

# **DESEMPENHO DE MÉTODOS EMPÍRICOS PARA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO EM CANAL RETANGULAR, USANDO DIFERENTES TIPOS DE VERTEDORES<sup>1</sup>**

**AMARAL, A. M.<sup>2</sup>; SOUZA, J. A. A.<sup>3</sup>; SOUZA, J. A.<sup>4</sup>**

**RESUMO:** Este trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica do IFNMG - Campus Januária, com objetivo de avaliar o desempenho de diferentes métodos para determinação da vazão em canal. Foi utilizado um canal retangular, quatro tipos de vertedores e diferentes equações para cada vertedor. As equações usadas foram: retangular (Francis, Bazin, SSEA), triangular (Thompson), circular (equação proposta por Netto et al., 2002) e trapezoidal (Cipolletti). Para cada equação, foram testadas quatro vazões, correspondentes aberturas da válvula de abastecimento do canal iguais a 25, 50, 75 e 100% da abertura total. Em cada abertura foram mensuradas as vazões pelo método volumétrico direto e para cada equação, com cinco repetições para cada vertedor e equação usados. Foi realizado o teste T, a 5% de probabilidade e análise por regressão linear para todas as vazões encontradas. Concluiu-se que não houve diferenças estatísticas significativas para as equações de Bazin e Netto em abertura igual a 25%; Francis e SSEA para abertura igual a 75%; e todos os tratamentos diferiram significativamente para as aberturas iguais a 50 e 100%. O método de Thompson superestimou a vazão em comparação a todos os demais métodos em estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** determinação de vazão, vertedores, hidráulica.

## **PERFORMANCE OF EMPIRIC METHODS TO DETERMINATE THE DISCHARGE AT RECTANGULAR CANAL, USING DIFERRENT SPILLWAYS**

**SUMMARY:** This work was made at Hidraulic's Laboratory of the IFNMG – January Campus, in order to evaluate the performance of different methods to determinate the discharge in canal. A rectangular canal, with four different spillways, was used. The equations used were: Francis, Bazin and SSEA for rectangular spillway; Thompson for triangular spillway; Equation proposed by Netto et al., 2002, for circular spillway; and Cipolletti, for

---

<sup>1</sup>Extraído do Trabalho de Conclusão de Curso do terceiro autor.

<sup>2</sup>Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais (IFNMG), Campus Januária. Faz. São Geraldo, S/N, Caixa Postal 97, CEP 39.480-000. Januária, MG. Fone: (038) 9190-8553. E-mail: [carinnae@gmail.com](mailto:carinnae@gmail.com).

<sup>3</sup>Professor Doutor, IFNMG, Campus Januária.

<sup>4</sup>Tecnóloga em Irrigação e Drenagem, IFNMG, Campus Januária.

trapezoidal spillway. Four discharges, corresponding to opening of valves equal to 25, 50, 75 and 100% of the total opening, were tested to each equation. The discharge corresponding to each valve opening was determinate by direct volumetric method and by each equation, with five repetitions. The “T” test, with 5% of probability, and linear regression analyses were used to compare the results obtained. The conclusions were: It has not significant statistical difference between Bazin and Netto equations for valve opening equal to 25%; between Francis and SSEA equations for valve opening equal to 75%; every equations presented significant statistical difference for 50 and 100% valve opening; and the Thompson method overestimated the discharge when compared with every other methods studied.

**KEYWORDS:** discharge determination, spillway, hydraulic.

## INTRODUÇÃO

A construção das estruturas de reservação, as barragens, pressupõe o controle de cursos d’água. Estes, por sua própria natureza, apresentam variações significativas das vazões, tornando necessário, em diversas situações, permitirem a passagem das águas excedentes para jusante. Assim, são instalados vertedores, que são as estruturas hidráulicas destinadas a efetuar a descarga das águas excedentes dos reservatórios, sem ocasionar danos à barragem ou às outras estruturas hidráulicas adjacentes. (BAPTISTA et al., 2003).

