PROJETO DE BANCADA DIDÁTICA HIDRÁULICA E SUAS APLICAÇÕES

Vinícius de Oliveira Menezes Sirqueira [1] (oliveirabrvinicius@gmail.com), Íngrid Heloisa da Silva Alves [1] (ihsalves@uesc.br)

[1] Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC); Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia

RESUMO: *A mecânica dos fluidos é parte da engenharia que estuda o comportamento de fluidos sujeito ao efeito de forças. Dentro dessa área a análise de escoamento de fluidos em tubulações é parte fundamental na formação de um engenheiro e vem sido estudada com a realização de diversos experimentos no decorrer da história. Assim, esse trabalho tem como objetivo de elaborar uma bancada didática capaz de realizar os experimentos de Reynolds e de perda de carga e a análise de potência requerida da bomba, auxiliando o aluno em uma melhor compreensão da área. Para isso, foi analisado cada experimento e desenvolvido desenhos mecânicos para cada configuração utilizando o SolidWorks, sendo que para cada configuração de experimento é abordado metodologias de aplicações para o aluno. Os resultados apresentam de forma detalhada os acessórios da bancada, dimensões da estrutura e dos acessórios, e como a bancada pode agregar no ensino do aluno. Os valores de vazão, perda de carga, pressão e potência de bombeamento foram estimados de acordo a variação possível da velocidade de escoamento do fluido na bancada proposta, como orientação aos valores que podem ser obtidos nos experimentos com o equipamento. O projeto consegue auxiliar o aluno em uma melhor visualização de cada experimento e permite diferentes formas de aplicações do conhecimento teórico aprendido em sala de aula.*

PALAVRAS-CHAVE: *Bancada didática, Mecânica dos fluidos, Hidráulica, Metodologia de ensino.*

HYDRAULIC TEACHING BENCH PROJECT AND ITS APPLICATIONS

ABSTRACT: *Fluid mechanics is part of engineering that studies the behavior of fluids subject to the effect of forces. Within this area, the analysis of fluid flow in pipes is a fundamental part of the training of an engineer and has been studied with the performance of several experiments throughout history. Thus, this work aims to develop a didactic bench capable of carrying out the Reynolds and pressure loss experiments and the required power analysis of the pump, helping the student to better understand the area. For this, each experiment was analyzed and mechanical drawings were developed for each configuration using SolidWorks, and for each experiment configuration application methodologies for the student are addressed. The results present in detail the bench accessories, dimensions of the structure and accessories, and how the bench can add to the student's teaching. The values of flow, pressure loss, pressure and pumping power were estimated according to the possible variation of the flow rate of the fluid in the proposed bench, as a guide to the values that can be obtained in the experiments with the equipment. The project is able to assist the student in a better visualization of each experiment and allows different forms of applications of the theoretical knowledge learned in the classroom.*

KEYWORDS: : *Didactic bench, Fluid mechanics, Hydraulics, Teaching methodology.*

1. INTRODUÇÃO

A mecânica dos fluidos tem um papel fundamental em várias aplicações diferentes na sociedade, indo da aerodinâmica, à engenharia biomédica e biológica, aos sistemas de tubulações, à micro fluídico e à engenharia dos esportes. O estudo dos fluidos, que são classificados como líquidos ou gases, é dividido nas áreas de estática e dinâmica. Os engenheiros mecânicos aplicam os princípios da estática para calcular a pressão e a força de flutuação dos fluidos que atuam sobre objetos. A dinâmica dos fluidos está relacionada ao comportamento de líquidos e gases quando se movem ou quando um objeto se move dentro deles (WICKERT, 2010).

Partindo da definição da palavra, engenharia é a profissão dedicada à aplicação de conhecimentos e habilidades na criação de dispositivos, estruturas e processos para transformar recursos e atender as necessidades humanas (KIRK, 1998). Assim, quando se trata do ensino de engenharia, a prática e aplicação do conhecimento aprendido em sala de aula ainda na universidade é um fator primordial no desenvolvimento e aprendizagem do aluno (PEKELMAN E MELLO, 2004).

