

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DESCARGA PARA VERTEDORES: ESTUDO EM LABORATÓRIO

Data de submissão: 06/02/2024

Data de aceite: 01/04/2024

Larissa Ayumi Namie

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana, Departamento de Engenharia Civil. Apucarana – Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/5053711813302027>

Pedro Henrique Donato Aporta,

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana, Departamento de Engenharia Civil. Apucarana – Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/0283243900801099>

Andrea Sartori Jabur

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana, Departamento de Engenharia Química. Apucarana – Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/0460678668447420>

hidráulico reduzido. Para o levantamento de dados fez-se necessário realizar medições em laboratório de Transferência de Calor e Massa/Hidráulica, da UTFPR – Campus Apucarana-PR, com vertedores de forma retangular e triangular de parede delgada, onde apresentam uma espessura mais fina em relação ao seu comprimento, colocados perpendicularmente ao fluxo do escoamento. Formando assim, uma elevação do nível d'água a montante até o fluido desaguar sobre os vertedores. Diante disso, foram realizadas medições no canal hidráulica, encontrando uma sutil diferença entre o valor encontrado na prática com existente na literatura. Comprovando-se as formulações de Thomson e Francis, para o vertedor triangular e retangular, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: coeficiente de descarga; hidráulica; vertedor.

RESUMO: vertedores são paredes ou aberturas, onde um fluido escoar sobre as mesmas e são utilizados intensamente para medir e/ou controlar a vazão em escoamento de um canal hidráulico, como as barragens. O presente trabalho teve como objetivo comparar quais são os coeficientes de descarga encontrados literatura teórica com os medidos na prática, em um canal

DETERMINATION OF THE DISCHARGE COEFFICIENT FOR SPILLWAYS: LABORATORY STUDY

ABSTRACT: Spillways are walls or openings, where a fluid flows over them and are used intensively to measure and/or control the flow in flow of a hydraulic channel, such as dams. The present study aimed to compare what are the discharge coefficients found in the theoretical literature with those measured in practice, in a reduced hydraulic channel. For data collection it was necessary to perform measurements in the laboratory of Heat Transfer and Mass/Hydraulics, from UTFPR- Campus Apucarana-PR, with spillways of rectangular and triangular shape of thin wall, where they present a thinner thickness in relation to their length, placed perpendicular to the flow of the flow. Thus forming an elevation of the water level upstream until the fluid flows over the spillways. Therefore, seis measurements were made in the hydrodynamic channel, finding a subtle difference between the value found in practice and existing in the literature. Proving the formulations of Thomson and Francis, for the triangular and rectangular spillway, respectively.

KEYWORDS: discharge coefficient; hydraulics; Spillway.

INTRODUÇÃO

Vertedores são estruturas hidráulicas utilizadas para controlar a vazão de condutos livres. São importantes em obras como barragens, pois permitem que haja um controle do nível de água no reservatório à montante, e realize a retirada das vazões máximas, em conjunto com o canal extravasor (DANTAS e SILVA, 2016).

De acordo com Azevedo Netto (2015), o estudo de vertedores é de grande importância devido ao uso intenso na medição de vazão de pequenos cursos de água e condutos livres (figura 1), utilizados em estações de tratamento de água (ETAs), assim como no controle de escoamento em galerias e canais. Esse vertedores auxiliam no processo de hidrometria, para canais livres e alguns modelos são indicados para pequenas vazões, pois segundo a NBR 13403/95 os vertedores triangulares oferecem maior precisão para vazões menores que 30 L/s (Lima et al., 2015)



Figura 1: vertedor sem contração instalado em um canal retangular, com função paisagística.

Fonte: Autores 2023.

Conforme a figura 2, as principais partes que compõe um vertedor de acordo com Porto (2006) são:

- Crista ou soleira é a parte superior da parede, onde a lâmina de água verte.
- Carga sobre a soleira h é a diferença de cota entre o nível de água a montante e o nível da soleira.
- Altura do vertedor P é a diferença entre a soleira e o fundo do canal.
- Largura ou luz da soleira L é a dimensão da soleira onde há presença de escoamento.

