

PROJETO DE EQUIPAMENTO PARA O ENSINO DE BOCAIS E ORIFÍCIOS EM LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA

EQUIPMENT DESIGN FOR THE TEACHING OF ORIFICES AND NOZZLES IN HYDRAULIC LABORATORY

Anna Paula Rodrigues de Abreu¹, Liliane Frosini Armelin²

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v41p470-476.2022

RESUMO

Este estudo tem como objetivo projetar uma bancada experimental para estudo dos jatos de água através de orifícios e bocais, incorporar este equipamento à componente curricular que estuda condutos forçados e desenvolver um manual para a operação da bancada por alunos e professores. A bancada compreende os estudos de escoamento e desenvolvimento de jatos, medições de vazão, drenos e órgãos de descarga. Dentro desse contexto, o estudo se inicia por uma investigação teórica da bibliografia pertinente e na sequência desenvolve um equipamento mais voltado ao ensino e aprendizagem e, sobretudo, a uma melhor compreensão dos alunos a respeito dos escoamentos permanente e não permanente através de orifícios e bocais. Os materiais previstos, a altura e a posição da bancada foram idealizadas para a melhora deste entendimento. Foi realizada também uma previsão orçamentária dos materiais necessários à construção da bancada.

Palavras-chave: bocais e orifícios; laboratório de hidráulica; projeto de bancada hidráulica.

ABSTRACT

This study aims to design an experimental bench for the study of water jets through orifices and nozzles, to incorporate this equipment into the curricular component that studies penstocks and to develop a manual for the bench operation by students and teachers. The bench comprises the studies of flow and development of jets, flow measurements, drains, discharge organs. Within this context, the study begins with a theoretical investigation of the relevant literature and then develops equipment more geared to teaching and learning and above all to a better understanding of the students of non-permanent flow through orifices and nozzles. The planned materials, height and position of the bench were designed to improve this understanding. A budget forecast was also made for the materials needed to build the bench.

Keywords: orifices and nozzles; hydraulic laboratory; hydraulic stand project.

¹ Aluna de graduação da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Escola de Engenharia; annapaulaabreu@outlook.com

² Professora doutora e pesquisadora da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Escola de Engenharia; liliane.armelin@mackenzie.br

INTRODUÇÃO

A hidráulica é uma parte muito importante da Engenharia Civil, que se ocupa do transporte de fluidos em condutos forçados (canos e tubulações), ou submetidos apenas à pressão atmosférica, como córregos e canais, como meios de escoar águas fluviais, pluviais de esgoto. Em um laboratório, aplica-se fundamentos teóricos aprendidos em aula, visualiza-se os conceitos e exemplifica-se questões-problema vistas em obras hidráulicas. Dentro desse contexto, elaborou-se uma bancada constituída de reservatório retangular que possui em uma de suas paredes dispositivos que permitem o escoamento da água armazenada, chamados orifícios e bocais. Eles são muito utilizados na vida prática do engenheiro civil que se dedica à área de recursos hídricos, na execução de projetos de reservatórios de detenção, eclusas para navegação fluvial, estações de tratamento de água, barragens hidráulicas entre outros.

Porém, algumas destas bancadas com esses dispositivos não permitem a visualização da variação do nível da água, dificultando o entendimento dos alunos em relação à ocorrência do escoamento permanente ou não permanente e a influência das linhas de convergência na contração do jato que se forma. Este estudo propõe uma nova abordagem nas aulas práticas e diz respeito a uma construção de um aparato que empregue materiais que permitam a visualização de todo o processo, tornando o aprendizado mais efetivo e interessante.

A bancada do laboratório de hidráulica da Escola Politécnica da USP foi um elemento de grande importância para a concepção desse trabalho, juntamente com a bancada Armfield da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tais aparelhos dirigiram a linha de concepção desse projeto, satisfazendo os seguintes fatores limitantes: o espaço e altura do local de instalação da bancada, sistema de abastecimento individual, visualização do funcionamento dos jatos, durabilidade e custo.