Esse estudo consiste na elaboração de uma bancada didática capaz de realizar três análises dentro da dinâmica dos fluidos, que ajudarão os alunos a compreender e aplicar conhecimentos da sala de aula: o experimento de Reynolds, o de perda de carga e a análise de potência requerida da instalação.

O experimento de Reynolds demonstra a existência de dois regimes de escoamento: o laminar e o turbulento. A transição do escoamento laminar para o turbulento em tubos depende de vários parâmetros como: geometria e estrutura da tubulação, rugosidade da superfície, velocidade do escoamento, temperatura da superfície, tipo de fluido, entre outros fatores. Osborne Reynolds, na década de 1880, concluiu que o regime de escoamento depende principalmente da relação entre forças inerciais e forças viscosas do fluido. Essa relação é chamada de número adimensional de Reynolds (CENGEL E CIMBALA, 2015).

Na análise de tubulações, deve ser dada atenção em especial ao atrito, que está diretamente relacionado à queda de pressão e à perda de carga durante o escoamento. Um sistema típico de tubulação envolve tubos de diâmetros diferentes conectados entre si por diversos acessórios. Assim, além da perda de carga causada pelo atrito na tubulação existe a perda de carga causada por esses acessórios que são: cotovelos, válvulas, bombas e vários outros (CENGEL E CIMBALA, 2015).

Os fluidos tendem a escoar de um local com pressão elevada para outro com a pressão menor. Sabendo que, em tubulações, o fluido sofre perda de carga devido ao atrito do fluido com o tubo e à presença de acessórios, é necessário fazer uma análise para saber se a diferença de pressão é

suficiente para o deslocamento do fluido ou se é preciso a utilização de uma bomba para movimentação do fluido entre o local de entrada e descarga (WICKERT, 2010).

A bancada projetada permitiu analisar números de Reynolds para diferentes regimes, analisar perdas de cargas de diferentes configurações e acessórios e também determinar a potência requerida para diferentes tubulações e rotas, de modo a contribuir para a formação e melhor aprendizado dos alunos do curso de engenharia mecânica.

2. METODOLOGIA

Esse trabalho tem como objetivo a elaboração de uma bancada didática capaz de realizar três análises de mecânica dos fluidos que auxiliam no aprofundamento e aprendizagem através da prática de experimentos do conteúdo apresentado em sala de aula. No experimento de Reynolds é utilizado um tubo transparente, no qual a água escoa, partindo de um reservatório onde se encontra em repouso. Um filete de tinta ou corante é injetado nessa corrente da água. Com uma torneira regulando a vazão da água é possível visualizar o regime do escoamento através do comportamento do filete de tinta (ROCHA ET AL, 2014).

O escoamento é considerado laminar quando em baixa velocidade as linhas de corrente são suaves e o movimento do filete de tinta ou do corante é altamente ordenado, e é considerado turbulento quando o filete sofre flutuações de velocidade e movimento altamente desordenado (CENGEL E CIMBALA, 2015).

O número de Reynolds depende diretamente da relação entre as forças inerciais e as forças viscosas do fluido, como é apresentado na Equação 1.

$$Re = \frac{Forças\ inerciais}{Forças\ viscosas} = \frac{\rho \times v_{med} \times D}{\mu} \qquad (1)$$

Onde a relação μ/ρ é a viscosidade cinemática, v_{med} é a velocidade média (m/s) e D é o diâmetro da tubulação (m).

A análise dessa relação é fundamental para se poder determinar o Numero e de Reynolds e o regime do fluido. Para números de Reynolds grandes as forças inercias, que são a densidade do fluido e o quadrado da velocidade de escoamento, são valores grandes com relação as forças viscosas e, logo, as forças viscosas não podem evitar as flutuações aleatórias e rápidas do fluido. Quando se tem Números de Reynolds pequenos significa que as forças viscosas do fluido são grandes o suficiente

para controlar as flutuações de velocidade e manter o fluido estável em seu movimento (CENGEL E CIMBALA, 2015).

