
Escoamento de fluidos em tanques: uma ferramenta alternativa para o ensino de Mecânica dos Fluidos

Fluid flow in tanks: an alternative approach to fluid mechanics teaching classes

Flujo de fluidos en tanques: una herramienta alternativa para la enseñanza de mecánica de los fluidos

Rodrigo Ferreira Silva
Instituto Federal da Bahia
rodrigo.silva@ifba.edu.br

Edson dos Santos
Instituto Federal da Bahia
edson.santos@ifba.edu.br

Diego Ferreira Souza Cruz
d_dyego@hotmail.com

Resumo

Independentemente das discussões em torno das técnicas de ensino, são notórias a importância e a eficácia de uma abordagem teórico-prática no ensino de Ciências. Sendo assim, neste trabalho foram desenvolvidos dois protótipos para simulações de escoamento em tanques a fim de utilizá-los em aulas experimentais de Mecânica de Fluidos. Com o primeiro protótipo, foi avaliado o escoamento de água utilizando-se três diferentes diâmetros de saída. No segundo protótipo, realizaram-se ensaios com três diferentes fluidos, água, diesel (b7) e óleo vegetal de milho, em regime estacionário, por meio de bombeamento com um mesmo diâmetro de saída. Nos dois protótipos, avaliou-se o nível dos líquidos nos recipientes em função do tempo de escoamento e, com os dados obtidos, foram aplicadas as equações de Bernoulli e Torricelli e foi verificada a qualidade do método de medição. Os valores encontrados permitiram, usando tabelas e gráficos, a constatação de que, respeitados os conceitos teóricos de fluido ideal, é possível extrair resultados satisfatórios, sendo os modelos experimentais uma ferramenta ao ensino de escoamento dos fluidos.

Palavras-chave: Escoamento de fluidos. Modelos. Ensino. Protótipo.

Abstract

Putting the discussions about teaching techniques aside, its notorious the importance and the efficiency of a theoretical-practical approach in science teaching. Therefore, in this work two prototypes were developed for flow simulations in tanks, so we could use them in experimental classes, of Fluid Mechanics. In the first prototype, it was evaluated the flow of water, using three different exit diameters. In the second one, tests were carried out with three different fluids: water, diesel (B7) and corn vegetable oil, in a stationary regime, thru pumping with the same exit diameter. In both prototypes the liquids level were gauged in the recipients, as a function of flow time, and with the data obtained, Bernoulli and Torricelli's equations were applied, and the measurement method's quality was verified. The obtained values allowed, using tables and graphics, the confirmation that, respected the theoretical concepts on ideal fluids, it is possible to extract satisfactory results, been the experimental models a teaching tool in fluids flow.

Keywords: Fluid flow. Models. Teaching. Prototype.

Resumen

Independientemente de las discusiones en torno a las técnicas de enseñanza, son notorias la importancia y la eficacia de un enfoque teórico-práctico en la enseñanza de Ciencias. Siendo así, en este trabajo se desarrollaron dos prototipos para simulaciones de flujo en tanques con la finalidad de utilizarlos en clases experimentales de Mecánica de Fluidos. Con el primer prototipo, se evaluó el flujo de agua utilizando tres diferentes diámetros de salida. En el segundo prototipo, se realizaron ensayos con tres diferentes fluidos, agua, diésel (b7) y aceite vegetal de maíz, en régimen estacionario, por medio de bombeo con un mismo diámetro de salida. En este contexto, en los dos prototipos, se evaluó el nivel de los líquidos en los recipientes en función del tiempo de flujo y, con los datos obtenidos, se aplicó las ecuaciones de Bernoulli y Torricelli y se verificó la calidad del método de medición. Los valores encontrados permitieron, usando tablas y gráficos, verificar que, respetados los conceptos teóricos de fluido ideal, es posible extraer resultados satisfactorios, siendo los modelos experimentales una herramienta para la enseñanza de flujo de los fluidos.

Palabras clave: Flujo de fluidos. Modelos. Enseñanza. Prototipo.

Sabe-se que o ensino das Ciências vem sendo alvo de grandes debates entre diferentes profissionais da educação, estudantes e outras pessoas de diversos setores da sociedade. Nesse contexto, Werlang, Schneider e Silveira (2008), por exemplo, relatam as dificuldades e alternativas encontradas no ensino de Física em uma escola técnica. Os autores sinalizam a importância das aulas experimentais na formação técnica.

Lima, Aguiar Júnior e Braga (1999) discorrem sobre a função da experimentação na relação entre o aprendiz e os objetos de seu conhecimento, sobretudo quando se trata do conhecimento científico.

Esses autores deixam clara a importância da teoria/prática associada ao uso dos saberes e experiências individuais, como ferramentas para o completo entendimento dos fenômenos naturais.

Krasilchik (2008), por sua vez, cita algumas modalidades didáticas: aulas expositivas, demonstrações, excursões, discussões, aulas práticas e projetos, como formas de vivenciar o método científico. O uso integrado e dinâmico de tais modalidades pelo docente vem se mostrando uma estratégia adequada para a completa aprendizagem por parte de estudantes.