OBJETIVOS

O objetivo deste artigo é mostrar um projeto de uma bancada hidráulica destinada a facilitar o acesso de alunos e professores a um dispositivo que aplica os fundamentos teóricos previamente abordados, compreendendo o estudo e variação de carga no reservatório, escoamento e desenvolvimento de jatos no orifício e bocal, além da medição de vazão. A concepção seguiu diretrizes estipuladas acerca do seu tamanho ideal, alimentação do reservatório e posicionamentos dos dispositivos de estudo. O modelo idealizado não poderia ser muito grande por causa da limitação de espaço, mas também não deveria ser muito reduzido para não limitar a precisão das medidas. As medições de vazão, distância do jateamento e nível do reservatório são fundamentais para o processo de ensino e aprendizagem e essa dinâmica torna o processo muito mais interessante do que uma simples observação visual.

Então, uma atenção especial foi dada aos materiais que vão compor o equipamento. O reservatório foi previsto em material transparente para que possa ser observada a variação da linha da água, variável importante na percepção dos jatos. A água utilizada no escoamento será reaproveitada, sendo apenas descartada em períodos de recesso para evitar proliferação de vetores.

Desenvolveu-se um equipamento de qualidade, versátil, viável física e economicamente, de fácil uso. O escoamento através de orifícios e bocais pode ser permanente ou não permanente, sendo com carga constante ou variável. A escolha dos materiais foi feita através de estudos prévios, a fim de proporcionar uma boa vida útil, facilidade na construção e manutenção, além de ter aparência agradável com predominância de material transparente, boa visualização e tamanho adequado, além de uma análise de viabilidade econômica.

REFERENCIAL TEÓRICO

Orifícios e bocais são utilizados para medir, controlar a vazão ou simplesmente como drenos. O orifício é uma abertura em uma parede ou no fundo de um tanque que contenha um fluido e que permita o escoamento deste. Quando a parede do reservatório é espessa ou quando um pequeno trecho de tubo é adicionado ao orifício, esse conjunto é chamado de bocal.

Devido às componentes de velocidades que são paralelas entre si, o comportamento das partículas se dá através de trajetórias curvilíneas, pois não podem mudar de direção, causando uma contração após a borda interna da abertura. Essa seção contraída também se chama *vena contracta*, seção essa em que as partículas estão sensivelmente paralelas, sendo sua velocidade e pressão uniformes.

O bocal é um dispositivo que difere do orifício pela continuidade da superfície que circunda o jato, o escoamento se comporta da mesma forma que o orifício de parede espessa, já que após a contração devido às componentes de velocidade, juntamente com menor pressão uniforme, as partículas voltam a “colar” na superfície, restaurando a seção original da abertura.

Há uma problemática na determinação da vazão através de orifícios e bocais que está relacionada com os efeitos de contração e as perdas de carga. Nenhum desses fatores pode ser negligenciado, havendo a necessidade de, através de aplicações e estudos práticos, determinar coeficientes de correção dos cálculos. Esses dois efeitos fazem com que a vazão real que sai pelo orifício seja em torno de 60% do que teoricamente passaria pelo orifício. Para a análise do escoamento, através desses dispositivos, é necessário se basear em três princípios da Física: primeira lei da termodinâmica, conservação da massa e quantidade de movimento.

Também é preciso adotar algumas hipóteses simplificadoras:

- i) escoamento não permanente;
- ii) fluido incompressível;
- iii) orifícios e bocais de pequenas dimensões;
- iv) pressão atmosférica na superfície livre do reservatório e na saída do jato;

v) pressão hidrostática no reservatório.

As partículas se aproximam do orifício ou bocal, descrevendo trajetórias convergentes, fazendo com que o jato sofra uma contração em sua seção transversal.

Com base nas hipóteses adotadas, a primeira lei da termodinâmica fica reduzida à equação de Bernoulli; tem-se:

$$h = \frac{V_2^2}{2g} + \text{perdas} \quad (\text{Equação 1})$$

As partículas fluidas procedentes dos mais diversos pontos do reservatório convergem-se ao se aproximarem do orifício ou do bocal. Isso obriga o jato formado a sofrer uma contração em uma seção transversal, ocorrendo um valor mínimo de área com pressão mais baixa, em uma posição em que os filetes são paralelos, denominada seção contraída, através desse parâmetro se encontra o coeficiente de contração C_c , relação entre a área da seção contraída do jato e a área da seção do orifício. Para orifícios de parede fina, o valor teórico do C_c é de 0,62.

O coeficiente de velocidade C_v é definido como sendo a relação entre a velocidade média na seção contraída (velocidade real) e a velocidade teórica.