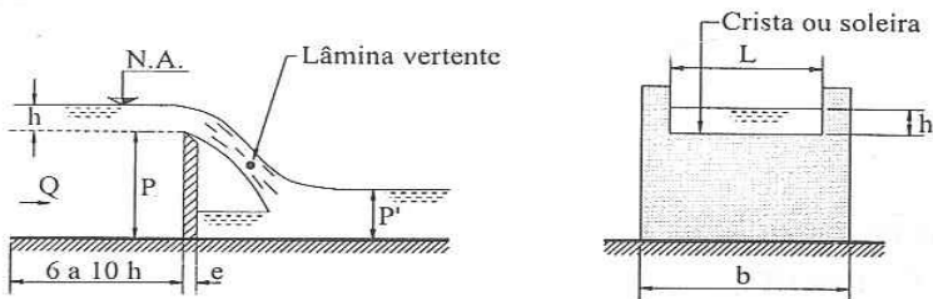


Figura 2 - Vistas lateral e longitudinal de um vertedor de parede delgada.

Fonte: Porto (2006)

Os vertedores podem apresentar diversas formas e disposições, assumindo assim, diferentes comportamentos, existindo então muitos fatores que servem como parâmetro para classificá-los, sendo eles listados a seguir, segundo Azevedo Netto (2015).

Forma geométrica, podendo ser simples (retangulares, trapezoidais, triangulares) ou compostos (seções combinadas).

Altura relativa da soleira, onde são classificados como vertedores completos/livres ($P > P'$) ou vertedores incompletos/afogados ($P < P'$).

Natureza da parede, sendo de parede delgada, quando apresenta a espessura e da parede bem mais fina e um comprimento mais elevado em comparação ao vertedor tipo parede espessa ($e > 0,66h$).

Largura relativa, onde podem ser sem contrações laterais ($L = b$) ou vertedores contraídos ($L < b$), com uma ou duas contrações.

Segundo Tomaz (2013), os principais tipos de vertedores utilizados em pequenas barragens, são vertedores fixos, como os de parede delgada (Figura 3). Podendo assim, separar basicamente a vazão máxima (m^3/s) e o coeficiente de descarga.

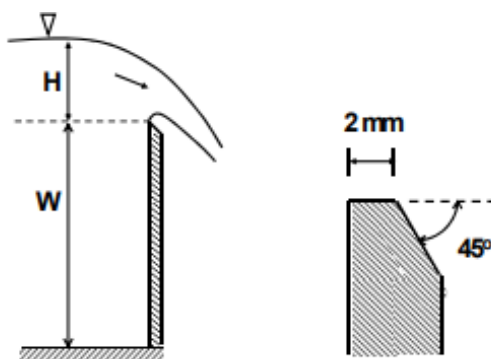


Figura 3 – Vertedor de parede delgada

Fonte: Tomaz (2013)

Sendo:

- $H \geq 100\text{mm}$ e $W \geq 2H_{max}$, para inibir os efeitos de escala devido à viscosidade e tensão superficial
- Com a crista em formato de faca, com 2mm na horizontal e um chanfro de 45° a jusante

As equações de dimensionamento de vertedores são diferenciadas, conforme a tipologias escolhida. Porém as equações apresentam o coeficiente de descarga, que tem a função de “calibrar” as equações, onde é considerando os efeitos da contração da veia líquida, a rugosidade do material, a diferentes velocidades na veia líquida entre outros, de modo a obter a vazão real e não teórica, para a hidrometria.

Conforme a teoria apresentada em Azevedo Netto (2015), Batispta e Lara (2018), Porto (2006), o coeficiente de descarga teórico é de 0,61 a 0,62, porém ocorrem variações dos valores, devido a diversos fatores como os formatos dos vertedores, a altura da soleira e o nível de água.

O presente trabalho tem como objetivo determinar os coeficientes de descargas de vertedores simples em laboratório, e avaliar os valores obtidos com os valores teóricos, adotados nos dimensionamentos das estruturas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no laboratório de Hidráulica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana, e visa analisar as correlações entre a carga hidráulica a montante e a respectiva vazão sobre um vertedor de parede delgada, com contrações, na geometria retangular e triangular, como mostra a Figura 4, assim como as dimensões apresentadas em metros. Analisando, assim, os coeficientes de descarga com experimentos práticos em modelos reduzidos para comparar com os modelos presentes na literatura técnica.

