Unisanta Science and Technology, **2018, 3, December**
Published Online 2018 Vol.7 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Estudo de Quantidade de Movimento em Fluidos Incompressíveis

Leandro Correia Marques e Carlos Alberto Amaral Moino

Unisanta - Universidade Santa Cecília
Programa de Pós-Graduação Mestrado em Engenharia Mecânica – PPGEMEc
Rua Oswaldo Cruz, 266- Santos-SP, Brasil

E-mail*:* leandrocmq@gmail.com
Received octuber, 2018

Resumo: O presente estudo foi desenvolvido partindo do conceito educacional que atividades práticas promovem o aumento da aprendizagem e o interesse do aluno em relação ao assunto lecionado. A partir do pretexto, o projeto da construção de uma bancada didática para estudo de quantidade de movimento em fluidos incompressíveis foi iniciado. Na primeira versão da bancada, foram realizados ensaios modificando a vazão do fluido e o diâmetro do bocal de saída do jato d'água entre 5 e 6mm. Dessa forma, o módulo didático apresentou um desvio de 16,59% e se fez necessário algumas alterações. As principais alterações realizadas na bancada experimental foram a troca do rotâmetro analógico por um medidor de fluxo eletrônico para minimizar os erros de leitura provenientes de um equipamento analógico e também a inserção de um redutor cônico de 60º, que tem como principal objetivo o aumento da velocidade do jato e, consequentemente, proporcionar o aumento da força do jato. Após a realização de todas as modificações, foram realizados novos ensaios. Com os dados obtidos nos ensaios foi possível traçar a curva de calibração e também a característica do bocal, comparando o adimensional de Reynolds com o coeficiente de velocidades obtido. Estes resultados mostraram que as modificações promoveram uma melhoria significativa nos resultados dos ensaios, passando de 16,59% para um desvio médio de aproximadamente 3%. Foi possível concluir que a bancada apresenta resultados satisfatórios para o fim didático a que se destina.

Palavras chave: Quantidade de movimento; Mecânica dos fluidos; Número de Reynolds; Bancada didática.

Study of Quantity of Movement in Incompressible Fluids

Abstract: The current study was developed starting from the educational concept that practical activities promote the increase of learning and the student's interest in relation to the subject taught. As of the pretext, the construction project of a didactic bench for study of the quantity of movement in fluids incompressible was initiated. In the first version of the bench, it was realized tests modifying the flow fluid and the diameter from the exit nozzle of the water jet between 5 and 6mm. That way, the didactic module presented a 16,59% deviation and it was necessary some modifications. One of the main modifications made in the experimental bench was the change of the analogue flow meter to an electronic flow meter to minimize the reading mistakes coming from an analogue equipment and also the insertion of a 60° conical reducer that has as main objective the increase of the jet speed and consequently provide the increase of the jet force. After all the modifications have been made, it was realized new tests. With the obtained data in the tests was possible plot the calibration curve and also the nozzle characteristic, comparing the Reynolds' dimensionless with the coefficient of speed obtained. These results have shown that the modifications promoted a significant improvement in the tests results, passing through 16,59% to a medium deviation of about 3%. It was possible to conclude that the bench presents satisfactory results for the intended teaching didactic purpose.

Keywords: Quantity of movement; Fluids mechanics; Reynolds number; Didactic bench.

1. Introdução

Para solucionar diversos problemas de engenharia é necessário determinar as forças que agem em estruturas sólidas, fixas ou em movimento, em consequência de fluidos que se movem em contato com elas. Tal resultado é obtido a partir da equação de quantidade de movimento [2]. Ao trabalhar com um fluido, tem-se a impressão de que seu manejo é oposto àquele com um sólido. Os fluidos tendem a escoar quando manuseados (por exemplo, quando se agita o líquido em um copo). Sólidos tendem a se deformar ou dobrar (como por exemplo, quando um indivíduo bate sobre um teclado, as molas sob as teclas se comprimem). Na engenharia, a definição de um fluido

Copyright © 2018 ISESC.

requer uma definição mais formal e precisa: fluido é uma substância que se deforma continuamente sob aplicação de uma tensão de cisalhamento, não importando o quão pequeno seja o seu valor [4].