O estudo do escoamento de fluidos é obrigatório para a formação dos futuros profissionais da indústria química e petroquímica. Diante disso, e na ausência de um laboratório de Fenômenos de Transporte, sentiu-se a necessidade da criação de protótipos, através dos quais tal estudo fosse realizado de forma mais completa e motivadora.

Sendo assim, descreve-se neste artigo uma pesquisa que teve como objetivo a construção de tanques em escala de bancada, de baixo custo, de modo a possibilitar o emprego de modelos teóricos e a obtenção de modelos empíricos complementares. Ademais, uma abordagem alternativa para o estudo do escoamento de fluidos, por intermédio de protótipos, é apresentada de forma detalhada.

Fundamentação teórica

Educação

Fazer com que os estudantes recebam as mais diversas informações – conhecimento gerado por grandes homens e mulheres ao longo dos séculos – e construam uma *estrutura de conhecimento* em sua vida acadêmica é um desafio que requer experiência e muito estudo por parte dos profissionais da educação.

É indiscutível que, no curso do século XX, muitas mudanças ocorreram na sociedade. Para enfrentar os novos desafios, a escola precisou buscar ferramentas alternativas de modo a melhorar a eficiência do processo educacional. Nesse contexto, o uso responsável da informática e de kits

didáticos para aulas experimentais ilustra muito bem a gama de possibilidades existentes.

O número de empresas que fornecem kits didáticos para as mais diferentes áreas do saber vem crescendo em nosso país. Na área referente aos Fenômenos de Transporte, temos, por exemplo, a utilização disseminada das bancadas hidráulicas, nas quais é possível realizar muitos experimentos, como a determinação de perda de carga, medição de vazão, associação de bombas etc.

A aula experimental não é novidade no ambiente educacional. Sua execução deve ser considerada totalmente natural no processo de ensino. É inconcebível o ensino de conteúdos técnicos ser conduzido na ausência de aulas práticas ou outras atividades similares. Contudo, uma aula experimental não pode acontecer sem um suporte teórico. Outro aspecto fundamental é a discussão prévia sobre tudo o que ocorrerá no laboratório e sobre a execução do pré-relatório.

O fazer auxilia o processo de aprendizagem possibilitando ao estudante, além do efetivo entendimento daquele(s) conhecimento(s) trabalhado(s) teoricamente, o desenvolvimento de habilidades que só a prática proporciona. Outra vantagem das aulas práticas consiste no fato de o estudante ser instigado espontaneamente ao pensamento crítico multi e interdisciplinar.

No quesito motivação do estudante pelo estudo – que enfrenta vários “concorrentes” –, o apoio e o incentivo familiar, o respeito às vocações e um ambiente escolar saudável e motivador são essenciais. Já com relação ao docente, a frequente desmotivação por conta, por exemplo, da falta de laboratórios deve ser superada com comprometimento e criatividade.

Fluidos

A definição mais comum de fluido é: uma substância que se deforma continuamente sob a ação de uma tensão de cisalhamento (Figura 1). Além disso, é um material que, como não tem uma forma própria, assume o formato do recipiente (BRUNETTI, 2008).

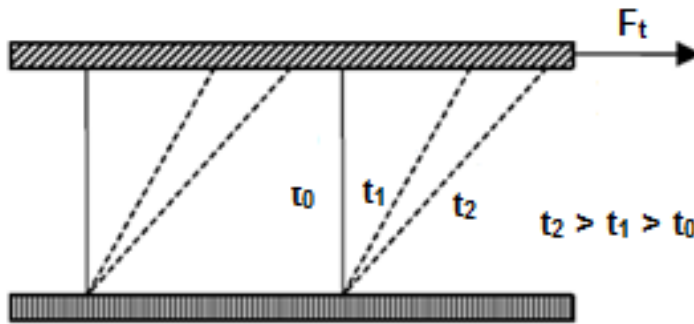


Figura 1 – Comportamento de um fluido sob a ação de uma força de cisalhamento constante

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A Figura 1 mostra a experiência das duas placas. Sob a ação de uma força tangencial (F_t) ou cisalhante, o elemento de fluido se deforma continuamente. Por sua vez, o quociente entre a força tangencial aplicada e a área da placa em contato com o fluido é a chamada tensão cisalhante ou tensão de cisalhamento.

Escoamento de fluidos

Segundo Ferraro, Ramalho Junior e Soares (2007), a Hidrodinâmica é o estudo dos fluidos (líquidos e gases) em movimento, como a água escoando ao longo de um tubo ou no leito de um rio, o sangue que corre pelas veias de uma pessoa etc. Embora nesse ramo da ciência estude-se o movimento dos fluidos em geral, o nome Hidrodinâmica (do grego: *hydro*, água) é conservado por tradição, pois originalmente esse estudo se restringia ao movimento da água.

O escoamento de um fluido pode ocorrer de modo *transiente*, como nas corredeiras e nas cachoeiras, em que a velocidade e a pressão em cada ponto mudam de instante para instante, ou em regime *estacionário* (ou permanente), situação na qual a velocidade e a pressão do fluido em cada ponto não variam no decorrer do tempo, sendo função apenas da posição do ponto.