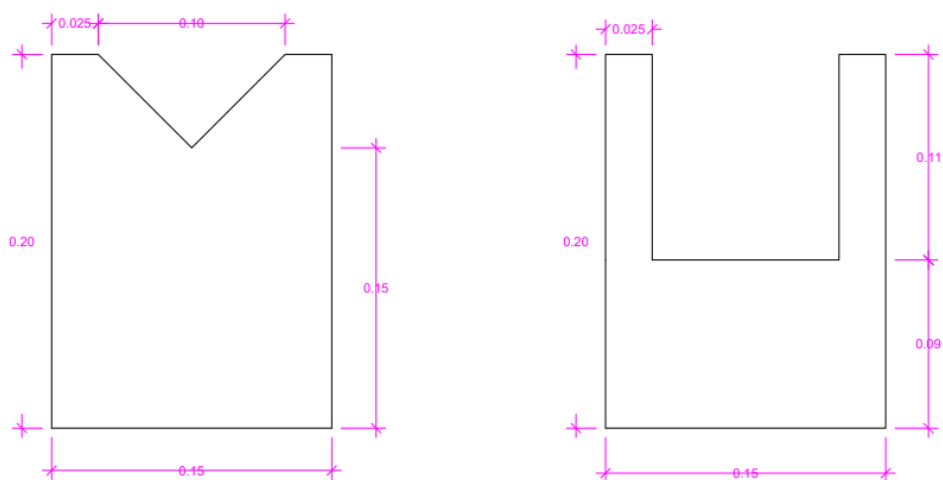


Figura 4 – Vertedor triangular e retangular

Fonte: Autores 2024.

No entanto, ao realizar o experimento, observou-se que o vertedor triangular utilizado funciona como afogado, pois a água verte sobre ele, onde não há presença de contrações laterais, atuando assim, como um vertedor misto triangular com vertedor retangular sem contração.

Para a realização deste experimento foi utilizado um canal hidráulico, composto de um conjunto motor-bomba, de 0,5 cv, onde fornece água de um reservatório (300 L) para o canal aberto com paredes em acrílico transparente (Figura 5). Deste modo, o sistema possibilita, a instalação dos respectivos vertedores, feitos do mesmo material.



Figura 5 – Canal hidráulico

Fonte: Autores (2023)

Para a determinação do coeficiente de descarga foram utilizadas Eq. (1) e (2), derivadas das formulações de Francis e Thomson para o cálculo de vazão de vertedores retangulares com 2 contrações (Eq. 1) e vertedores triangulares (Eq. 2), respectivamente (Baptista, Lara, 2016; Almeida et. al, 2016). No entanto, essas são equações simplificadoras, onde desprezam diversas hipóteses como efeito da viscosidade, tensão superficial, rugosidade da parede do vertedor entre outras. Assim, para não negligenciar as mesmas, introduz-se o coeficiente de descarga “ C_d ”.

$$C_d = \frac{3 * Q}{2 * \sqrt{2g} * (L - 0,2H) * H^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

$$C_d = \frac{15 * Q}{8 * \sqrt{2g} * tg\left(\frac{\theta}{2}\right) * H^{\frac{5}{2}}} \quad (2)$$

Sendo:

- C_d – Coeficiente de descarga
 Q – Vazão (m^3/s)
 g – Gravidade (m/s^2)
 L – Comprimento da soleira (m)
 H – Altura da lâmina d'água (m)
 θ – Ângulo de 90°

Para a leitura dos níveis de água a montante dos vertedores, utilizou-se a distância de 10 vezes a altura h , sendo h a altura da lâmina d'água na entrada dos vertedores. A medida foi obtida com uma régua graduada em centímetros. Para os dados iniciais, manteve-se a inclinação mínima de 0,05%, de modo a manter o escoamento uniforme, mantendo a linha piezométrica paralela ao fundo do canal. A vazão do equipamento manteve-se constante, e foi determinada pelo método do flutuador (esferas de polietileno) calibrados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No laboratório, foram feitas seis medidas com cada tipo de vertedor, calculando assim a vazão e em seguida o coeficiente de descarga. A vazão manteve-se a média de 1,778L/s. Os resultados entre os valores não ocorreram diferenças, pois a vazão manteve-se constante durante todo o experimento. Foi observado uma diferença pouco significativa em relação a altura a montante dos vertedores, inferior a 0,01 cm em todo o experimento. O quadro 1 apresenta os valores dos cálculos para os modelos de vertedores, todos de paredes delgada.