Os limites do número de Reynolds caracterizam o escoamento. No caso de um tubo cilíndrico escoando água, os valores limites de Reynolds utilizados, no geral, é de 2000 e 2400. Desta forma, para valores menores que 2000 o regime é laminar, e para valores maiores que 2400 o escoamento será turbulento (ROCHA ET AL., 2014).

Para a elaboração da bancada que permita o experimento de Reynolds primeiramente foi realizado o desenho e modelagem da bancada, com base na teoria apresentada, utilizando a ferramenta de desenho mecânico SolidWorks, como é exposto na Figura 1.

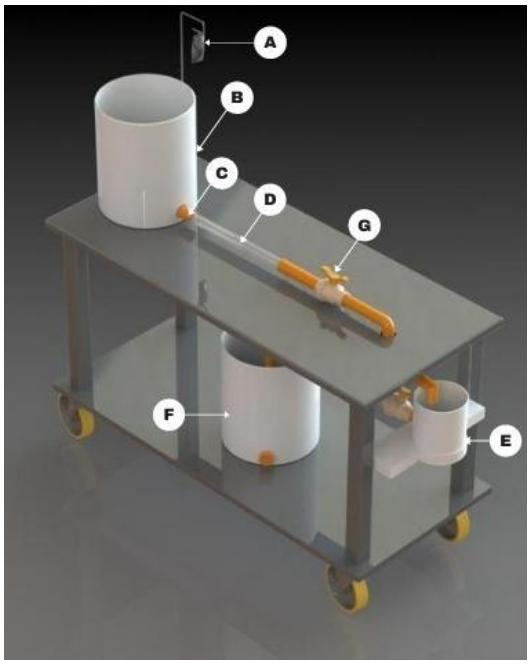


FIGURA 1. Bancada na configuração do experimento de Reynolds. Fonte: Autoria própria (2020).

No projeto proposto, a tubulação do Equipo – dispositivo que permite a injeção e controle de fluxo da tinta (A) passa por dentro do reservatório superior (B) até a interseção entre a tubulação transparente (C), onde a tinta é liberada na água e percorre toda a tubulação transparente (D) até o reservatório de medição (E) e posteriormente para o reservatório inferior (F). O equipamento permite que o aluno análise diferentes regimes controlando a vazão do fluido com as torneiras (G) e visualize a mudança do comportamento da tinta na tubulação transparente com diferentes

velocidades. A velocidade de escoamento é variada com a utilização da torneira, e seu valor pode ser estimado usando o reservatório de medição (E), que permite a mensuração da vazão verificando a relação entre volume e tempo. O aluno também pode realizar cálculos comparando os valores teóricos estabelecidos para os números de Reynolds, utilizando a Equação 1 citada anteriormente.

No experimento de perda de carga é analisada a perda de carga sofrida por um fluido em uma instalação com diferentes tamanhos, conexões e acessórios. Além da perda de carga causada pelo atrito da tubulação existe a perda de carga causada pelos acessórios que interrompem o escoamento suave do fluido e causam perdas adicionais devido à separação do escoamento e à mistura que eles induzem. Em um sistema típico com tubos longos, essas perdas são menores se comparadas à perda total de carga dos tubos (as grandes perdas) e são chamadas de perdas menores, embora em alguns casos as perdas menores são maiores que as grandes perdas (CENGEL E CIMBALA, 2015).

As grandes perdas da tubulação também são chamadas de perda de carga distribuída e se pode calcular utilizando a Equação 2.

$$h_d = f.\left(\frac{L}{D}\right).\left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad (2)$$

Onde h_d é a perda de carga distribuída (m), f é o fator de atrito (adimensional), L é o comprimento da tubulação (m), D é o diâmetro da tubulação (m), v é a velocidade média do escoamento (m/s) e g é a aceleração gravitacional (m/s^2), de acordo com Sampaio et al (2007).

Já na análise das perdas menores, que também são chamadas de perdas localizadas, se pode calcular utilizando a Equação 3.

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

Onde h_L é a perda de carga localizada(m), K_L é o coeficiente de perda de carga do componente (adimensional), V é a velocidade média do fluido (m/s) e g é a aceleração gravitacional (m/s^2), consoante com Sampaio et al. (2007).