O escoamento pode ser classificado como, além de transiente, laminar ou turbulento. No regime laminar, idealiza-se que as partículas se deslocam

em lâminas individualizadas, sem trocas de massa entre elas. No regime turbulento, no qual surgem os turbilhões, as partículas apresentam um movimento aleatório macroscópico, isto é, a velocidade apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido (BRUNETTI, 2008). Já o regime transiente, comportamento intermediário entre o laminar e o turbulento, pode ser visualizado, por exemplo, num filete de água saindo de uma torneira parcialmente aberta.

Equação da continuidade

A equação da continuidade, oriunda do Princípio de Conservação da Massa, relaciona a vazão volumétrica, Z , na entrada e na saída de um sistema, conforme a Equação 1. Tomando por referência um tubo cuja seção transversal não seja constante (Figura 2), as seções S_1 e S_2 têm áreas A_1 e A_2 , sendo v_1 e v_2 as velocidades do fluido em S_1 e S_2 respectivamente. Considerando o fluido incompressível, cuja densidade não varia ao longo do tubo, podemos concluir que, no intervalo de tempo Δt , o volume de fluido ΔV que atravessa a seção S_1 é o mesmo que atravessa S_2 .

$$Z_1 = Z_2 \quad A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (1)$$

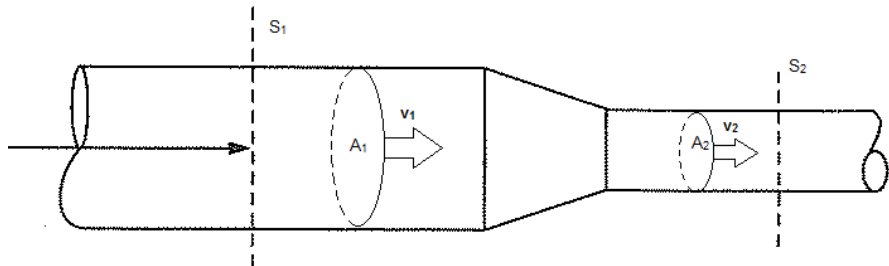


Figura 2 – Trecho de tubulação para aplicação da equação da continuidade

Fonte: Elaborado pelo autor (2007).

Equação de Bernoulli

Por volta de 1738, Johann Bernoulli e Daniel Bernoulli desenvolveram, com as equações hidráulicas que governam parte do comportamento do escoamento de líquidos, um teorema que mais tarde recebeu o sobrenome

desses dois cientistas. A equação relaciona pressão, velocidade do fluxo e altura para o escoamento não viscoso (sem atrito interno) de um fluido incompressível, sem turbulência. Tal equação representa o teorema da energia cinética para o movimento dos fluidos.

Na Figura 3, um fluido incompressível e invíscido (teoricamente sem viscosidade), de densidade d , escoa por uma canalização em regime estacionário – sejam P_1 e P_2 as pressões nos pontos 1 e 2, cujas alturas, em relação a um plano horizontal α de referência, são h_1 e h_2 , respectivamente; sejam v_1 e v_2 as velocidades do fluido nos pontos 1 e 2 e g a aceleração da gravidade local. A Equação 2 estabelece que:

$$P_1 + dgh_1 + dv_1^2/2 = P_2 + dgh_2 + dv_2^2/2 \quad (2)$$

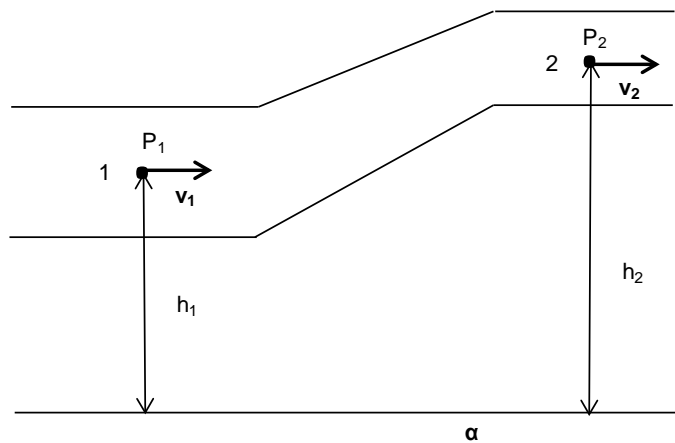


Figura 3 - Trecho de tubulação para aplicação da equação de Bernoulli

Fonte: Ferraro, Ramalho Junior e Soares (2007).

Portanto, para qualquer ponto do fluido, $P+dgh + dv^2/2$ é constante. Nessa equação $P+dgh$ é a chamada pressão estática, e $dv^2/2$, a pressão dinâmica.¹ Aplicando a equação de Bernoulli em caso particular em que $h_1 =$

¹ O termo pressão estática é usado pelo fato de a ação da força gravitacional ser independente do escoamento. Já o termo pressão dinâmica é utilizado por envolver a velocidade do fluido.

$h_2 = h$ e $A_1 > A_2$, temos pela equação da continuidade que $v_2 > v_1$ e $p_2 < p_1$, mostrando que no trecho onde a velocidade é maior, a pressão é menor. Segundo Brunetti (2008), a equação de Bernoulli é baseada em hipóteses simplificadoras que restringem sua aplicação a determinadas situações:

- Regime permanente;
- Sem máquina no trecho de escoamento em estudo;²
- Sem perda por atrito no escoamento do fluido ou fluido ideal;
- Propriedades uniformes nas seções;
- Fluido incompressível;
- Sem troca de calor.