Vertedor com duas contrações			
H (m)	L (m)	Q_1 (m^3/s)	C_d (experimental)
0,053	0,09	0,001780655	0,6215
0,05	0,09	0,001643957	0,67318
0,054	0,09	0,001826675	0,60584
0,053	0,09	0,001780655	0,67318
0,052	0,09	0,001734857	0,6379
0,052	0,09	0,001734857	0,67318
Média			0,64746
Vertedor Triangular			
0,062	-----	0,001340	0,786329019
0,061	-----	0,001287	0,818952927
0,061	-----	0,001287	0,818952927
0,061	-----	0,001287	0,818952927
0,061	-----	0,001287	0,818952927
0,061	-----	0,001287	0,818952927
Média			0,813515609

Q1: vazão obtida pelos vertedores, considerando o C_d teórico das equações

Quadro 1: valores obtidos durante os experimentos

Em decorrência dos cálculos realizados, é evidente a presença de uma discrepância mínima entre o valor do coeficiente teórico e o valor do coeficiente de cálculo, resultando, na prática, em valores virtualmente idênticos tanto para os parâmetros teóricos quanto para aqueles derivados dos cálculos encontrados (Quadro 2).

Vertedor com duas contrações		
Cd Teórico	Cd experimental	%
0,62243	0,64746	2,25
Vertedor triangular		
Cd Teórico	Cd experimental	%
0,593	0,8135	22,05

Quadro 2 – Comparação dos coeficientes.

Percebe-se que para o vertedor triangular, o coeficiente obtido ficou com valor 22,05% maior que o valor teórico. Este valor superior foi ocasionado devido o vertedor não funcionar como um vertedor triangular, e sim como um vertedor composto, pois a altura da lâmina de água fica entre 1,4 e 1,8 cm acima do vertedor, o qual funciona como afogado.

Foram refeitos os cálculos considerando o vertedor composto, com triangular e retangular sem contrações. Para o cálculo do vertedor sem contração utilizou-se a equação (3) (Vianna; Rosa, 2012):

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

Deste modo a vazão ficou com uma média de 1,447 L/s ou 0,001447 m³/s. Para avaliar as condições do vertedor triangular, optou para a pesquisa futura, a confecção de um vertedor em impressora 3D, para que não ocorresse o afogamento da estrutura, considerando uma melhor qualidade de resultados experimentais.

CONCLUSÃO

Os vertedores desempenham uma função de primordial importância na regulação e quantificação do fluxo hídrico em canais fluviais e reservatórios. A compreensão aprofundada do funcionamento destes dispositivos é de suma importância para a dimensionamento adequado de estruturas hidráulicas, a mitigação de eventos de inundação e a otimização da captação de água para uma ampla gama de usos.

No presente estudo, os resultados obtidos revelaram que os coeficientes identificados no estudo, em relação ao vertedor retangular com duas contrações, e parede delgada apresentaram valores dos coeficientes teóricos, com diferença de apenas 2%.

Porém em relação ao vertedor triangular não apresentou resultados próximos ao teórico, com um acréscimo de mais de 20%. Essa diferença pode ter sido ocasionada pelo “afogamento” do vertedor, o que representa que esse não foi dimensionado para a vazão do equipamento.

A segunda etapa da pesquisa, é a determinação dos coeficientes com inclinações variadas, uma vez que a linha piezométrica não irá coincidir com a linha de fundo do canal, podendo gerar valores diferentes, considerando o escoamento uniforme variado. Foram dimensionados para o canal de hidráulica mais três vertedores, com os modelos: circular, retangular sem contrações e um triangular, que foram construídos em impressoras 3D, o qual serão avaliados na continuação da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. U. de; ANGELO, R. M. B.; DANTAS, S. C.; Silva, D. F. da. **Determinação da Vazão em diferentes tipos de vertedores**. Ciências exatas e tecnológicas, Maceió. V. 3, n.3, p. 97-106. Novembro 2016.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de hidráulica**. 9 ed. São Paulo-SP. Editora Edgard Blücher. 2015.

BAPTISTA, Márcio; LARA, Márcia. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2018.

DANTAS, J. B.; SILVA, D. F. Vertedores e sua relevância nas usinas hidrelétricas. **Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 3, n. 3, p. 241-250, Novembro, 2016. Disponível em <<https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/3623/2054>>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4 ed. São Carlos-SP. Editora Rima. 2006

ROSSI B. L., LIMA K. R., HERMANN K., CATHARINA K. R. S. Técnica de medição de vazão por vertedor triangular de parede delgada, instalado na UFMT. E&S - Engineering and Science 2015, 1:3

TOMAZ, Plínio. Vertedores de pequena barragem. **Curso de manejo de águas pluviais**, Cap.146, 2013.

VIANNA, M. R.; ROSA, D.W. B. **Utilização de vertedouros em estações de tratamento de água: Aplicações práticas e limitações**. XV SILUBESA, 2012. ABES. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267213428>. Acesso em Março de 2023.