentos matemáticos na hidrometria viabiliza referências para a medição de vazões, dos níveis de água disponíveis em lagos, rios e represas, índices pluviométricos, e demais fatores que interessam ao conhecimento da água na natureza (SILVA, 1995). Esses elementos sistematizados são dados importantes para criação de projetos, conhecimento e gestão dos recursos hídricos.

Segundo Costa et al., (2007) o entendimento das condições hídricas de uma pequena bacia é um instrumento fundamental na gestão dos recursos hídricos frente à perspectiva real de degradação das águas e a premência crescente de novas fontes geradores de abastecimento. A precisão em determinar as vazões em condutos livres é importante para a quantificação e o gerenciamento qualitativo e quantitativo dos mananciais, para uso racional dos recursos hídricos disponíveis no meio ambiente (VIEIRA, 2011).

Existem vários equipamentos e técnicas para estimativa de vazões em cursos d'água, e dentre eles estão o método do flutuador, molinete hidrométrico, método eletromagnético, método acústico dentre outros. Alguns destes métodos são designados para trabalhos em mananciais de grande porte e outros para mananciais de pequeno e porte. A preferência entre as formas de medir as vazões está inúmeras vezes ligada a falta de aparelhagem adequada e a disponibilidade necessária para a coleta de dados (BONIFÁCIO E FREIRE, 2013).

O método do flutuador constitui-se em definir a velocidade de locomoção de um instrumento flutuante, medindo o tempo essencial para que este se desloque em uma distância de rio de extensão conhecida, é muito empregado por sua compreensibilidade e na carência de mecanismos sofisticados, que apresentam custos exorbitantes, ele apresenta bom desempenho (RIOS, 2009). Como a técnica do flutuador é muito aplicada, são frequentes as comparações de vazões e velocidades adquiridas com técnicas mais precisas, o problema enfrentado é a falta de precisão ou relação obtida pela técnica do flutuador quando confrontados com os resultados obtidos por outros métodos (PALHARES et al., 2007).

Outro método para estimativa do fluxo em canais é o do molinete hidrométrico, considerado como método convencional utilizado universalmente para determinação das vazões em mananciais artificiais e naturais, com a finalidade em definir a velocidade média do escoamento que passa por uma determinada seção (COELHO, 2012). Atualmente existem duas espécies de molinetes: os de eixo vertical, conhecido como diferencial (de concha) e os de eixo horizontal (hélices) que são os mais utilizados no Brasil (BACK, 2006). Este último dispõe de uma hélice conectada a um eixo que gira no sentido oposto ao do escoamento, enviando sinais elétricos para um contador de rotação.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a produção e a calibração do molinete hidrométrico comparando-o com resultados obtidos através da técnica do flutuador.

MATERIAL E MÉTODOS

As medições foram realizadas no córrego Caveirinha, cujas coordenadas são 16°37'57.98"S 49°17'00.42"O, o curso d'água localiza-se próximo à ponte que está situada na Avenida Eurico Viana no município de Goiânia, Goiás como mostra a Figura 1.

Neste local foi selecionado um ponto estratégico que apresentou homogeneidade da seção transversal, profundidade acessível para à medição com os métodos analisados, boa visibilidade e ausência de obstáculos que pudessem atrapalhar a captação dos dados, sendo estimadas as vazões pelo método do flutuador e o molinete hidrométrico caseiro.

Figura 1 – Vista aérea do ponto de captação dos dados, Córrego Caveirinha em Goiânia-GO.



Fonte: Google Earth, (2016).

O molinete caseiro (Figura 2) foi confeccionado utilizando um velocímetro *bike ciclo computador digital* da marca Bogger modelo YT-813 acoplado a um bastão de pau de *selfie* e uma hélice de plástico com diâmetro de 207 milímetros com um ímã conectado no interior da base, totalizando o custo de R\$ 134,24.

Figura 2 - Molinete hidrométrico caseiro.



A calibração do molinete foi realizada no Laboratório de Hidráulica da Faculdade Araguaia, onde foi utilizado um canal de escoamento hidráulico de forma retangular (Figura 3) modelo STT 507, cuja vazão foi calculada, através da equação 1, com a

utilização de um vertedor retangular com duas contrações laterais e a velocidade estimada através de equação número 2.

Figura 3 – Canal de escoamento hidráulico, modelo STT 507, do Laboratório de Hidráulica da Faculdade Araguáia unidade Bueno.



$$Q = 1,838 \cdot (L - 0,2 \cdot h) \cdot h^{3/2} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Q = V \cdot A \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde,

Q = vazão média (m³/s);

L = largura da soleira (m);

h = altura da lâmina d'água que passa sobre a soleira (m);

V = velocidade média (m/s);

A = área (m²).

