

APARATO PARA AULAS PRÁTICAS DE ORIFÍCIOS E BOCAIS

Júlia Fernandes Artur^{1}; Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira²; Alberto Varotto Rinco Dutra³;
Herivelto da Silva Teixeira⁴, Mariana Oliveira Teixeira⁵ & Jackson de Oliveira Pereira⁶*

Resumo – As aulas práticas de uma disciplina, como Hidráulica, por exemplo, são ferramentas de suporte que transmitem o conteúdo de uma forma mais didática, facilitando o aprendizado do aluno. Visando melhorar este aspecto, desenvolveu-se um aparato que simula um reservatório contendo orifícios e bocais. Através do aparato foi possível obter coeficientes de descarga, velocidade do jato e tempo de esvaziamento, utilizando-se orifícios livres e afogados e bocal, sendo essas estruturas muito utilizadas em tomadas d'água em sistemas de abastecimentos, projetos de irrigação e drenagem, estações de tratamento de água e de esgotos, entre outras aplicações. A partir dos experimentos realizados pôde-se verificar a eficiência do aparato, encontrando valores para os coeficientes próximos aos da literatura.

Palavras-Chave – Orifícios; Bocais; Aulas práticas.

APPARATUS FOR PRACTICAL CLASS OF HOLE AND NOZZLE

Abstract – The practical classes of a discipline, such as Hydraulics, for example, are support tools that transmit the content in a more didactic way, facilitating student learning. In order to improve this aspect, an apparatus has been developed that simulates a reservoir containing holes and nozzles. Through the apparatus it was possible to obtain discharge coefficients, jet velocity and emptying time using free and drowned holes and nozzles, these structures being widely used in water supply systems, irrigation and drainage projects, water treatment and sewage treatment, among other applications. From the experiments performed it was possible to verify the efficiency of the apparatus, finding values for the coefficients close to those in the literature.

Keywords – Hole; Nozzle; Practical class.

^{1*}Afiliação: Universidade Federal de São João del Rei, juliaf.artur@gmail.com.

²Afiliação: Universidade Federal de São João del Rei, emmanuel.teixeira@ufsj.edu.br.

³Afiliação: Universidade Federal de São João del Rei, albertovarotto20@gmail.com.

⁴Afiliação: Universidade Federal de São João del Rei, hrvt.teixeira@gmail.com.

⁵Afiliação: Universidade Federal de São João del Rei, mariana.oliveira.teixeira.43@gmail.com.

⁶Afiliação: Universidade Federal de São João del Rei, jackson@ufsj.edu.br.

INTRODUÇÃO

O ensino tradicional considera o conhecimento como um conjunto de informações transmitidas pelos professores aos alunos. Este método envolve o desenvolvimento de formas de pensar, de estruturas mentais e para isso, não basta que o professor transmita ao estudante apenas uma grande quantidade de informações, mas também uma visão prática do assunto abordado. O professor é quem determina a metodologia, conteúdo, avaliação e forma de interação na aula. Com o passar do tempo, percebeu-se a necessidade de assimilar o conhecimento através de uma ligação entre a teoria e prática.

As aulas práticas podem construir uma nova visão sobre um tema já abordado em sala de aula, gerando discussões a respeito de fenômenos que acontecem à sua volta durante as aulas e fazendo com que os alunos, além de exporem suas ideias, aprendam a respeitar as opiniões de seus colegas. Conforme Lima e Garcia (2011), o ponto fundamental das atividades experimentais é tornar o aluno o sujeito da sua aprendizagem, ou seja, torná-lo um sujeito ativo nesse processo, ao contrário do que ocorre nas aulas expositivas tradicionais, onde apenas o professor fala e o aluno é um ser passivo.

A Hidráulica é uma área passível de se implementar aulas práticas, pois nela constantemente se recorre as atividades experimentais, como, por exemplo, para determinação do coeficiente de descarga de estruturas hidráulicas, como orifícios e bocais, tanto que na literatura encontram-se alguns trabalhos que recorreram as atividades experimentais para calibração do coeficiente de descarga.