A velocidade teórica é definida quando se considera o fluido ideal (sem viscosidade). O coeficiente de vazão é definido como sendo a relação entre a vazão real e a vazão teórica.

A vazão teórica é obtida multiplicando-se a área do orifício pela velocidade teórica.

METODOLOGIA

Além da pesquisa bibliográfica preliminar acerca dos conceitos teóricos do processo descritos por formulações simples, o estudo envolveu experiências que tiveram o objetivo de levantar coeficientes que corrigem as equações teóricas e da sua dependência do tipo, tamanho e forma da abertura dos orifícios e bocais (Equações 2, 3 e 4), além de a carga sobre os dispositivos, a distância dos jatos e formato.

$$CC \text{ (Coeficiente de contração)} = \frac{S_c}{S_o} \quad (\text{Equação 2})$$

$$CV \text{ (Coeficiente de velocidade)} = \frac{V_r}{V_t}$$

(Equação 3)

$$CQ \text{ (Coeficiente de vazão)} = \frac{Q_r}{Q_t}$$

(Equação 4)

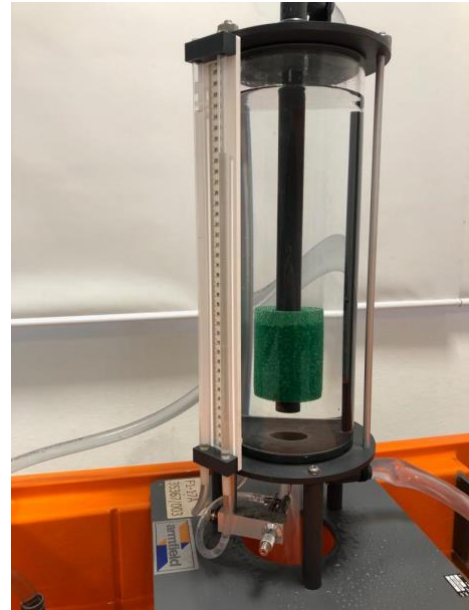
Na sequência, procurou-se conhecer outros equipamentos (Figuras 1 e 2) em operação para investigar as vantagens e desvantagens de diferentes formatos, tamanhos e materiais, observação e utilização de bombas e outros equipamentos adjacentes e escolha dos componentes mais adequados para o funcionamento ideal da bancada. A bancada do laboratório da USP é antiga, mas funcional, sendo o seu reservatório executado em chapas de aço, impossibilitando a visualização do que ocorre no seu interior. Por outro lado, a bancada do laboratório do Mackenzie é muito pequena, inviabilizando medições. A intenção é buscar um projeto melhor. Após as etapas preliminares, foi realizado o projeto básico com lista de materiais e previsão orçamentária.

Figura 1 – Bancada do laboratório de hidráulica da Poli-USP



Fonte: acervo dos autores, 2019.

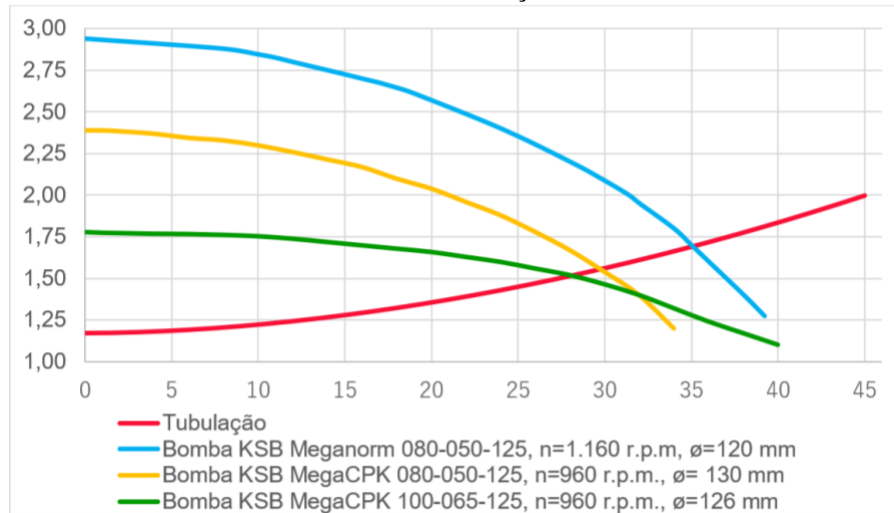
Figura 2 – Bancada laboratório de hidráulica do Mackenzie