Para realizar a estimativa das vazões do córrego Caveirinha utilizou-se da relação da velocidade e área de uma seção pré-definida à campo.

Para a averiguação da vazão com molinete hidrométrico caseiro foi traçada uma área da seção transversal e determinada a velocidade do fluxo d'água nesta seção. Mediu-se a largura e a profundidade em diversos pontos do canal, originando várias verticais ao longo desta, obtendo-se a área transversal. Em cada vertical medida com o uso do molinete hidrométrico caseiro, obtém-se velocidades em determinados pontos de profundidades. O número e a posição dos pontos ao longo das verticais foram estabelecidos conforme a Tabelas 1 e 2 indicadas por Santos et al. (2001), que através do método analítico a velocidade média de cada vertical pode ser determinada.

Tabela 1 - Número e posição de pontos de medição na vertical recomendados de acordo com a profundidade do rio.

Profundidade (m)	Número de pontos	Posição dos pontos
0,15 a 0,60	1	0,6 p
0,60 a 1,20	2	0,2 e 0,8 p
1,20 a 2,00	3	0,2; 0,6 e 0,8 p
2,00 a 4,00	4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p
> 4,00	6	S*; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F*

* S: superfície; F: fundo.

Fonte: SANTOS et al., 2001.

Tabela 2 - Distância recomendada entre verticais, conforme a largura do rio.

Largura do rio (m)	Distância entre as verticais (m)
< 3	0,3
3 a 6	0,5
6 a 15	1,0
15 a 30	2,0
30 a 50	3,0
50 a 80	4,0
80 a 150	6,0
150 a 250	8,0
>250	12,0

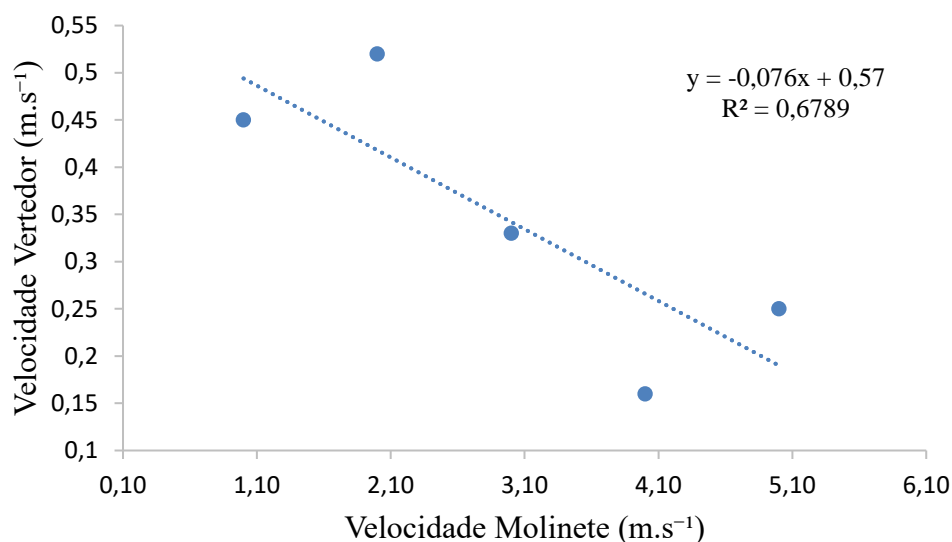
Fonte: SANTOS et al., 2001.

Para a avaliação da vazão pelo método do flutuador foram definidas duas seções distantes, seção 1 e 2, sendo a área definida pela média das áreas da seção transversal a jusante e outra a montante. Para velocidade empregou-se um objeto flutuante, uma laranja em virtude de não sofrer interferência dos ventos, seguindo na mesma velocidade do córrego. Assim foi determinando o tempo gasto para que a mesma percorra a distância entre seção a montante e a jusante. Sendo realizada uma série de 12 repetições, pois quanto maior o número de repetições menor será o erro, sendo excluídos os valores máximo e mínimo para a estimativa da velocidade média.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As velocidades coletadas pelo molinete foram ajustadas por meio de um modelo matemático definido pela relação entre a velocidade calculada do vertedor e a velocidade adquirida pelo molinete hidrométrico (Gráfico 1) no Canal de Escoamento Hidráulico do Laboratório de Hidráulica da Faculdade Araguaia.