Castro *et al.* (2016), visando determinar o coeficiente de descarga de orifícios presentes nas bandejas de floculadores hidráulicos do tipo de bandejas perfuradas superpostas, os quais costumam ser usados em estações de tratamento de água que tratam baixas vazões, ensaiaram em laboratório orifícios afogados, com diâmetro variando de 8,0 a 18,0 mm, funcionando em escoamentos com número de Reynolds inferior a 16000. Os resultados obtidos pelos autores ficaram distantes do valor de 0,61 normalmente preconizado na literatura, o que corroborou com o trabalho de Vianna *et al.* (2015). Drumond, Coelho e Moura (2014) estudaram experimentalmente valores de coeficientes de descargas utilizados na equação geral dos orifícios para dimensionar as tubulações de descarga de microrreservatórios de drenagem. No laboratório foi construído um microrreservatório com tubos de descargas colocados juntos ao seu fundo, os quais possuíam diâmetros variados de 20,0 a 75,0 mm. Os resultados apresentaram coeficiente de descarga variando entre 0,88 e 0,96, ou seja, maiores que o valor de 0,61 utilizados em projetos de drenagem.

O curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ) no *Campus* Alto Paraopeba (CAP), por ser um curso novo, possui um déficit de aulas práticas na disciplina de Hidráulica, sendo essa uma área importante na formação do engenheiro. Por isso, percebendo-se a importância desse conteúdo, a carência de aulas práticas no curso e a possibilidade de realizações de pesquisas no estudo de orifícios e bocais em reservatórios, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um aparato para ser utilizado nas aulas práticas na disciplina de Hidráulica do curso de Engenharia Civil, bem como propiciar o desenvolvimento de pesquisas na área de orifícios e bocais. O aparato permitirá abordar temas como: (i) determinação do coeficiente de descarga de um bocal e de um orifício circular livre, de pequenas dimensões, em parede delgada e com contração completa; (ii) tempo de esvaziamento de reservatório; (iii) velocidade real do jato e do coeficiente de velocidade de um orifício circular livre, de pequenas dimensões, em parede delgada e com contração completa; (iv) coeficiente de descarga para orifício circular afogado, de pequenas dimensões, em parede delgada e com contração completa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Desenvolvimento do aparato

Foi desenvolvido um aparato de modo a realizar o máximo de práticas possíveis referentes ao conteúdo teórico da disciplina de Hidráulica, mais especificamente, orifícios e bocais, levando em consideração o reaproveitamento da água utilizada nos experimentos.

Para a elaboração do aparato, utilizou-se vidro de 5,0 mm de espessura para a construção dos reservatórios, sendo o reservatório R_1 de aproximadamente 28,0 L e o reservatório R_2 de 12,0 L. Os reservatórios possuem dois orifícios e um bocal, sendo que o orifício livre (O_1) e o bocal (B) possui diâmetro igual a 9,00 mm e o orifício afogado (O_2) é de 8,0 mm diâmetro. As dimensões do aparato e a localização dos orifícios e bocal estão representadas na Figura 1. O aparato será abastecido por uma bomba, que tem sua vazão controlada através de um rotâmetro. Também foram utilizadas tubulações de PVC, flanges de caixa d'água, joelhos e luvas de correr para a montagem de dois extravasores, os quais são responsáveis por controlar o nível de água nos reservatórios.

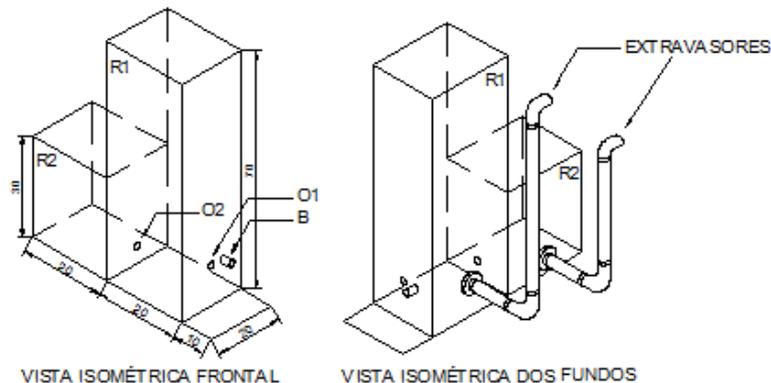


Figura 1 – Esquema representativo do aparato construído (as dimensões estão em centímetro): vista frontal e dos fundos

O bocal (B) utilizado consiste de um tubo de alumínio de 9,0 mm de diâmetro externo. A fim de garantir o mesmo diâmetro para o orifício livre, optou-se por colocar um anel no orifício, sendo ele proveniente do mesmo tubo utilizado para o bocal. Esta condição deveria ser atendida para que os resultados obtidos nos dois dispositivos pudessem ser comparados. O bocal, o anel do orifício e as placas de vidro dos reservatórios foram fixados com silicone.