Equação de Torricelli

Um líquido, cujo nível é mantido constante³ (estado estacionário), de densidade d está contido num recipiente. Um pequeno furo é feito na lateral a certa distância h da superfície do líquido. A velocidade horizontal com que o líquido escoo pelo orifício tem módulo v (Figura 4). Para determinamos v , vamos aplicar, para os pontos 1 (na superfície) e 2 (no orifício), a equação de Bernoulli.

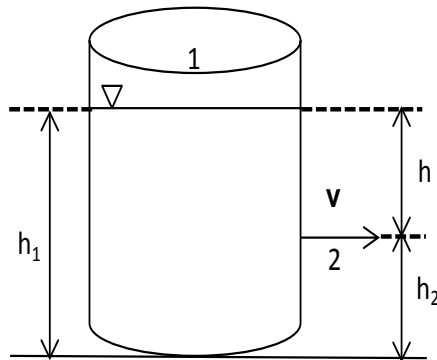


Figura 4 – Recipiente modelo para aplicação da Equação de Torricelli.

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

² Entende-se por máquina qualquer dispositivo mecânico que altere a energia do fluido na forma de trabalho. As que fornecem energia ao fluido serão denominadas “bombas” e as que extraem energia do fluido, “turbinas”.

³ O nível pode ser mantido constante com a recirculação do fluido.

Sendo $P_1 = P_2$ igual à pressão atmosférica, v_1 próximo de zero (o nível é mantido aproximadamente constante) e $v_2 = v$, sendo $h_1 - h_2 = h$, a equação de Bernoulli sofre modificação até chegar à chamada equação de Torricelli conforme Equação 3.

$$\begin{aligned} P_1 + dgh_1 + dv_1^2/2 &= P_2 + dgh_2 + dv_2^2/2 \\ dgh_1 &= dgh_2 + dv_2^2/2 \quad v_2 = 2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \\ v &= (2gh)^{0,5} \end{aligned} \quad (3)$$

em que g é a aceleração da gravidade.

Metodologia

Utilizando-se materiais de baixo custo e fácil aquisição (baldes, mangueiras, tubos e conexões de PVC), foi possível a construção de dois protótipos para o desenvolvimento de estudos em escala de bancada.

Protótipo 1

A Figura 5 mostra um esquema do primeiro protótipo. O sistema consiste em um tanque com medidor de nível e conexões.

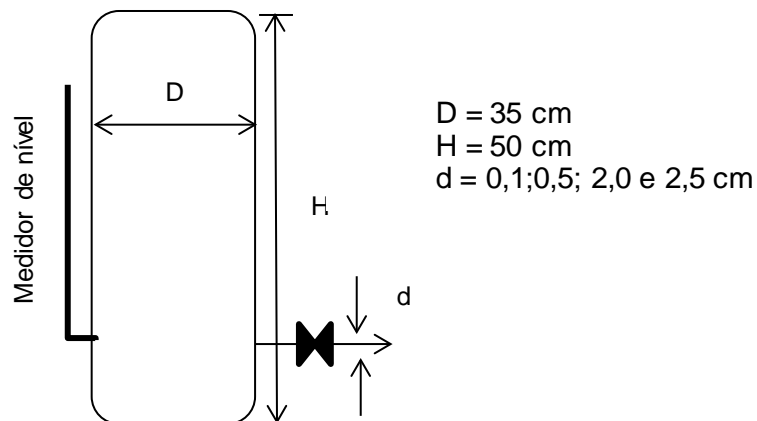


Figura 5 – Esquema do protótipo 1: tanque sem recirculação de fluido

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Já a Figura 6 mostra detalhes reais do protótipo. O flange (a) possibilita a medição da vazão, e o flange (b) foi utilizado para conectar o medidor de nível. Observa-se que no flange (a) foi conectada uma válvula esfera e adaptadores, de forma a viabilizar a variação de diâmetro.

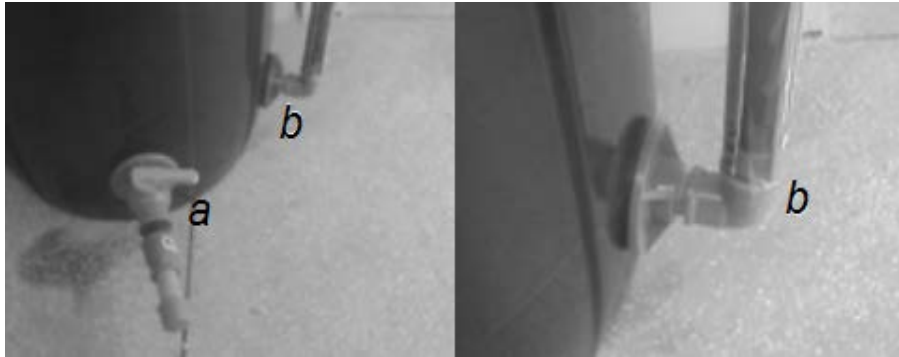


Figura 6 – Visualização dos flanges e medidor de nível.