Experimentos práticos durante o período de graduação aumentam o aprendizado e também o interesse do aluno no assunto em que está realizando o experimento. Desse modo, foi identificada uma excelente oportunidade para a construção de uma bancada para estudo de quantidade de movimento. [1]

O presente estudo tem por objetivo a construção de uma bancada para estudos em fluidos incompressíveis a fim de simplificar o estudo de aplicações mais complexas para a quantidade de movimento.

2. Materiais e Métodos

Foi utilizado para a construção do módulo experimental um sistema de regime permanente. Este foi constituído por uma bomba afogada que utiliza água contida em um reservatório acoplado a um tubo com um bocal reduzido que incide um jato d'água em uma das extremidades de uma alavanca. Em sua outra extremidade é fixado um dinamômetro para que, por consequência da força do jato d'água, gere uma força equivalente devido a relação estabelecida pela alavanca, que serve de parâmetro para realização de cálculos de diversos fatores como por exemplo a força exercida pelo jato d'água. A figura 1 ilustra o módulo didático e a tabela 1 contém os principais componentes da bancada.

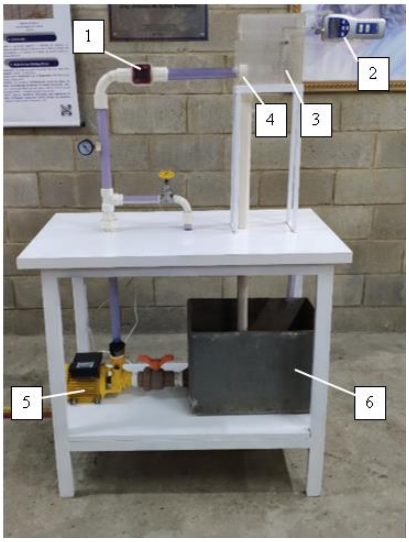


Figura 1. Módulo didático**.**

Tabela 1. Principais componentes da bancada didática.

Referencia	Peça
1	Medidor de fluxo
2	Dinamômetro
3	Placa de acrílico
4	Bocal redutor
5	Bomba periférica IDB-50
6	Reservatório

As figuras a seguir ilustram algumas das partes da bancada. Na figura 2 é mostrado o detalhe do bocal redutor. Na figura 3 a placa de acrílico e o sistema de alavancas.

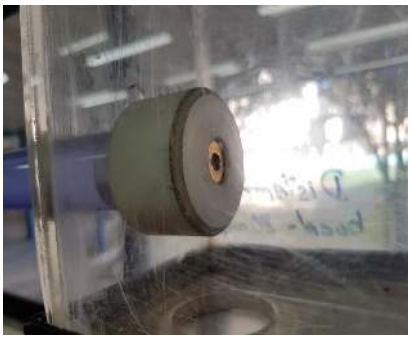


Figura 2. Bocal redutor.



Figura 3. Placa de acrílico, sistema de alavanca.

Na figura 4 é mostrado o detalhe do aparelho medidor de fluxo.

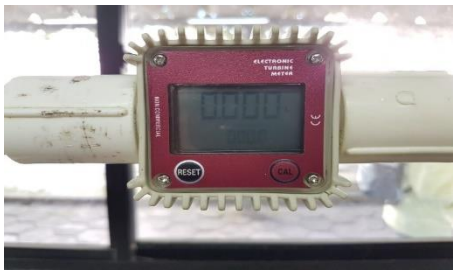


Figura 4. Medidor de fluxo.

Copyright © 2018 ISESC

A bomba utilizada no módulo didático é a do tipo Ferrari periférica IDB-50. Os dados contidos na placa da mesma estão na tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Características da bomba.