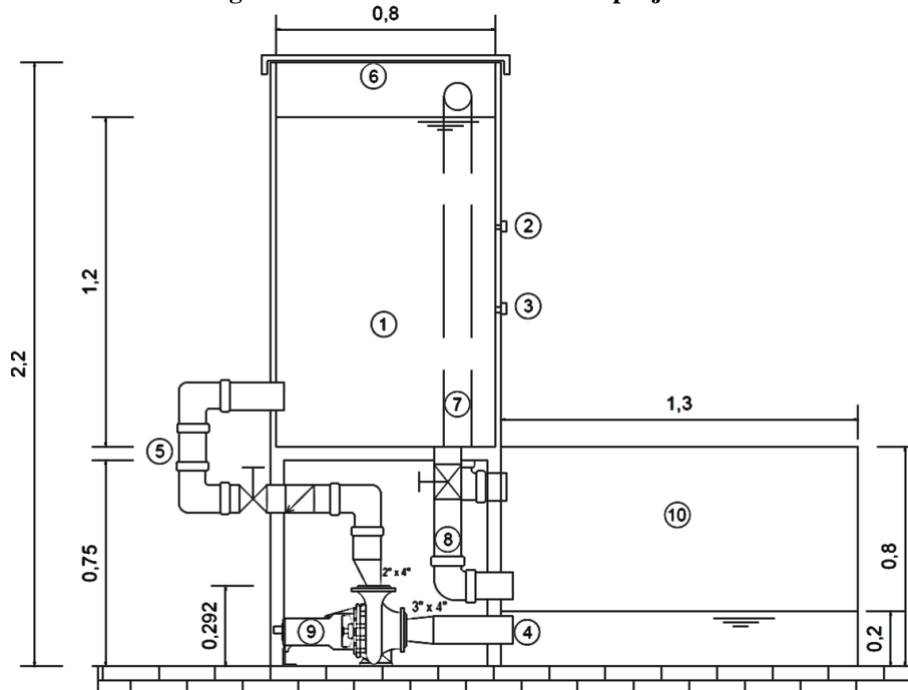
Fonte: acervo dos autores, 2019.

A nova bancada contou com a previsão de um reservatório em acrílico, alimentado através de bomba hidráulica. Um outro reservatório no piso foi previsto para duas funções: coletar a água que escoa pelo orifício e bocal e servir de tanque de sucção para a bomba que vai recalcar a água para o reservatório. Na escolha da bomba, alguns modelos foram analisados, o gráfico a seguir (Figura 3) demonstra as curvas de funcionamento do sistema reservatório e tubulação com as curvas características das bombas, fornecidas pelos catálogos do fabricante. Foram considerados a eficiência energética, o tamanho e o preço. Duas linhas foram analisadas, a Meganorm e MegaCPK, ambas da KSB. Na Figura 3, pode-se observar que o modelo MegaCPK 100-065-125 é mais adequado para o sistema, com eficiência de 72%.

Nas Figuras 4 e 5, pode-se observar as vistas lateral e frontal da bancada. É possível observar dois reservatórios e a tubulação de alimentação.

Figura 3 – Gráfico Curva de funcionamento da tubulação e curvas características das bombas

Fonte: acervo dos autores, 2019.

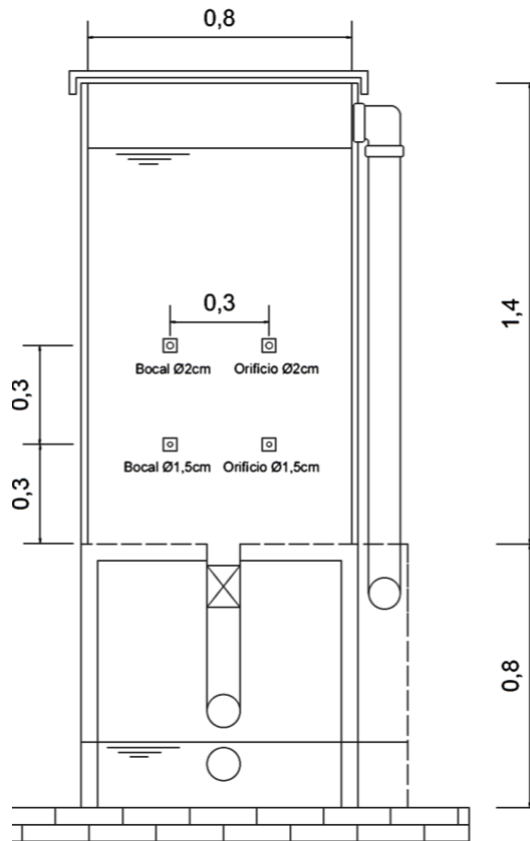
Figura 4 – Vista lateral da bancada projetada

Fonte: acervo dos autores, 2019.