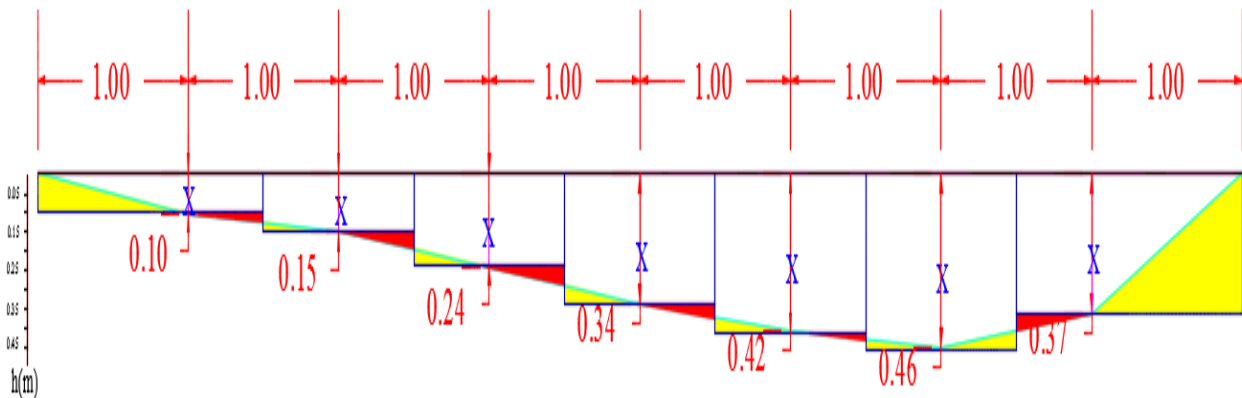
Gráfico 1 – Modelo matemático entre a velocidade calculada através do vertedor e adquirida pelo molinete hidrométrico.



Para as averiguações da área e velocidade à campo definiu-se uma pista de 8,5 m de comprimento em um trecho retilíneo e homogêneo, onde foram coletadas informações

de profundidade nas duas seções para verificação da área. Em uma das seções, com 8 m de largura do córrego, coletaram-se as velocidades, equidistantes de 1 m (Tabela 2), através do equipamento molinete hidrométrico. As velocidades foram realizadas a 60% da profundidade em cada ponto coletado (Figura 4), sendo realizada uma aferição para cada vertical conforme a Tabela 1.

Figura 4 – Perfil batimétrico e verticais do Córrego Caveirinha, indicando a leitura do molinete a 60% da profundidade média.



A velocidade média do córrego Caveirinha foi de $0,44 \text{ m s}^{-1}$ com o uso do molinete e a área da seção de $2,32 \text{ m}^2$ estes dados foram obtidos através do método da seção média, que consiste no cálculo das vazões (Tabela 3) parciais por meio da multiplicação da velocidade média na vertical pelo produto da profundidade média da vertical e pela soma das semidistâncias às verticais adjacente.

Tabela 3 – Dados de velocidades, vazão e área do córrego dividido em 7 verticais.

Seção	b (m)	h (m)	A (m ²)	V (m s ⁻¹)	Q (m ³ s ⁻¹)
1	1,50	0,10	0,16	0,54	0,08
2	1,00	0,15	0,15	0,41	0,06
3	1,00	0,24	0,24	0,44	0,11
4	1,00	0,34	0,34	0,41	0,14
5	1,00	0,42	0,42	0,40	0,17
6	1,00	0,46	0,46	0,42	0,19
7	1,50	0,37	0,56	0,46	0,26

$$Q = 1,01$$

$$A = 2,32$$

$$V = 0,44$$

A velocidade em cada vertical (Tabela 4) foi corrigida conforme a equação apresentada no gráfico 1. Com a soma das vazões obtidas em cada vertical, obteve-se o resultado da vazão média do córrego Caveirinha de 1,01 m³ s⁻¹.

Tabela 4 – Relação de velocidade medida e velocidade reajustada ao longo de cada vertical.

Vertical	Velocidade Medida (m s ⁻¹)	Velocidade Ajustada (m s ⁻¹)
1	0,33	0,54
2	2,06	0,41
3	1,67	0,44
4	2,06	0,41
5	2,19	0,40
6	1,94	0,42
7	1,68	0,46

De acordo com a metodologia apresentada para estimativa da velocidade média do curso d'água através do método do flutuador, obtiveram-se os respectivos tempos do mesmo, sendo excluído o valor máximo e mínimo a fim de minimizar os erros de incerteza. O tempo médio do flutuador foi de 34,038 s, sendo a pista de 8,5 m a velocidade obtida no córrego Caveirinha por este método foi de 0,20 m s⁻¹.