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

No decorrer do experimento, foram feitos alguns ensaios de escoamento usando água como fluido e utilizando três diâmetros de saída. Durante os ensaios, analisou-se, por meio de regime transiente, a variação do nível dentro do recipiente e a velocidade de escoamento do fluido, obtendo dados empíricos para esses três diâmetros. Também foi utilizado um adaptador com 0,1 cm de diâmetro na saída do fluido, para simulação de escoamento em regime permanente. Verificou-se o tempo que o fluido permanecia escoando sem alterar o seu nível dentro do recipiente. Além disso, a velocidade teórica foi obtida por intermédio da Equação de Torricelli com o valor da altura do fluido no tanque (h_{exp}).

Protótipo 2

A Figura 7 mostra o esquema do protótipo 2. O sistema consiste em um tanque com recirculação do fluido auxiliada por uma bomba de máquina de lavar de 100W.

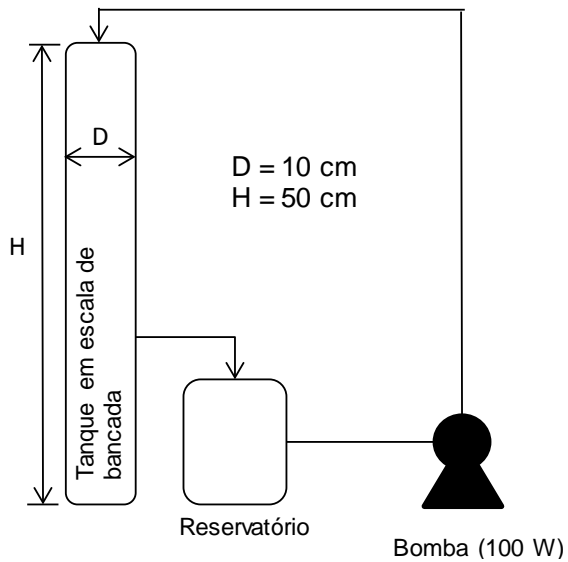


Figura 7 – Esquema do protótipo 2: tanque com recirculação do fluido

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Detalhamentos do sistema real são mostrados na Figura 8.

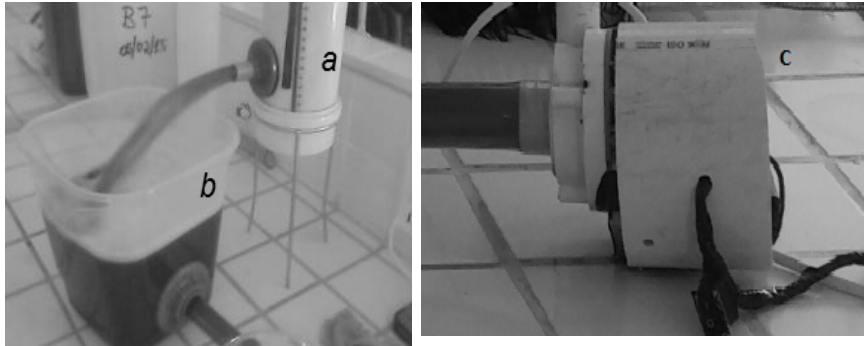


Figura 8 – Detalhamentos do sistema: (a) tanque em escala de bancada, (b) recipiente para recirculação do fluido e (c) bomba adaptada.

Fonte: Elaboradas pelo autor (2017).

O tanque (a) consiste em um tubo de PVC com uma tampa na base e um flange para escoamento do fluido que cai diretamente no recipiente (b), no

qual se utilizou um flange na parte inferior conectado a uma bomba (c), que recircula o fluido por meio de mangueiras.

No decorrer do experimento com o protótipo 2, foram feitos alguns ensaios de escoamento utilizando como fluido: água, diesel (B7) e óleo vegetal de milho. Após o sistema entrar em regime permanente, foram obtidas as vazões volumétricas e, posteriormente, as velocidades de escoamento. Durante os ensaios, analisou-se a variação da velocidade de escoamento conforme o fluido utilizado. Além disso, para cada fluido, foi determinada a velocidade teórica empregando a Equação 3, conforme o nível do fluido observado em cada caso.

Resultados e discussão

Resultados obtidos com o protótipo 1

Na Tabela 1, encontram-se os valores do nível em função do tempo de escoamento, usando água como fluido em três diferentes diâmetros de saída. Observa-se experimentalmente que, quanto menor o diâmetro na saída do tanque, menor será a variação do nível ao longo do tempo. Em outras palavras, para cada diâmetro de saída, tem-se uma taxa de variação de nível com o tempo correspondente.