Bomba d'água periférica IDB-50 (Ferrari)	
Motor (cv)	1 cv (750 Watts)
Vazão máxima	3000 L/h
Altura manométrica máxima	55 mca
Sucção máxima	7 mca
Tensão nominal	127/220 Volts
Recalque / Sucção	1.1/2"
Peso	8,62 / 9,03 kg

2.1 Parâmetros de construção da Bancada

Utilizando as equações referentes ao teorema de Torricelli foi possível determinar a distância ideal do bocal que incidira o jato no anteparo em relação ao anteparo.

$$x = x_0 + vt \quad (1)$$

$$y = y_0 + vt + g\frac{t^2}{2} \quad (2)$$

Sendo x o deslocamento horizontal do jato e y o deslocamento vertical do jato, ou seja, a distância ideal a ser adotada é a que representará a menor queda do jato em relação a posição inicial do mesmo. Adotando o valor de 200mm para x e x_0 e y_0 nulos pois tratam-se dos pontos iniciais considerados para execução dos cálculos observa-se que:

$$t = \frac{x}{v}$$

Substituindo na equação 2:

$$y = \frac{gx^2}{2v^2}$$

Para determinar a velocidade do jato será utilizada a vazão da bomba em relação a um bocal de 5mm, desse modo:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0{,}83 \times 10^{-3}}{\pi \times \frac{0{,}005^2}{4}} = 42{,}27\ {}^{m}/_{s}$$

Substituindo na equação anterior se obtém:

$$y = \frac{9{,}81 \times 0{,}2^2}{2 \times 42{,}27} = 4{,}6 \times 10^{-3} m = 4{,}6mm$$

Ou seja, o deslocamento vertical do jato para uma distância de 200 mm na horizontal é de 4,6 mm, o que para o tipo de ensaio será considerado como zero.

Para aumentar o sinal no dinamômetro, foi estabelecida uma relação de alavanca entre o ponto de aplicação e o ponto de medição da força, a figura a seguir ilustra esse tipo de relação.

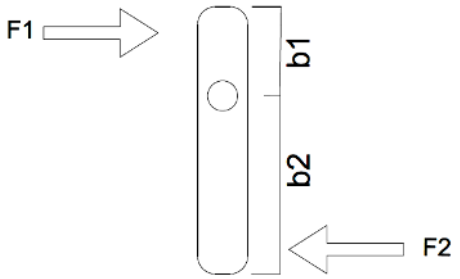


Figura 5. Exemplo de relação de alavanca.

Em que:

K é a constante da alavanca;

b_1 é a distância do elemento de fixação até a extremidade 1 da alavanca;

b_2 é a distância do elemento de fixação até a extremidade 2 da alavanca.

Desse modo, a força medida pelo dinamômetro pode ser estabelecida pela seguinte equação.

$$K = \frac{b_2}{b_1} \quad (3)$$

No módulo didático, a relação estabelecida é de 1,96, ou seja, a força do jato é multiplicada por 1,96, em outras palavras o sinal recebido pelo dinamômetro será praticamente dobrado, o que minimiza o erro devido a pequenas oscilações de sinal.

2.2. Métodos de utilização da Equação

Existem diversas aplicações para a equação da quantidade de movimento, variando conforme a configuração da seção em estudo. Entretanto, a partir do modelo de aplicação demonstrado na equação 4 será possível resolver o problema proposto pelo módulo de estudos.

Utilizando este método, a força do desviador contra o jato de fluido lançado pelo bocal será dado em função da velocidade (u). Utilizando a equação 4 a seguir é possível obter a força do desviador contra o jato que é consequentemente a força do jato d'água.

$$\overrightarrow{F_s} = Q_{map} \times u \times k \quad (4)$$

Em que:

F_s – Força do jato d'água;

Q_{map} - Vazão mássica aparente;

u – Velocidade no ponto do jato;

k - Relação da alavanca.

Copyright © 2018 ISESC *Unisanta Science and Technology* **(89-93) p.p. ISSN 2317-1316**

O jato d'água, ao atingir o anteparo de acrílico, faz com que ocorra um pequeno deslocamento angular, porém, devido ao contato com o dinamômetro, esse deslocamento é mínimo e, dessa forma, esse fator não será considerado nas equações.