Por fim, foram instalados os extravasores, sendo que a luva de correr garante a mobilidade deles, permitindo sua rotação, através da qual obtêm diferentes níveis d'água.

Determinação do coeficiente de descarga de um bocal e de um orifício circular livre

Mantido o reservatório R_1 com nível d'água constante, determinou-se o coeficiente de descarga (C_d) do orifício O_1 , o qual é livre, pequeno, parede delgada e contrações completa. Também se determinou o C_d do bocal cilíndrico B de descarga livre.

Num primeiro momento, apenas O_1 estava em funcionamento, estando B com um tampão. Depois, inverteu-se a situação, assim B operava, enquanto O_1 estava tampado. Nos dois casos, utilizando-se o método direto gravimétrico, mediu-se a vazão descarregada pela estrutura hidráulica que estava operante. Também se mediu a carga hidráulica (h) observada no reservatório R_1 , sendo ela o desnível entre a superfície d'água de R_1 e o centro do orifício ou do bocal, dependendo do caso. Esse procedimento foi repetido cinco vezes para cada estrutura de descarga.

De posse dessas informações e conhecendo-se as áreas (A) do orifício e do bocal, obteve-se os C_{ds} para as estruturas de descarga através da lei dos orifícios (Equação 1), a qual é utilizada para cálculo da vazão em orifícios e bocais livres (AZEVEDO NETTO, 1998).

$$Q = C_d A \sqrt{2gh} \quad (1)$$

Determinação do tempo de esvaziamento do reservatório

Estando o reservatório R_1 cheio com certo volume de água, determinou-se o tempo do seu esvaziamento parcial. Primeiramente R_1 foi esvaziado utilizando-se O_1 , mantendo-se B fechado. Depois, com a finalidade de comparar o tempo de esvaziamento para ambos os dispositivos, o reservatório foi esvaziado utilizando-se B , mantendo-se O_1 fechado.

No instante $t = 0$, mediu-se a carga hidráulica (h_0) inicial da água e, após certo tempo estipulado, mediu-se a carga hidráulica (h_1) final. Utilizando o C_d calculado pela Equação 1 no experimento anterior, calculou-se o tempo de esvaziamento parcial ($t_{calculado}$) de R_1 utilizando-se a Equação 2 (PORTO, 2006), e o comparou com tempo cronometrado. A área (S) de R_1 é $400,0 \text{ cm}^2$.

$$t_{calculado} = \frac{2S}{C_d A \sqrt{2g}} (\sqrt{h_0} - \sqrt{h_1}) \quad (2)$$

O procedimento foi repetido cinco vezes para o orifício e cinco para o bocal, sendo h_0 e h_1 os mesmos em todas as repetições.

Determinação da velocidade real do jato e do coeficiente de velocidade de um orifício livre

Para determinação da velocidade real (v) do jato que atravessa O_1 e o coeficiente de velocidade (C_v) desse jato, o reservatório R_1 foi cheio de água até certa carga hidráulica (h), a qual foi mantida constante e medida. Nesse experimento, manteve-se B fechado.

Com o objetivo de se obter as coordenadas (x, y) da trajetória do jato, foi fixado em R_1 , na parede na qual está O_1 , um transferidor e uma corda com pontos de referência (Figura 2). Os valores de x e y podem ser determinados a partir do ângulo obtido no transferidor e do comprimento da corda, aplicando-se relações trigonométricas.

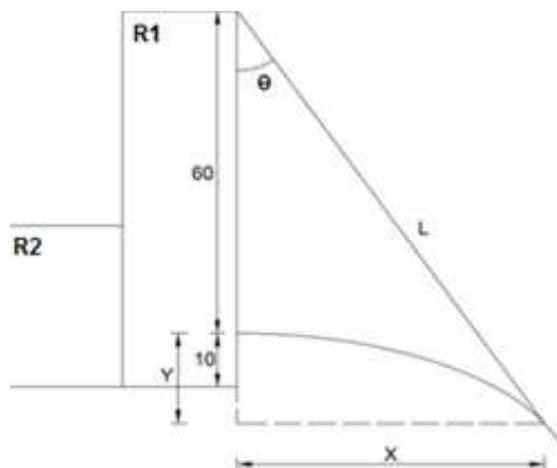


Figura 2 – Esquema representativo para cálculo das coordenadas (x, y)