TABELA 1

Comportamento do nível em função do tempo para três diâmetros de saída

Diâmetros de saída (cm)					
2,5		2		0,5	
Tempo (s)	Nível (cm)	Tempo (s)	Nível (cm)	Tempo (s)	Nível (cm)
0	32	0	32	0	32
5	29,9	5	30,3	5	31,9
10	27,5	10	28,5	10	31,7
15	25	15	26,2	15	31,6
20	22,4	20	24,9	20	31,4
25	20,2	25	23	25	31,3
30	18	30	21,2	30	31,1
35	15,8	35	19,5	35	31,0
40	13,7	40	17,9	40	30,8
45	11,8	45	16,3	45	30,7
50	10	50	14,7	50	30,5

De posse dos valores da Tabela 1, foi possível a obtenção de equações empíricas para cada diâmetro de saída, com o uso do software Excel. A Equação 4 corresponde ao diâmetro de 0,5 cm; a Equação 5, ao diâmetro de 2,0 cm; a Equação 6, ao diâmetro de 2,5 cm.

$$h = -0,03t + 32 \quad (R2 = 1,00) \quad (4)$$

$$h = -0,448t + 31,78 \quad (R2 = 0,997) \quad (5)$$

$$h = -0,348t + 31,83 \quad (R2 = 0,998) \quad (6)$$

em que h representa o nível do fluido no tanque, e t representa o tempo de escoamento.

Na Figura 9, é possível observar a diminuição do nível dentro do recipiente: quanto maior for o diâmetro de saída para o fluido, maior a taxa de variação do nível com o tempo. Este fato pode também ser constatado por intermédio dos coeficientes angulares das Equações 4, 5 e 6.

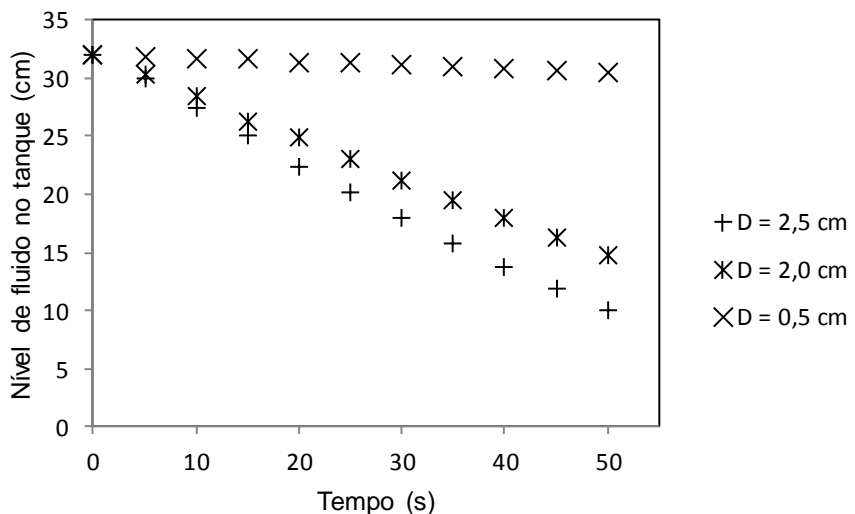


Figura 9 – Variação do nível do fluido no tanque conforme os diferentes diâmetros de saída.

Em posse das equações empíricas (Equações 4, 5 e 6), foi possível a obtenção de valores teóricos para o nível, empregando valores de tempo intermediários ou próximos daqueles apresentados na Tabela 1. Em seguida, realizaram-se novos ensaios de nível em função do tempo, registrando valores conforme a Tabela 2. É interessante ressaltar que os tempos empregados neste novo conjunto de experimentos foram os mesmos utilizados para a obtenção dos dados teóricos.

TABELA 2

Novos valores de nível em função do tempo para três diâmetros de saída

Diâmetros de saída (cm)					
2,5		2		0,5	
Tempo (s)	Nível (cm)	Tempo (s)	Nível (cm)	Tempo (s)	Nível (cm)
0	32	0	32	0	32
6	29,5	6	30,6	6	31,8
12	27,2	12	28,5	12	31,6
18	24,6	18	26,2	18	31,4
24	21,5	24	24,2	24	31,2
26	19,4	26	24	26	31
31	17,2	31	22,5	31	30,8
33	16,1	33	21,6	33	30,6
37	14,4	37	20	37	30,4
41	12,8	41	18,4	41	30,2
44	11,4	44	17,5	44	30

Comparando os dados teóricos com os dados experimentais, foi possível estabelecer a qualidade do método de medição para os três diâmetros de saída do fluido, conforme as figuras 10, 11 e 12. Na Figura 10, é possível verificar os valores em concordância com a linha de tendência (linha 45°),⁴ evidenciando a aproximação entre os valores preditos pela equação empírica e os valores encontrados experimentalmente.

⁴ A aparente tendência senoidal dos pontos não é relevante para o presente estudo. Aqui, o objetivo é a comparação entre os dados preditos e os experimentais: quanto mais próximos da linha, melhor o poder de predição dos modelos e melhor o procedimento experimental.