Para analisar a perda de carga na tubulação da bancada é preciso conhecer a vazão do fluido na tubulação e para isso se analisa o tempo que uma quantidade de fluido demora para escoar por todo o sistema, utilizando o reservatório de medição. Assim, a velocidade de escoamento pode ser variada de acordo com a atuação da torneira, o que resulta em uma vazão diferente que pode ser

avaliada com o reservatório de medição, o que também resulta em uma análise de perda de carga diferente.

Nessa configuração o fluido sai do reservatório superior passando por manômetros (A), conexões (B) e uma torneira (C) até chegar no reservatório de medição onde se pode analisar a vazão do fluido. Feito isso, a próxima ação é liberar o fluido para o reservatório inferior como é mostrado na Figura 2.

Para uma análise mais detalhada do sistema, são utilizados os manômetros localizados na entrada e na saída do sistema superior de tubulação, possibilitando a inspeção da pressão de entrada e de saída da instalação; com isso se faz a comparação de valores teóricos e reais de queda de pressão da bancada utilizando as Equação 2 e 3.

É possível montar, através de conexões rosqueadas, diferentes configurações de sistemas nas tubulações da bancada para diferentes análises e comparações, adicionando ou retirando conexões e, dessa forma, deixando o sistema com diferentes caminhos e diversos resultados de perdas de cargas, possibilitando variadas análises de sistemas para os alunos.

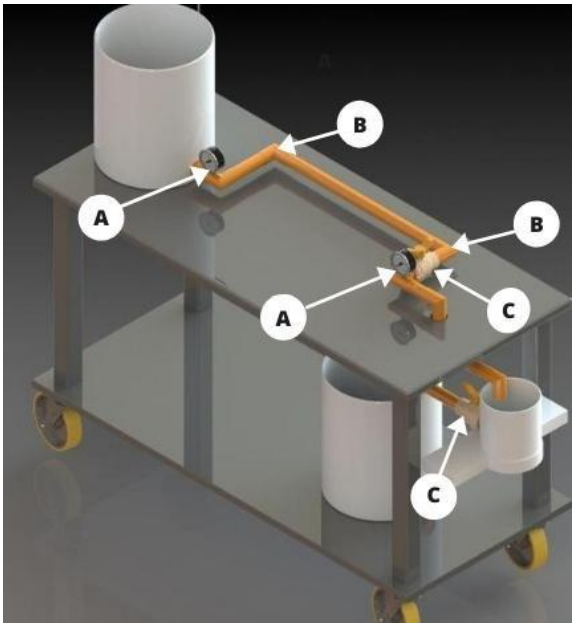


FIGURA 2. Bancada na configuração do experimento de perda de carga. Fonte: Autoria própria (2020).

Para determinado sistema de tubos, com suas perdas maiores e menores e variação de elevação entre os reservatórios, é necessário analisar se a energia potencial gravitacional é suficiente

para o escoamento do fluido entre os reservatórios ou se é necessário a modificação da elevação dos reservatórios ou a utilização de uma bomba tanto para o fluido escoar pela tubulação em direção ao reservatório inferior quanto para voltar ao reservatório superior (CENGEL E CIMBALA, 2015). Na análise de potência requerida são observadas as cotas e as perdas de cargas para se conseguir determinar com cálculos a potência necessária de uma bomba para o fluido se deslocar pelo sistema. Nas Figura 3 e Figura 4 é possível analisar as cotas do sistema para determinada configuração.