Legenda:

Nº	Peça	Material
1	Tanque	Acrílico
2	Orifício/Bocal d=2,0cm	Aço galvanizado
3	Orifício/Bocal d=1,5cm	Aço galvanizado
4	Tubulação de sucção	MPVC Defoyo (100mm)
5	Tubulação de recalque	MPVC Defoyo (100mm)
6	Tampa	Alumínio
7	Tubulação escape	MPVC Defoyo (100mm)
8	Tubulação de descarga	MPVC Defoyo (100mm)
9	Bomba Hidráulica	Ferro fundido
10	Reservatório inferior	Aço galvanizado

Figura 5 – Vista frontal da bancada projetada



Fonte: acervo dos autores, 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O valor total do material a ser utilizado no projeto é de, aproximadamente, R\$17.300,00 (em 2019). A bancada foi pensada para ser de fácil compreensão pelos alunos, de aspecto agradável, economicamente viável, duradoura e de fácil montagem. Outras possibilidades de materiais também são consideradas possíveis, como o poliestireno ao invés do acrílico, que custa aproximadamente um décimo do preço. A tubulação de MPVC DEFoFo também é uma escolha de altíssima qualidade, podendo ser, de forma conveniente, substituída por outro material. É necessário ter em mente que o custo de mão de obra não foi considerado. Devido à volatilidade dos preços, o custo não pôde ser estimado. Além disso, os preços se alteram no decorrer do tempo e há diferenciações de valores para cada região do país.

Esta foi uma nova proposta para o ensino, entre outros, de um assunto complexo na hidráulica: o escoamento não permanente. Embora o dimensionamento das estruturas

hidráulicas utilize, na maioria das vezes, uma condição de escoamento permanente, algumas estruturas como os reservatórios de detenção de cheias e as chaminés de equilíbrio são dimensionadas considerando vazão variável em relação ao tempo.

Poder visualizar o que ocorre dentro do reservatório e poder fazer medidas confiáveis proporciona um aprendizado mais rápido e aumenta o interesse dos alunos pelo assunto.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13225: Medição de vazão de fluidos em condutos fechados**. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 1994.
- BOMBA PADRONIZADA PARA USO GERAL KSB MEGANORM. **Catálogo de curvas características**. 2013.
- HOUGHTALEN, R. J.; HWANG, Ned H. C.; OSMAN AKAN, A. **Engenharia Hidráulica**. 4ª Edição. São Paulo: Pearson, 2012.
- NETTO, J. M. A. **Manual de Hidráulica**. 8ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- ARMPFIELD, Instruction Manual Armfield F1-17a. **Flow through an Orifice Apparatus**. New Jersey: November, 2012.
- NEVES, E. T. **Curso de Hidráulica**. Rio de Janeiro: Globo, 1979.
- BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos da Engenharia Hidráulica**. 4ª Edição. Belo Horizonte: UFMG, 2016.
- CARVALHO, D. F. **Instalações Elevatórias: bombas**. 2ª Edição. Minas Gerais: FUMARC - Fundação Mariana Resende Costa, 1977.
- LENCASTRE, A. **Manual de Hidráulica Geral**. São Paulo: Edgard Blücher, 1972. 411p.
- PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4ª Edição. São Carlos: EESC/USP, 2006.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Anna Paula Rodrigues de Abreu – Aluna de graduação do curso de Engenharia Civil. Trainee na ACCIONA.



Liliane Frosini Armelin – Professora do curso de Engenharia Civil na Universidade Presbiteriana Mackenzie, Graduação em Engenharia Sanitária (1987), Mestre (2005) e Doutora (2011) pela Escola Politécnica da USP, pesquisadora da área de Recursos Hídricos. Secretária adjunta da ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Editora da RMEC – Revista Mackenzie de Engenharia e Computação.