2.3. Coeficiente de Velocidades

Com o objetivo de estabelecer um coeficiente que compare a precisão da medição e a confiabilidade dos resultados, foram calculadas as velocidades, real e teórica, e foram obtidas a partir das equações a seguir, respectivamente.

$$v_r = \sqrt{\frac{F_{medida}}{\rho \times A_j \times k}} \quad (5)$$

Em que:
V_r – Velocidade real (m/s);
F_{medida} – Força medida (N);
ρ – Densidade do fluido (kg/m³);
A_j – Área do jato (m²);
k – constante da relação da alavanca.

$$v_t = \frac{Q}{A_j} \quad (6)$$

Em que:
V_t – Velocidade teórica (m/s);
Q – Vazão do fluido (m³/s);
A_j – Área do jato (m²).

O coeficiente de velocidades pode ser calculado pela equação a seguir.

$$C_v = \frac{v_r}{v_t} \quad (7)$$

Em que:
C_v – Coeficiente de velocidades;
V_r – Velocidade real (m/s);
V_t – Velocidade teórica (m/s).

O número de Reynolds para este tipo de aplicação é definido pela equação a seguir.

$$Re = \frac{D_j \times v_j}{\nu} \quad (8)$$

Em que:
Re – Número de Reynolds;
D_j – Diâmetro do jato (m);
V_j – Velocidade do jato (m/s);
ν – Viscosidade Cinemática (m²/s).

2.4. Ensaios

Os ensaios foram realizados durante o mês de outubro de 2018 nos laboratórios de engenharia mecânica da Universidade Santa Cecília.

Foram realizados 99 ensaios para medir a força do jato, variando o diâmetro do bocal redutor entre 5 e 6 mm e o fluxo do fluido entre 4,6 a 19,5 litros por minuto.

Para garantir o uso dos mesmos parâmetros para todos os ensaios, antes do início de uma nova medição, era necessário realizar um procedimento. Esse procedimento consiste em desligar a bancada, zerar o dinamômetro e fechar parcialmente o registro que controla o fluxo do jato d'agua.

Foram realizados 3 ensaios para cada ponto de medição com o intuito de minimizar possíveis erros que poderiam ocorrer caso fosse realizado apenas um ensaio.

3. Resultados

A partir dos resultados dos ensaios foi possível plotar as curvas de calibração de ambos os bocais, de 5 e 6 mm, respectivamente, conforme mostradas nos gráficos e e 2.

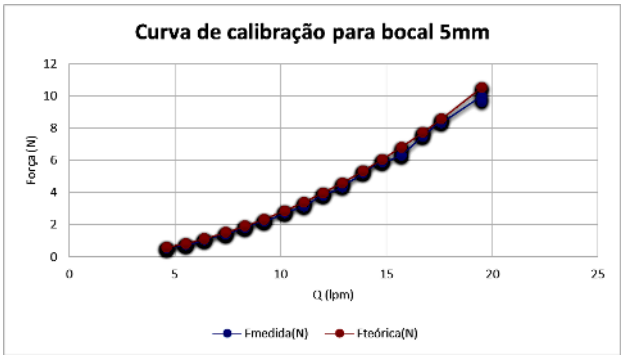


Gráfico 1. Curva de calibração para o bocal de 5 mm.

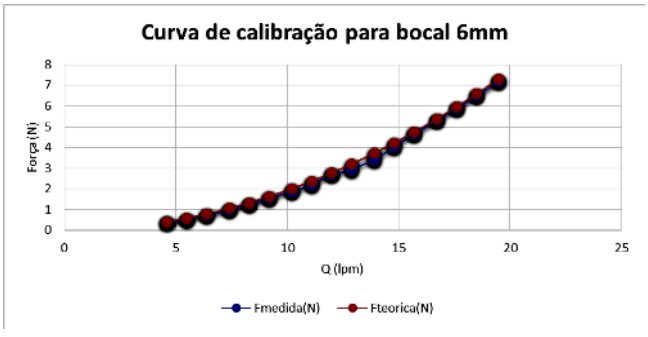


Gráfico 2. Curva de calibração para o bocal de 6 mm.