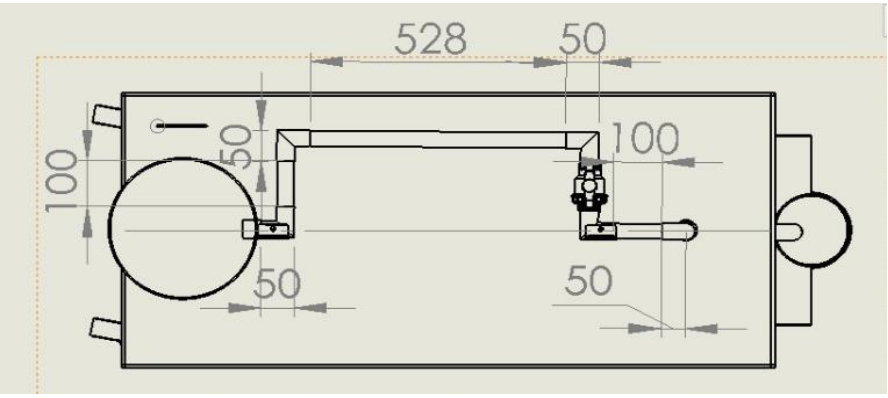


FIGURA 2. Vista superior da bancada na configuração de perda de carga com cotas. Fonte: Autoria própria (2020).

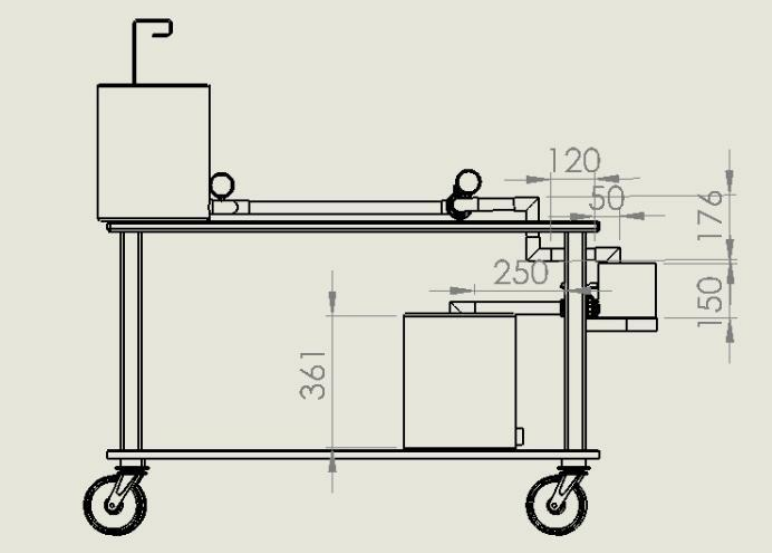


FIGURA 3. Vista frontal da bancada na configuração de perda de carga com cotas. Fonte: Autoria própria (2020).

Se pode calcular a potência requerida utilizando a Equação 4, decorrente da equação da energia, na forma de carga.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{bomba} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_T \quad (4)$$

Onde temos que P_1 é a pressão no ponto 1 de análise (N/m^2), ρ é a densidade do fluido analisado (kg/m^3), V_1 é a velocidade do fluido no ponto 1 (m/s), g é aceleração gravitacional (m/s^2), z_1 é a cota do ponto 1 (m), h_{bomba} é a perda de carga de uma bomba requerida para o sistema (m), P_2 é a pressão no ponto 2 de análise (N/m^2), V_2 é a velocidade do fluido no ponto 2 (m/s), z_2 é a cota do ponto 2 (m) e h_T é a perda de carga total do sistema do ponto 1 até o ponto 2 (m).

Sabendo a carga da bomba requerida para o sistema, é possível encontrar a potência requerida da bomba utilizando a Equação 5.

$$\dot{W}_{bomba} = \frac{\rho \dot{v} g h_{bomba}}{\eta_{bomba}} \quad (5)$$

Onde temos que $\dot{W}_{bomba}$ é a potência da bomba requerida (W), ρ é a densidade do fluido analisado (kg/m^3), $\dot{v}$ é a vazão volumétrica do sistema (m^3/s), g é aceleração gravitacional (m/s^2), h_{bomba} é a carga de uma bomba requerida para o sistema (m) e η_{bomba} é a eficiência da bomba requerida.