Os vertedores podem ser classificados de diversas formas: quanto à natureza da parede, quanto à forma geométrica da abertura, quanto à geometria da crista, quanto à largura relativa da soleira, quanto à altura relativa da soleira, quanto à natureza da lâmina de água e quanto à inclinação do parâmetro da estrutura com a vertical. (SOUZA, 1999 *apud* TIAGO FILHO et al. 2004).

Os vertedores são também utilizados para controlar o fluxo à entrada de canais, para efetuar o controle de nível em obras hidráulicas e diversas outras situações práticas da engenharia hidráulica. BERNARDO et al. (2005), afirmam que o tipo e o tamanho do vertedor selecionados devem ser os que melhor se adaptarem às condições onde ele será instalado, podendo ser de formato retangular, triangular, trapezoidal ou circular.

Para cada tipo de vertedor, encontra-se grande número de equações propostas para a determinação da vazão (NETTO et al., 1998). Na prática, observa-se a ocorrência de variações entre os resultados obtidos nas medições de vazões utilizando-se diferentes tipos de vertedores e equações propostas. A descrição dos processos de medição de vazões visa

também demonstrar as incertezas envolvidas nas medições e nos cálculos, alertando o usuário do dado sobre as incertezas que ele deve incorporar a seus estudos (PORTO et al.; 2003).

Diante do exposto o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de 04 (quatro) tipos de vertedores, analisados em função da utilização de diferentes equações para cada vertedor operando com abertura da válvula de abastecimento de água do canal iguais a 25, 50, 75 e 100% quando comparados ao método volumétrico direto (MV).

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica e Manejo de Irrigação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais (IFNMG), Campus Januária, MG. Foram utilizados quatro vertedores de chapa metálica, nos formatos retangular (duas contrações), triangular, trapezoidal e circular, um canal retangular com 11 m de comprimento, 0,385 m de largura e 0,34 m de altura.

Para cada método de determinação da vazão, foram utilizadas quatro aberturas da válvula que abastece o canal, correspondentes a 25, 50, 75 e 100% da abertura total. A determinação das vazões pelo MV foi realizada através de um reservatório de 500 L, no qual o volume foi acompanhado através de uma mangueira vertical transparente e graduada, localizada na parte inferior do reservatório. O tempo de enchimento do reservatório foi contabilizado até o volume de água atingir os 500 L.

Para a determinação das vazões nos vertedores, foram utilizadas as equações de Francis (Equação 1), da Sociedade Suíça de Engenheiro e Arquitetos – SSEA (Equação 2), e de Bazin (Equação 3) para o vertedor retangular; a equação para correção do número de contrações em vertedores retangulares, proposta por NETTO et al., 1998 (equação 4), a de Thompson (equação 5), para o vertedor triangular; a de Netto (equação 6), para o vertedor circular; e a de Cipolletti, proposta por BERNARDO et al. (2005) (equação 7), para o vertedor trapezoidal.

$$Q = 1,838 L H^{3/2} \quad (1)$$

$$Q = \left( 1,816 + \frac{1,816}{1000H + 1,6} \right) \left[ 1 + 0,5 \left( \frac{H}{H + P} \right)^2 \right] L H^{3/2} \quad (2)$$

$$Q = \frac{\left(0,405 + \frac{0,003}{H}\right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{H}{H+P}\right)^2\right] LH \sqrt{2gH}}{m} \quad (3)$$

$$L' = L - 0,2 H \quad (4)$$

$$Q = 1,4 H^{\frac{5}{2}} \quad (5)$$

$$Q = 1,518 D^{0,672} H^{1,857} \quad (6)$$

$$Q = 1,86 LH^{3/2} \quad (7)$$

em que,

Q – vazão, em L s<sup>-1</sup>;

H - carga do vertedor, em m;

P - altura da soleira, em m;

m - fator de forma, adimensional;

g - aceleração da gravidade, em m s<sup>-2</sup>

L' - largura da soleira corrigida, em m;

L - largura da soleira, em m; e

D - diâmetro do vertedor, em m.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