Utilizando-se as equações da trajetória do jato, as quais são da cinemática da Física, obtêm-se as Equações 3 e 4, nas quais são obtidos, respectivamente, o valor de v e de C_v do jato.

$$v = x \left(\frac{g}{2y} \right)^{1/2} \quad (3)$$

$$C_v = \frac{x}{2} \left(\frac{1}{hy} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Determinação do coeficiente de descarga do orifício circular afogado

Primeiramente, os reservatórios R_1 e R_2 foram cheios e mantidos com níveis d'água constantes utilizando-se os dois extravasores. A água vinda da bomba alimenta R_1 , sendo que parte da vazão de entrada sai pelo extravasor localizado nesse reservatório e o restante vai para R_2 a partir do orifício O_2 , o qual é afogado, circular de 8,0 mm, parede delgada e contração completa.

Em R_2 também há um extravasor, de forma que, como o regime de escoamento é permanente e uniforme, toda a vazão que entra em R_2 sai pelo extravasor. Assim, a vazão (Q) que entra R_2 foi medida pelo método direto gravimétrico no extravasor. Mediu-se também a carga hidráulica (h_1) da água em R_1 e a carga (h_2) em R_2 . Conhecendo-se a área (A) do orifício O_2 , obteve-se o coeficiente de descarga pela Equação 5.

$$Q = C_d A \sqrt{2g(h_0 - h_1)} \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Desenvolvimento do aparato

A Figura 3 apresenta o aparato elaborado que será utilizado na realização de aulas práticas e em pesquisas relacionadas a teoria de orifícios e bocais.

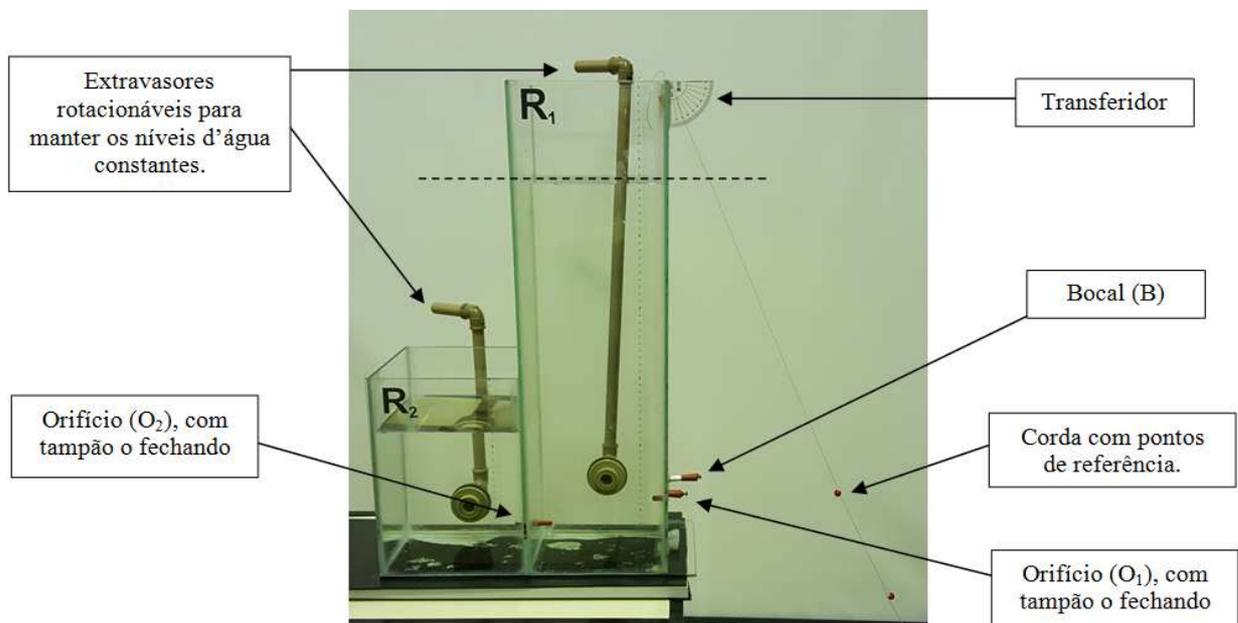


Figura 3 – Aparato desenvolvido para realização de experimentos de orifícios e bocais

Determinação do coeficiente de descarga de um bocal e de um orifício circular livre

Através dos dados de vazões (Q) obtidos pelo método direto gravimétrico, os quais foram medidos cinco vezes no orifício O_1 e cinco no bocal B, das cargas hidráulicas (h) medidas, e

utilizando-se a Equação 1, obteve-se os valores de C_d para O_1 , os quais estão apresentados na Tabela 1, e do bocal B, os quais estão na Tabela 2.