A metodologia de mudança de configuração para cada experimento é bem prática e cada experimento pode ser executado e analisado na bancada pelos alunos com um conhecimento teórico prévio e apresentação dos componentes e partes da bancada.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Uma boa apresentação dos itens da bancada é um fator muito importante para o aprendizado do aluno e uma boa execução do experimento. Os itens da bancada podem ser apresentados de maneira separada em estrutura principal, itens da configuração do experimento de Reynolds, itens da configuração do experimento de perda de carga e de potência requerida.

Na análise da estrutura principal da bancada tem-se itens fixos e estruturais, os itens fixos são os reservatórios e as rodinhas da bancada e na parte estrutural temos as chapas de metal e as barras de sustentação da bancada. O número de itens e a suas dimensões são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Itens da estrutura principal da bancada

Peças	Unidades	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	Volume (litros)
Barra de sustentação	4	37,5	37,5	600	-	1406,25	-
Chapa de Metal	2	1350	600	30	-	810000	-
Reservatório	2	-	-	375	300	-	26,5
Reservatório de medição	1	-	-	150	150	-	2,6
Rodinha	4	-	-	-	150	-	-

Fonte: Autoria própria (2020).

Os itens da configuração do experimento de Reynolds são itens que podem ser alterados para a configuração das outras duas análises e não são fixos na bancada. Na configuração de Reynolds existem dois itens que são principais para a análise e execução do experimento: a tubulação transparente e o equipo (para injeção e controle de fluxo de tinta), que tem suas dimensões apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2. Itens da bancada na configuração do experimento de Reynolds

Peças	Unidades	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)
Equipo	1	750	-
Joelho 90°	4	50	32
Luva	3	50	32
Registro	2	-	32
Tubulação PVC	1	800	32
Tubulação transparente	1	400	32

Fonte: Autoria própria (2020).

No experimento de perda de carga e o de potência requerida a tubulação transparente e o equipo não são utilizados e são substituídos por acessórios que causarão uma maior perda de carga no sistema, assim possibilitando uma melhor análise do experimento. Os itens da configuração que executa os dois experimentos têm como principal diferencial o maior número de joelhos e 2 manômetros 1/4” NPT para a análise de pressão como é mostrado na Tabela 3.

TABELA 3. Itens da bancada na configuração do experimento de perda de carga e potência requerida

Peças	Unidades	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)
Joelho 90°	8	50	32
Luva	3	50	32
Manômetro	2	-	6,35
Registro	2	-	32
Tubulação PVC	1	1000	32

Fonte: Autoria própria (2020).

Como dito anteriormente, a velocidade de escoamento pode ser variada com a utilização da torneira. Para obter uma estimativa da velocidade em um primeiro momento, foi utilizada a análise de carga do sistema utilizando a Equação 4 sem considerar as perdas de carga e a presença de dispositivo de bombeamento, obtendo-se assim a velocidade máxima teórica de 2,58 m/s. Ou seja, a velocidade de escoamento pode ser variada e não ultrapassará esse valor ideal, e será medida com o auxílio do reservatório de medição. Utilizando as Equações 4 e 5 foi possível determinar a potência necessária de um dispositivo de bombeamento ideal para se alcançar a velocidade máxima teórica no sistema, 1,644kW. Verificou-se a influência da velocidade de escoamento do fluido na vazão e na perda de carga do sistema, obtendo os resultados expostos nas Figuras 4 e 5.