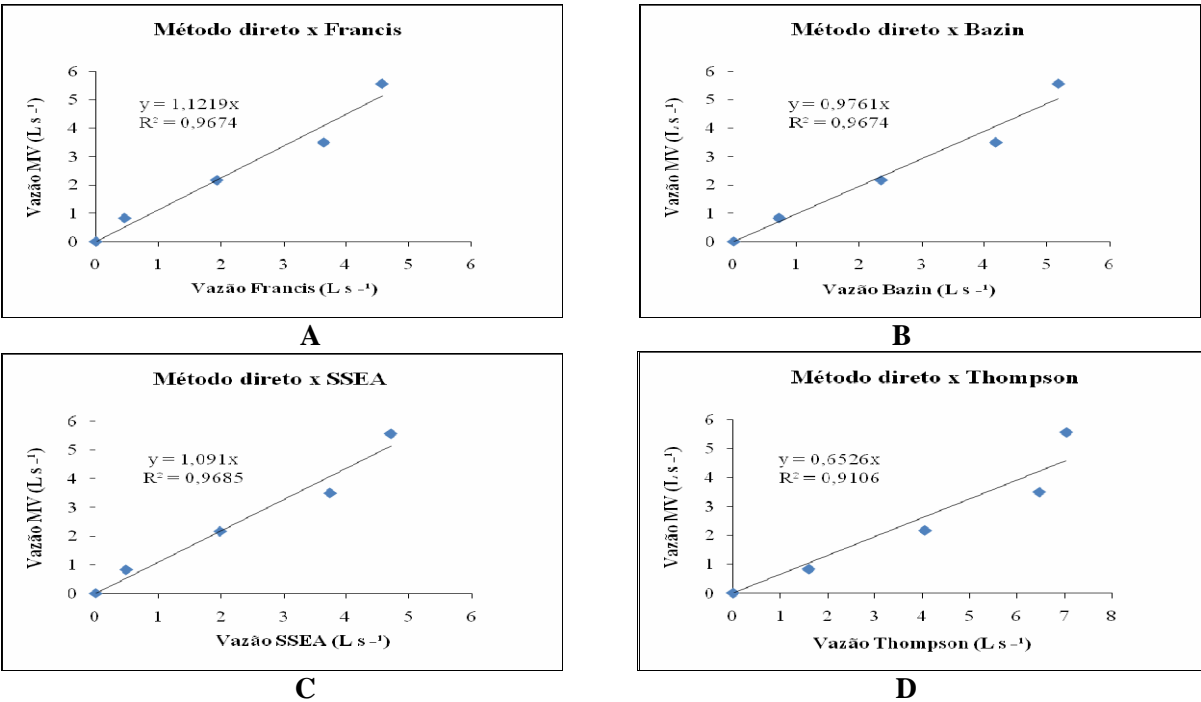
Na Tabela 1 apresenta-se a análise estatística pelo teste T, a 5% de probabilidade. Na abertura igual a 25%, não houve diferença significativa para as equações de Bazin e Netto e as médias do MV. As equações de Thompson e Cipolletti superestimaram as vazões, quando comparadas com o MV, enquanto as de Francis e SSEA subestimaram e foram estatisticamente iguais entre si. Para a abertura igual a 50%, todas as médias dos tratamentos diferiram significativamente das médias do MV e as de Francis, SSEA e Netto foram estatisticamente iguais entre si. Na abertura igual a 75%, as médias das equações de Francis e SSEA foram estatisticamente iguais às do MV, enquanto as demais superestimaram as do MV.

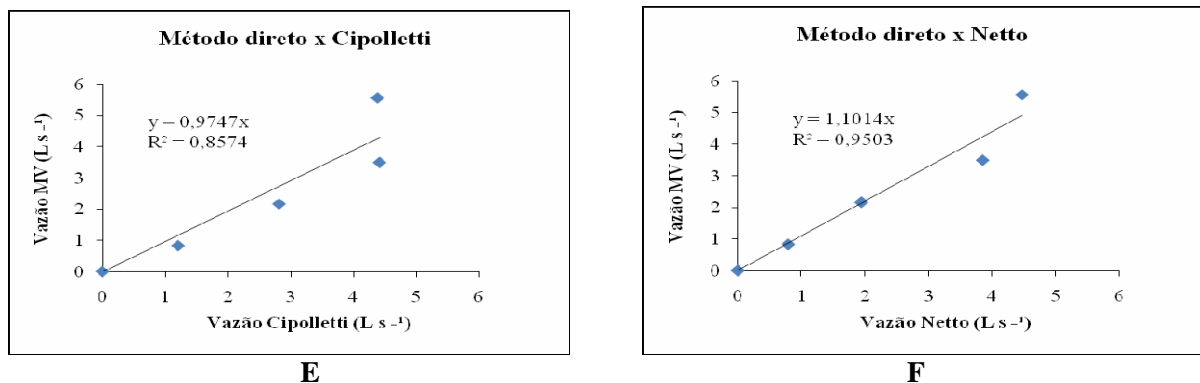
abertura de 100%, todas as médias foram estatisticamente diferentes das do MV; e as equações de Francis, SSEA, Cipolletti e Netto foram estatisticamente iguais entre si.