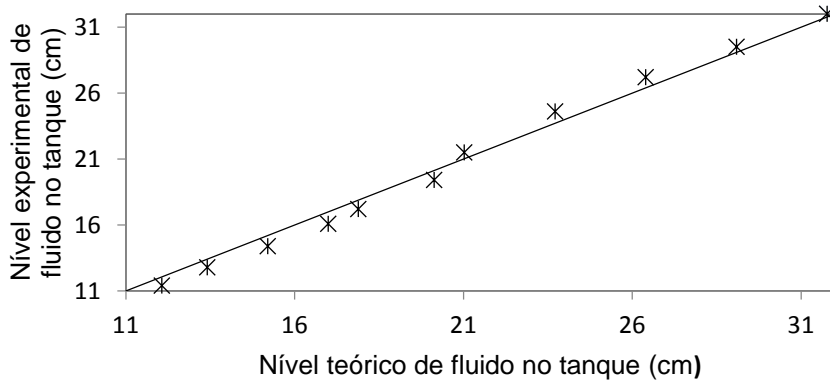


Figura 10 – Comparação entre valores teóricos e experimentais do nível do fluido no tanque (diâmetro de saída 2,5 cm)

É visível que alguns pontos ficaram levemente distantes da linha de tendência. Isto se deveu a possíveis erros de medição, uma vez que as medições foram feitas manualmente com o auxílio de um cronômetro.

Neste momento, vale enfatizar a importância do levantamento de dados e da obtenção dos modelos empíricos (com o uso de algum software). Tais atividades certamente favorecem o aprimoramento de habilidades complementares àquelas desenvolvidas em sala de aula. Apesar de o aluno apenas trabalhar com modelos empíricos simples, a prática experimental auxilia no entendimento do sistema e de como ele pode ser representado matematicamente.

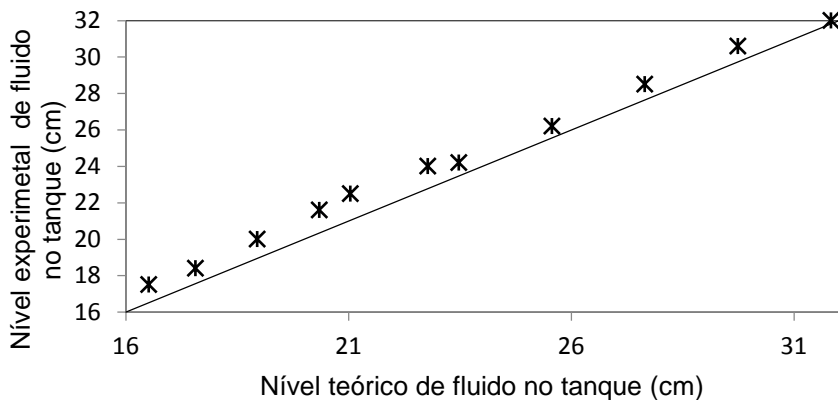


Figura 11 – Comparação entre valores teóricos e experimentais do nível do fluido no tanque (diâmetro de saída 2,0 cm)

Tanto a Figura 11 quanto a Figura 12 mostram que para as medidas realizadas no início do experimento, foram obtidas ótimas aproximações entre os valores teóricos e os empíricos. Vale ainda ressaltar que cada conjunto de dados refere-se a um determinado diâmetro de saída para o fluido.

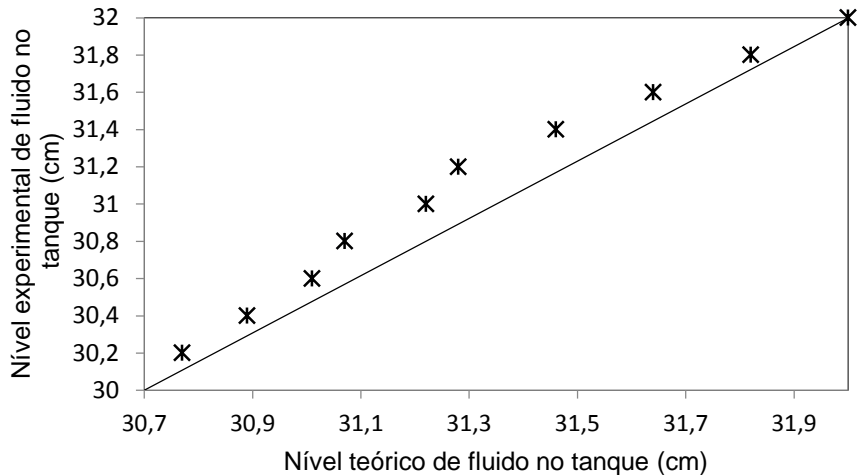


Figura 12 – Comparação entre valores teóricos e experimentais do nível do fluido no tanque (diâmetro de saída 0,5 cm)

Quanto mais os valores se aproximam da linha, melhor é a qualidade do modelo empírico, o que evidencia um grau satisfatório de precisão e a possibilidade do uso do protótipo 1 para o ensino de conceitos básicos de escoamento de fluidos em medições experimentais para validação da teoria.

Emprego da Equação de Torricelli

Além dos diâmetros descritos na Tabela 1, foi adaptada outra saída com diâmetro igual a 0,1 cm. Dessa forma, foi alcançada a condição de um diâmetro de superfície (D) muito maior que o diâmetro da seção de saída (d). Nessa configuração, à medida que o fluido escoar, a variação de nível, em um limite de tempo, pode ser considerada irrelevante, possibilitando o emprego da equação de Torricelli (Equação 3).

Em outras palavras, podemos desprezar, até determinado limite de tempo, a variação do nível do fluido no reservatório, sendo possível

comparar dados experimentais de escoamento com o dado fornecido pela equação de Torricelli ($h_{exp}=0,308$ m), segundo a Tabela 3.