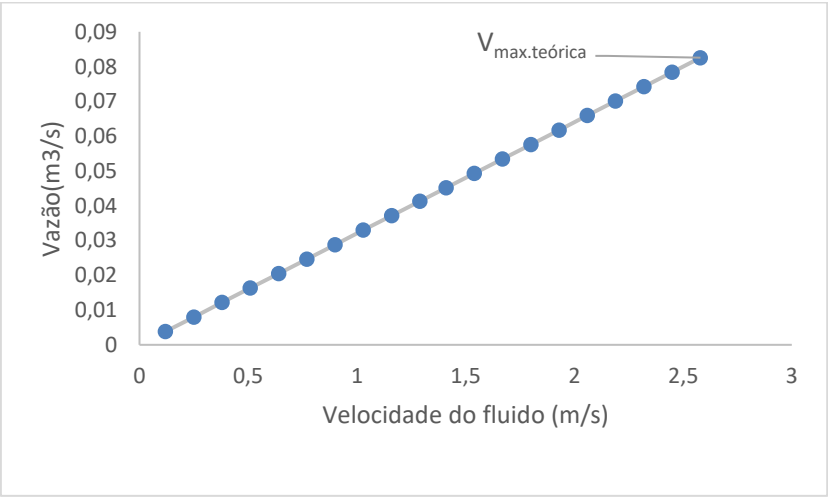


FIGURA 4. Influência da velocidade de escoamento do fluido na vazão do sistema.
Fonte: Autoria própria (2020).

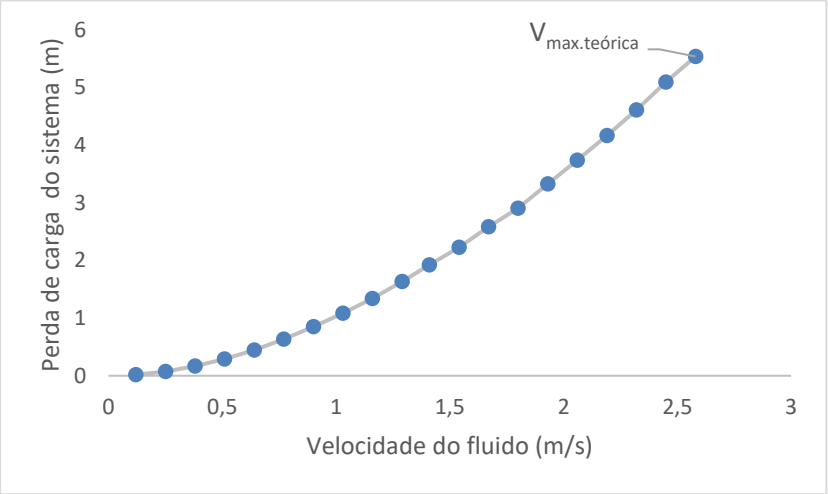


FIGURA 5. Influência da velocidade de escoamento do fluido na perda de carga do sistema. Fonte: Autoria própria (2020).

Foi analisado também a influência da velocidade de escoamento na pressão apresentada nos manômetros 1 e 2, resultados apresentados nas Figuras 6 e 7.

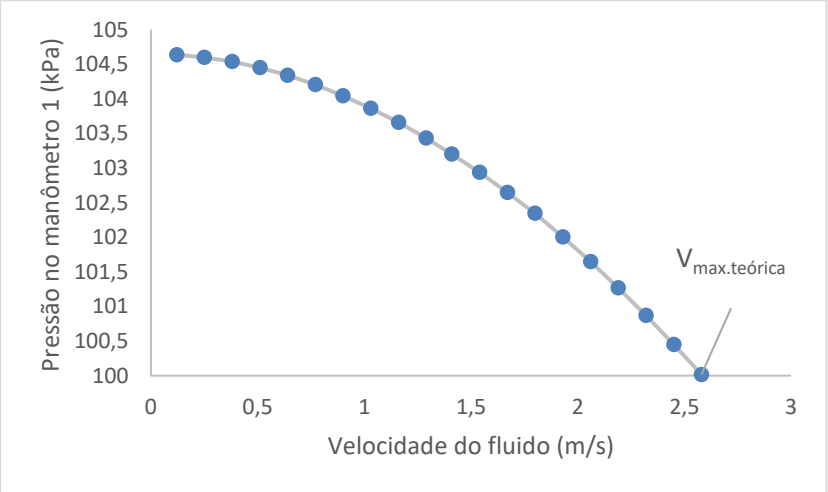


FIGURA 6. Influência da velocidade de escoamento do fluido na pressão apresentada no manômetro 1. Fonte: Autoria própria (2020).