**Tabela 1** – Análise estatística das médias dos tratamentos utilizando teste T a 5% de probabilidade

Equação	Abertura %							
	25		50		75		100	
	Média	Análise	Média	Análise	Média	Análise	Média	Análise
MV	0,8132	c	2,1564	d	3,537	e	5,5332	b
Francis	0,4564	d	1,9312	e	3,5792	e	4,5694	d
SSEA	0,4848	d	1,984	e	3,6756	e	4,7044	d
Bazin	0,7236	c	2,3516	c	4,164	c	5,1746	c
Thompson	1,5818	a	4,0412	a	6,4918	a	6,9304	a
Cipolletti	1,2066	b	2,8172	b	4,4188	b	4,5434	d
Netto	0,791	c	1,942	e	3,8502	d	4,6128	d

Na Figura 1, mostram-se as regressões lineares para os métodos, comparados ao MV





**Figura 1-** Equações de regressão linear para as vazões obtidas pelas equações de Francis (A), Bazin (B), SSEA (C), Thompson (D), Cipolletti (E) e Netto (F), em comparação ao Método Volumétrico direto e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Na Figura 1, pode-se perceber que todas as equações apresentaram bons ajustes ( $R^2$  acima de 0,85 para todas as equações). O método de Thompson superestimou em cerca de 85% as vazões do MV, enquanto os demais métodos apresentaram variações entre 5 a 20% para mais ou para menos, em relação ao MV.

## CONCLUSÕES

O método de Thompson superestimou a vazão em comparação a todos os demais métodos em estudo. Os métodos de Francis e SSEA subestimaram o MV nas aberturas de 25%, 50% e 100% e foram estatisticamente iguais ao MV na abertura de 75%. O método de Bazin foi o que mais se aproximou do MV, com superestimação de 2,4% e bom ajuste ( $R^2$  igual a 0,98).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. Belo Horizonte: UFMG, 2002. 435p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7 ed. Viçosa: UFV, 2005. 611p.

TIAGO FILHO, G. L.; FERREIRA, A. C. **Análise Operacional de uma Comporta Fusível**. In: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos/060d64a311c68500d8e767cbc3cc338d.pdf>>. Acessado em: 14/03/2008

NETTO, A. et al. **Manual de hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 1998. 670p.

PORTO, R. L. L.; ZAHED FILHO, K.; SILVA, R. M. **Medição de vazão e curva chave**. São Paulo, 2003. 48p. In:< [http://143.107.96.240/phd/LeArq.aspx?id\\_arq=130](http://143.107.96.240/phd/LeArq.aspx?id_arq=130) > Acessado em: 18/08/2008.

AZEVEDO, L. F. A. **Introdução à medição de vazão**. Notas de aula. In: <[http://leblon.mec.puc-rio.br/~metexp/Teoria/MEC\\_1602\\_Medida\\_de\\_Vazao.pdf](http://leblon.mec.puc-rio.br/~metexp/Teoria/MEC_1602_Medida_de_Vazao.pdf)> Acessado em: 18/08/2008.

IDE, C. N.; OLIVEIRA, K. R. F.; BEZERRA, L. P. **Sistema de esgotamento sanitário – Coleta de amostras de água e esgoto**: Guia do profissional em treinamento. In: < <http://www.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/NURECO/arq/CAEA/CAEA2.pdf> > Acessado em: 14/03/2008.