Após ser calculado as variáveis necessárias, sendo a área média (2,52 m²) da seção a montante e a jusante e a velocidade média de escoamento para estimar a vazão através do método do flutuador, obteve-se então a vazão de 0.50 m³ s⁻¹. De acordo com Palhares et al., (2007) para condutos livres naturais que possuem fundo arenoso usa-se de um coeficiente de ajuste da vazão de 0,8.

Em termos de resultados quando comparados entre os métodos de medida de velocidades e a vazão no córrego Caveirinha (Tabela 5), observou-se que o valor da velocidade média entre os dois métodos usados foi de 54,55% e de 51% em suas vazões.

A diferença de velocidade está bem próxima dos resultados encontrados por Almeida et al., (2010) ao comparar a velocidade média dos córregos Ipê e Taboa, estabelecendo uma relação entre a velocidade média aferida pelo método do flutuador e a obtida pelo molinete, diferença de 53,85% e 50% respectivamente.

Quanto a diferença na estimativa da vazão entre os métodos utilizados está próxima dos resultados obtidos por Alves et al., (2011) que encontrou 63% de diferença entre o método do molinete e o método do flutuador ao estimar a vazão média do Rio Santana.

Quando analisada a diferença entre as vazões calculadas entre os métodos, observamos uma diferença de 510 litros a cada segundo.

Tabela 5 – caracterização do córrego Caveirinha, velocidade (m s⁻¹) e vazão (m³ s⁻¹) para o trecho analisado.

Métodos	Velocidade Média (m s ⁻¹)	Vazão Média (m ³ s ⁻¹)
Flutuador	0,20	0,50
Molinete	0,44	1,01

CONCLUSÃO

Quando comparados os resultados entre os métodos de medida de velocidades e a vazão no córrego Caveirinha, a diferença percentual da velocidade média entre os dois métodos usados foi de 54,55% e de 51% em suas vazões. Os resultados mostram que a velocidade média de escoamento e vazão média aferida pelo molinete confeccionado são maiores quando comparado com o método do flutuador. Portanto, o molinete produzido garante resultados confiáveis, contribuindo assim para uma melhor gestão dos recursos hídricos. Contudo, há uma grande necessidade de compará-lo com o molinete hidrométrico convencional devidamente calibrado estabelecendo uma relação direta nos resultados.

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. M.; REIS, J. F.; DE SOUZA, W. L. C.; FILHO, S.O. **Medição da Vazão na Usina Hidrelétrica de Roncador**, p. 72-92, 2011.
- ALMEIDA, J.C.D.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M.; ZACOLER, J.L. **Medição de velocidade e vazão em cursos d'água: molinete hidrométrico versus método do flutuador**, p. 4-6, 2010.
- BACK, Álvaro Jose. **Hidráulica e hidrometria aplicada (comprograma Hidrom para cálculo)**. Epagri, 2006, 11p.
- BONIFÁCIO, C. M.; FREIRE, R. **Comparação de três métodos para a medição da vazão e velocidade aplicados em dois cursos d'água da bacia do ribeirão Maringá**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 2, 2013.
- COELHO, Bruno Zanoni. **Avaliação de técnicas e métodos de hidrometria na Estação Fluviométrica São Ludgero**, SC, 2012, 85p.
- COSTA, F.M.; BACELLAR, L.A.P.; SILVA, E.F. **Vertedores portáteis em microbacias de drenagem**. p. 213-217, 2007.
- GOOGLE. Google Earth. Version 7.1.5. 2016. Córrego Caveirinha, Goiânia- GO. Disponível em: < <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 10 de Novembro de 2016.
- PALHARES, J.C.P.; RAMOS, C.; KLEIN, J.B.; DE LIMA, J.M.M.; MULLER, S.; CESTONARO, T. **Medição da vazão em rios pelo método do flutuador**. Comunicado Técnico, 2007, 4p.
- RIOS, F. P.; FORMIGA, K.T.M.; ALVES, P.L.; DE OLIVEIRA, V. T. Estudo comparativo entre métodos de medição de vazão em cursos d'água. **XIX simpósio brasileiro de recursos hídricos**, p. 1-12, 2009.
- SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC, 2001, 372p.
- SILVA, A. M. **Princípios básicos de hidrologia**. Departamento de Engenharia. UFLA. Lavras-MG, 1995.
- VIEIRA, Allan Sarmento; CAMPINA GRANDE. DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS, cap. 6, p. 90-91, 2011.