Copyright © 2018 ISESC
Unisanta Science and Technology **(89-93) p.p. ISSN 2317-1316**

Com os resultados expostos nos gráficos 1 e 2, foi possível calcular os valores de velocidade real e velocidade teórica, afim de estabelecer um coeficiente de velocidades (C_v) e também calcular o número de Reynolds.

Os valores calculados para o coeficiente de velocidades e o número de Reynolds de cada ponto de vazão foram utilizados para plotar as curvas características dos bocais de 5 e 6 mm, respectivamente (gráfico 3).

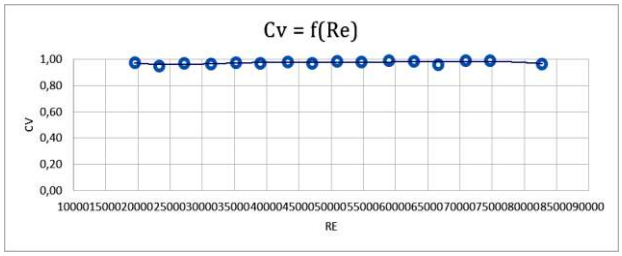


Gráfico 3. Curva característica do bocal de 5mm.

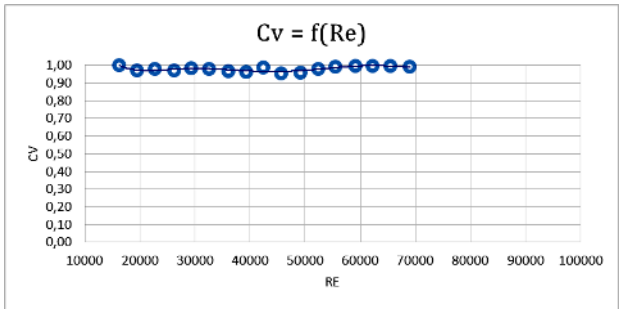


Gráfico 4. Curva característica do bocal de 6 mm.

4. Conclusões

A partir dos resultados expostos nos gráficos 1 e 2, pode-se verificar que o método utilizado para a medição da vazão e consequentemente a velocidade do jato d'água é precisa, pois as curvas da força teórica e da força medida pelo aparelho apresentam um desvio médio de aproximadamente 3%, o que é esperado tendo em vista que foram desconsiderados todos os efeitos de atrito para os cálculos.

Os resultados obtidos nos ensaios mostram que a construção do módulo didático ocorreu dentro dos parâmetros esperados. Esta conclusão se deu devido aos resultados comparativos entre o coeficiente de velocidades, que é a relação entre a velocidade esperada (teórica) para o jato d'água e o valor da velocidade real do jato, com o número adimensional de Reynolds, que tem como resultado o tipo de escoamento presente em determinado ponto. Plotados os gráficos para ambos os bocais, 5 e 6mm, representados nos gráficos 3 e 4, respectivamente, foi possível notar que o desvio entre a velocidade real e o cálculo teórico para a velocidade do jato foi de aproximadamente 3%, o que prova que sua funcionalidade, para os propósitos didáticos à qual se destina, se mostrou eficiente. Pode-se acrescentar também que a construção e utilização de módulos didáticos são atividades que potencializam o aprendizado dos alunos, promovendo o desenvolvimento de tarefas práticas dentro da engenharia, não somente na área de fluidos, mas também em outras que se enquadrem nestes aspectos. É de relevante importância buscar meios de dinamizar o aprendizado teórico com o prático para melhor compreensão dos conceitos vistos em sala de aula

Referências

[1] J. R. P**,** Barbieri. **"**Desenvolvimento e construção de uma bancada didática para ensaio de pórticos." Panambi: UNIJUÍ, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Mecânica -Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 200, pp. 1-3

[2] Brunetti F. "Mecânica dos fluidos." São Paulo: Prentice Hall, 2008, pp. 121-127.

[3] Cimbala, Ç. "Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações. " Mc Graw Hill, Bookman, 2008, pp. 365-369.

[4] Fox, Printchard & Mcdonald. "Introdução a mecânica dos fluidos. " Rio de Janeiro: LTC, 2010.

Copyright © 2018 ISESC