TABELA 3

Comparação entre a velocidade teórica e as obtidas experimentalmente

Tempo (s)	Volume	Velocidade	Velocidade	Erro
	Gasto (mL)	Experimental (m/s)	Teórica (m/s)	
3	5,8	2,46	2,46	0
6	11,5	2,44	2,46	0,82
15	28	2,37	2,46	3,80
18	30,6	2,23	2,46	10,31
60	94,4	2,0	2,46	23,0

No entanto, ao se observar a situação em que o nível no reservatório varia de maneira apreciável, pode-se perceber facilmente que a velocidade do jato diminui. Nesse caso, o uso da equação de Torricelli vale apenas em pequenos intervalos de tempo (até 15 segundos) com um erro percentual aceitável em torno de 4%

Esse experimento pode ser utilizado para reforçar aquilo que conceitualmente é trabalhado com relação à aplicação da Equação de Torricelli em sistemas que se encontram em estado estacionário. Além disso, possibilita a montagem e a visualização de um sistema alternativo que permanece em estado estacionário, mesmo de forma limitada, em razão da falta de circulação do fluido.

Resultados obtidos com o protótipo 2

Após o sistema entrar em regime permanente, foram registrados os níveis dos fluidos no tanque para o cálculo das velocidades teóricas conforme a Equação 3. O nível de água no tanque foi de 11,1 cm, o de diesel foi de 10,4 cm e o de óleo foi de 4,2 cm. Cabe ainda lembrar que tais níveis foram observados tomando como eixo de referência uma linha imaginária que passa pela seção de saída do fluido.

Na Tabela 4, encontram-se os valores da velocidade de escoamento, tendo como fluidos água, diesel (b7) e óleo vegetal. Comparando os valores experimentais com os valores teóricos obtidos por intermédio da equação de Torricelli, foi possível constatar experimentalmente que, dependendo das propriedades de cada fluido, os resultados diferem dos encontrados pelas equações, evidenciando um distanciamento da condição de fluido ideal ou invíscido.

TABELA 4

Comparação entre dados teóricos e experimentais obtidos para o protótipo 2

Fluido	Densidade (g/cm ³)	Velocidade		%Erro
		Experimental (m/s)	Teórica (m/s)	
Água	1,0	1,49	1,48	0,67
Diesel (B7)	0,81	1,41	1,43	1,39
Óleo Vegetal (milho)	0,85	0,38	0,91	58,24

Embora a equação de Torricelli seja obtida desconsiderando os efeitos viscosos, ela fornece valores razoáveis de velocidade para a água e o diesel. No entanto, como já esperado, a Tabela 4 apresenta um erro percentual elevado para o caso do óleo vegetal, já que este apresenta uma viscosidade consideravelmente superior à dos outros fluidos estudados.

O protótipo 2, ao contrário do protótipo 1, permite perfeitamente a aplicação da Equação de Torricelli em qualquer momento após o sistema entrar em estado estacionário. No entanto, o resultado obtido com o óleo mostra claramente que, quando as condições experimentais se afastam consideravelmente daquelas hipóteses simplificadoras empregadas para a obtenção da equação de Torricelli, tal equação deixa de ser útil para a análise.

Considerações finais

A construção dos protótipos possibilitou a coleta e a análise de um número interessante de dados relacionados ao comportamento do nível do fluido em relação ao tempo. Permitiu também a obtenção de modelos empíricos e a aplicação de modelos teóricos para predição dos dados

experimentais, mostrando-se, dessa forma, uma adequada ferramenta para o ensino de conceitos básicos sobre escoamento de fluidos.

Apesar de fluidos reais como água e diesel não obedecerem perfeitamente à equação de Torricelli, tal modelo teve, nos limites esperados, seu poder de predição confirmado. Os modelos empíricos, por sua vez, possibilitaram um estudo não fenomenológico do escoamento da água no tanque em estado não estacionário. O estudo não fenomenológico também possibilitou o relevante uso de uma ferramenta computacional (Microsoft Excel) para a análise dos dados.

Fica como sugestão para trabalhos futuros a elaboração de um roteiro de prática para os alunos de nível técnico. Além disso, seria muito interessante a realização de uma pesquisa no sentido de verificar a melhora no desempenho de alunos que puderem construir os protótipos e realizar os experimentos desenvolvidos neste trabalho.

Referências

BRUNETTI, F. *Mecânica dos fluidos*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

FERRARO, N. G.; RAMALHO JUNIOR, F.; SOARES, P. T. *Os fundamentos da física*. 9. ed. São Paulo: Moderna, 2007.

LIMA, M. E. C. C.; AGUIAR JÚNIOR, O. G.; BRAGA, S. A. M. *Aprender ciências: um mundo de materiais*. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1999.

KRASILCHIK, M. *Prática de ensino de Biologia*. São Paulo: Edusp, 2008.

WERLANG, R. B.; SCHNEIDER, R. S.; SILVEIRA, F. L. Uma experiência do ensino de Física de fluidos com o uso de novas tecnologias no contexto de uma escola técnica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, p. 1503, 2008.