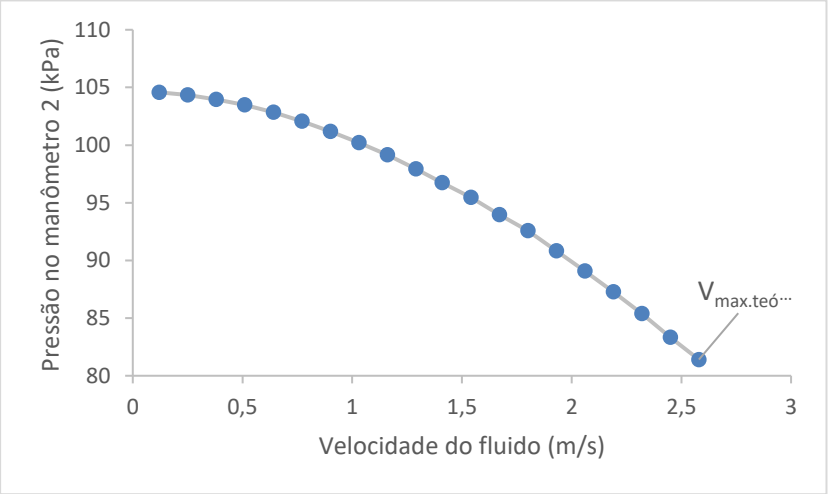


FIGURA 7. Influência da velocidade de escoamento do fluido na pressão apresentada no manômetro 2. Fonte: Autoria própria (2020).

Assim, com as imagens apresentadas pode-se prever e avaliar os valores de vazão, perda de carga e pressões que podem ser obtidos na utilização da bancada de acordo com a velocidade de escoamento utilizada.

A bancada é capaz de agregar no ensino do aluno de engenharia mecânica através da prática e da execução dos experimentos dentro da mecânica dos fluidos, permitindo que o aluno:

- Visualize e diferencie os regimes de escoamento, e entenda os impactos causados em sistemas hidráulicos;
- Conheça e aprenda a função de algumas conexões hidráulicas;
- Compare valores teóricos com práticos de números de Reynolds;
- Calcule a vazão de escoamento em diferentes sistemas;
- Calcule a perda de carga de diferentes sistemas e conexões;
- Entenda o impacto da perda de carga em sistemas hidráulicos;
- Conheça e veja o funcionamento dos manômetros;
- Calcule a potência requerida de uma bomba para diferentes sistemas hidráulicos;
- Visualize se o sistema hidráulico necessita da utilização de bomba ou não.

O aluno que utilizar bem a bancada e ter conhecimento teórico aprofundado sobre ela estará melhor preparado para os desafios da engenharia na área de hidráulica, tanto na sua formação quanto na sua carreira profissional.

Nota- se que com a construção da bancada o aluno pode executar diferentes experimentos e avaliações, utilizando diferentes metodologias que atendam às necessidades pedagógicas como proposto pelo projeto, agregando em sua formação. A bancada também pode favorecer a realização de pesquisas acadêmicas na área de mecânica dos fluidos, ajudando a inserir o aluno no campo da pesquisa. Em trabalhos futuros outras configurações e adaptações para ela podem ser projetadas e executadas, trazendo novos tipos de experimentos para a bancada e novas metodologias para serem aplicadas.

REFERÊNCIAS

CENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. Mecânica dos fluidos-3. Amgh Editora, 2015.

KIRK, E. V. Introdução à engenharia. Livros técnicos e científicos, Rio de Janeiro, Brasil, 1998.

PEKELMAN, H.; MELLO, J. A. A importância dos laboratórios no ensino de engenharia mecânica. Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. COBENGE, Brasília, 2004.

ROCHA, A. R. R.; FIAMENI, F. M.; de Souza, J. D. S. A.; de Freitas, L. M. A práxis da tecnologia na educação de engenharia: Experiência de Reynolds. Juiz de fora, Minas Gerais, Brasil, 2014.

SAMPAIO, S. C.; FRIGO, E. P.; BOAS, M. A. V.; de QUEIROZ, M. M.; GOMES, B. M.; MALLMANN, L. S. Perda de carga em tubulações e conexões conduzindo água residuária da avicultura, Irriga, 2012.

WICKERT, J.; Introdução à engenharia mecânica. Cengage Learning Edições Ltda, 2010.