Tabela 1. Valores dos coeficientes de descargas encontrados para o orifício O_1

Q (m ³ /s)	h (m)	$C_{d\text{-orifício}}$
1,30.10 ⁻⁴	0,575	0,61
1,28.10 ⁻⁴		0,60
1,24.10 ⁻⁴		0,58
1,31.10 ⁻⁴		0,61
1,26.10 ⁻⁴		0,59

Tabela 2. Valores dos coeficientes de descargas encontrados para o bocal B

Q (m ³ /s)	h (m)	$C_{d\text{-bocal}}$
1,54.10 ⁻⁴	0,470	0,80
1,55.10 ⁻⁴		0,80
1,53.10 ⁻⁴		0,79
1,56.10 ⁻⁴		0,81
1,52.10 ⁻⁴		0,79

Os valores médios obtidos foram de aproximadamente 0,60 para o orifício e de 0,80 para o bocal. Tais valores são próximos aos sugeridos por Porto (2006), que são 0,61 e 0,82, para orifícios e bocais, respectivamente, o que comprova que o aparato é eficiente na determinação de C_d para orifícios circulares livres, pequenos, com descarga livre, parede delgada e contração completa e para bocal cilíndrico de descarga livre. Vale salientar que, como esperado, o valor de C_d para o bocal é maior que para o orifício, visto que, para uma mesma carga hidráulica e área, o bocal descarrega uma vazão maior que a do orifício. Isso pode ser explicado pela zona de sucção que ocorre dentro do bocal, devido à contração existente.

Determinação do tempo de esvaziamento de reservatório

Utilizando-se a Equação 2 e por meio dos dados medidos em laboratório, podem-se obter os valores para o tempo de esvaziamento parcial ($t_{\text{calculado}}$) de R_1 quando se utiliza O_1 (Tabela 3) e quando se usa B (Tabela 4). O mesmo procedimento foi realizado cinco vezes, sendo cronometrado o tempo em cada repetição ($t_{\text{cronometrado}}$).

Tabela 3. Tempos de esvaziamento do reservatório quando se utiliza o orifício O_1

h_0 (m)	h_1 (m)	$C_{d\text{-orifício}}$	$t_{\text{cronometrado}}$ (s)	$t_{\text{calculado}}$ (s)
0,40	0,37	0,60	11,53	11,31
			11,39	
			11,59	
			11,56	
			11,41	

Tabela 4. Tempos de esvaziamento do reservatório quando se utiliza o bocal B

h_0 (m)	h_1 (m)	$C_{d\text{-bocal}}$	$t_{\text{cronometrado}}$ (s)	$t_{\text{calculado}}$ (s)
0,40	0,37	0,80	8,94	8,78
			8,93	
			9,00	
			8,91	
			8,93	

Os valores médios obtidos para o tempo de esvaziamento parcial cronometrado ($t_{\text{cronometrado}}$) foram 11,50s para o orifício e de 8,94s para o bocal. Tais valores encontram-se próximos aos calculados, os quais são 11,31s e 8,78s, respectivamente. Observa-se que o tempo de esvaziamento do reservatório quando se utiliza o orifício é maior que quando se utiliza o bocal, conforme o esperado, visto que o coeficiente de descarga do bocal é maior.

Determinação da velocidade real do jato e do coeficiente de velocidade de um orifício livre

Com base na carga hidráulica (h), nas coordenadas do jato medidas e através das Equações 3 e 4, foram calculados os valores de velocidade do jato d'água (v) e do coeficiente de velocidade (C_v) do orifício O_1 , os quais estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Velocidade do jato d'água e coeficiente de velocidade para o orifício O_1

x (m)	y (m)	h (m)	v (m/s)	C_v
0,2163	-0,0298	0,40	2,78	0,990
0,3255	-0,0674		2,78	0,990
0,4352	-0,1243		2,73	0,970
0,5161	-0,1797		2,70	0,960
0,6084	-0,2373		2,77	0,990

O valor médio da velocidade obtida foi 2,75 m/s e o do coeficiente de velocidade médio do orifício O_1 foi 0,980. O valor encontrado deste coeficiente está próximo ao da literatura, o qual, segundo Azevedo Netto (1998), está entre 0,954 e 0,992, sendo um valor médio de 0,985.

Determinação do coeficiente de descarga de orifício circular afogado

Após as medições no laboratório e de posse da Equação 5, o valor de C_d para o orifício O_2 , o qual é afogado, está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficiente de descarga calculado para o orifício afogado O_2

h_0 (m)	h_1 (m)	Q_{medida} (m^3/s)	C_d
0,46	0,23	$9,79 \cdot 10^{-5}$	0,91
		$9,79 \cdot 10^{-5}$	0,91
		$9,93 \cdot 10^{-5}$	0,92
		$9,92 \cdot 10^{-5}$	0,92
		$9,59 \cdot 10^{-5}$	0,89

O valor médio encontrado para C_d é 0,91. Este valor está distante do apresentado na literatura e normalmente adotado em projeto, o qual é 0,61, conforme Porto (2006). Entretanto, o valor encontrado está mais próximo do observado por Castro *et al.* (2016), o qual encontrou um C_d de 0,84 para orifícios afogados, de 8,0 mm de diâmetros e funcionando com número de Reynolds de 15500. Esse diâmetro e número de Reynolds são os mesmos experimentados aqui nesse trabalho.

No aparato construído, observa-se que, pelo fato do reservatório R_2 ser curto, o jato descarregado por O_2 , o qual entra em R_2 , choca-se frontalmente com a parede do reservatório, criando, assim, uma zona de turbulência. Esse fato talvez aconteça em reservatórios reais, como nos flocladores convencionais, os quais apresentam reservatórios interligados por orifícios afogados. Essa observação também pode ser uma justificativa para o C_d médio encontrado (0,91) ser maior que o normalmente adotado em projetos (0,61). Assim, essa zona de turbulência observada pode dar origem a novas pesquisas utilizando-se o aparato construído, as quais podem verificar a interferência do comprimento do reservatório no valor de C_d de orifícios afogados.

CONCLUSÃO

O aparato construído auxiliará no desenvolvimento de novas aulas práticas para disciplina de Hidráulica no curso de Engenharia Civil da UFSJ, contribuindo, assim, para a formação acadêmica do discente de graduação. Também contribuirá para novas pesquisas na área de orifícios e bocais em reservatórios.

Na determinação do coeficiente de descarga e do coeficiente de velocidade de um orifício livre, pequeno, parede delgada e contração completa, os valores encontrados estão próximos ao observados na literatura da área de Hidráulica. O mesmo acontece com o valor encontrado para o coeficiente de descarga do bocal cilíndrico livre.

Na determinação do tempo de esvaziamento, percebeu-se que o tempo necessário para esvaziar um reservatório através de um bocal é menor que o tempo gasto quando o esvaziamento se dá por um orifício nas mesmas condições. O tempo calculado em ambos os casos foi próximo do tempo cronometrado, mostrando que os coeficientes de descargas calibrados para os dois dispositivos estão corretos.

O coeficiente de descarga para orifício circular afogado não foi próximo do valor usual, o que, acredita-se, foi provocado pela zona de turbulência criada pelo fato do jato se chocar frontalmente com a parede do reservatório.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO NETTO, J. M. (1998). *Manual de Hidráulica*. Editora Edgard Blucher- SP, 670 p.
- CASTRO, L. V.; VIANNA, M. R.; RIBEIRO, C. O.; ALTAIR, L. S. (2016). A influência dos coeficientes de descarga no dimensionamento dos floculadores de bandejas perfuradas em estações de tratamento de água (ETAs). In *Anais do XVII Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Florianópolis, Jun. 2016, 1.
- DRUMOND, P.P.; COELHO, M. M. L. P.; MOURA, P. M. (2014). Investigação experimental dos valores de coeficiente de descarga em tubos de saída de microrreservatórios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 2, pp. 267 – 279.
- LIMA, D. B.; GARCIA, R.N. (2011). Uma investigação sobre a importância das aulas práticas de Biologia no Ensino Médio. *Cadernos do aplicação*, v. 24, n.1, pp. 201 – 224.
- PORTO, R. M. (1998). *Hidráulica Básica*. EESC/USP São Carlos- SP, 540 p.
- VIANNA, M. R.; CASTRO, L. V.; RIBEIRO, C. O. (2015). Perforated tray-type hydraulic flocculator for potable water treatment: Concept and state of the art in Brazil. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, v. 5, n. 3, pp.5-7.