

Construção de uma Câmara bariométrica a partir do barômetro de smartphone

Milton Baptista Filho^{1#} , Leandro Carvalho Pinto Filho²

¹Núcleo de Pesquisa em Física e Ensino de Ciências, Instituto Federal Fluminense, campus Campos Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

²Licenciando em Ciências da Natureza e Física, Instituto Federal Fluminense, campus Campos Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

Palavras-chave

barômetro
smartphone
câmara de pressão
PVC
pressão relativa

Resumo

A instrumentação para realizar experimentos sobre mecânica dos fluidos, embora tecnologicamente bastante consolidada, não é acessível ao ambiente de sala de aula comum e rotineiro. Mesmo em laboratórios de física, a presença de manômetros, barômetros e acessórios para estabelecer condições de ar pressurizado não é tão comum. Alguns modelos de smartphones são dotados de barômetros microeletromecânicos, que têm como uma das funções determinar a altitude local. O barômetro em um smartphone pode ser tão preciso quanto 100 Pa, o que traz uma oportunidade para realização de medidas nesse campo que são imediatas e viáveis para o professor em sala de aula, sem demandar mais equipamentos. Neste trabalho, apresentamos a construção de uma câmara para medidas de pressão relativa utilizando material de custo acessível e de fácil montagem, o que permite utilizar o barômetro de um smartphone para medidas de pressão relativa e exibição de dados acessíveis utilizando o Phyphox e um computador para visualização dos dados gerados a partir do aplicativo. Foram realizados diversos experimentos para testar a câmara e avaliar sua efetividade.

Autor de correspondência. E-mail: mfilho@iff.edu.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2024, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

1. Introdução

Os smartphones são uma fonte bastante acessível de sensores para a experimentação didática. O fácil acesso a essa tecnologia, juntamente com a janela de oportunidade para a criação de experimentos simples, de baixo investimento, que possam ser realizados sem grande preparação, pode ser uma boa oportunidade para aumentar a viabilidade de sua execução ao longo da jornada tipicamente bastante ocu-

pada e exigente na vida de professoras e professores de física e ciências. Vários trabalhos têm apontado que o uso deste recurso para a realização de experimentos rápidos e direcionados ao longo do itinerário das aulas têm boa resposta dos estudantes quanto a uma maior motivação.

A possibilidade de uso imediato dos sensores de um smartphone e sua portabilidade são atrativos que podem fazer desta tecnologia um manancial de oportunidades



Figura 2 - A) Partes da câmara bórica; B) Câmara montada com o tubo de acesso.

tir de certo instante, a seringa preenchida com 20 mL de ar ambiente foi rosqueada ao tubo de acesso e vagarosamente o êmbolo foi empurrado. A câmara permaneceu nesta condição fechada por mais de 14 min, até que a aquisição de dados fosse encerrada.

2.3. Experimento do bécquer submerso

Um aquário foi utilizado como reservatório de água. A câmara bórica, aberta na parte superior, foi imersa na água por meio da adição de parafusos e porcas de aço em seu fundo, de forma a impedir que flutuasse e mantê-la verticalmente alinhada ao aquário [3, 4]. O smartphone foi apoiado sobre essa carga de lastro e uma trena foi utilizada para medir o nível da água. A Fig. 3A mostra o esquema descrito e as Fig. 4A e 4B mostram as fotos da montagem. O barômetro do smartphone foi utilizado para determinar a pressão atmosférica local e a pressão interna da câmara após ser coberta pelo bécquer. A Fig. 3 mostra a dinâmica do experimento antes (A) e depois (B) de o bécquer ser submerso na água.

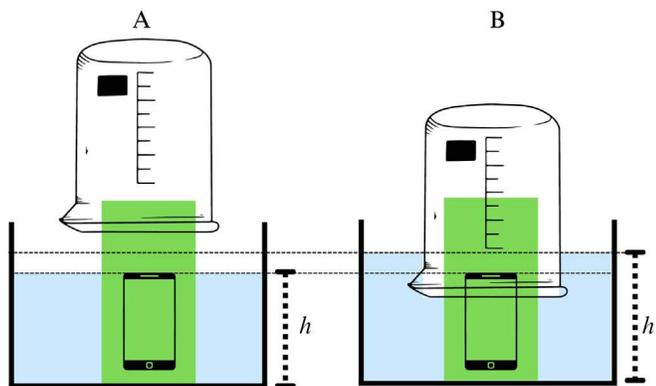


Figura 3 - A) Aquário com água e a câmara bórica parcialmente imersa; B) Aquário com a medida do nível de água elevado após o bécquer ser parcialmente submerso.

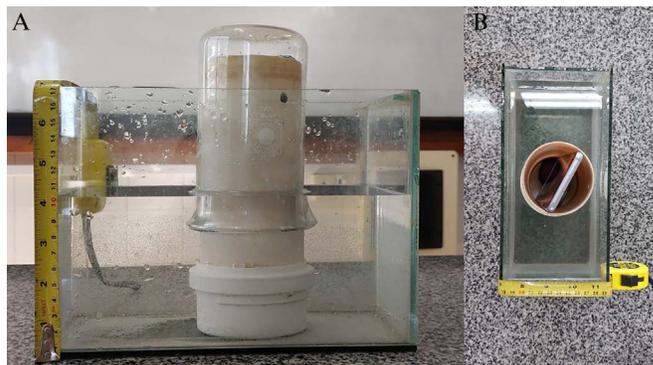


Figura 4 - A) Vista lateral da câmara imersa em água enquanto a medida do nível é realizada; B) Vista Superior da câmara com o smartphone em seu interior.

À medida que o bécquer fosse submerso, a pressão do ar interno no bécquer aumentaria, conforme previsto pela lei geral dos gases ideais para a redução de volume.

$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{p_B \cdot V_B}{T_B} \quad (1)$$

A diferença no nível de água observada pela medida da trena, comparando o nível da água antes e depois de o bécquer ser submerso, foi definida como a diferença de altura h igual a h_B menos h_A , identificando p_A como o valor da pressão atmosférica local com a câmara aberta. A pressão medida a partir do momento em que o bécquer imerge, p_B , aumentando o nível da água, foi determinada quando o nível da água atingiu a altura h_B . A expressão para a diferença dessas pressões em função da massa de água deslocada é.

$$p_A - p_B = \rho_{\text{água}} \cdot g \cdot \Delta h. \quad (2)$$

2.4. Experimento das diferenças de pressão ao longo do Tubo de Venturi

O fenômeno de Venturi é um fenômeno de natureza hidrodinâmica, típico da mecânica dos fluidos, observado tanto em fluidos compressíveis, como o ar ambiente, quanto em fluidos incompressíveis, como a água, até o limite de pressões tão altas quanto 100 atm. Embora tecnologicamente um tubo de Venturi possa ser construído e desenvolvido levando em consideração atributos e concepções variadas [5], em geral, um tubo de Venturi consiste em um caminho restrito para o escoamento do fluido (uma tubulação, por exemplo), com uma área de seção inicial A_1 passando para uma área A_2 mais estreita (Fig. 5).

A vazão mássica Q_m é a massa que escoo pelo tubo por unidade de tempo. Sendo assim, a vazão mássica que entra na extremidade 1 deverá deixar a seção 2 nos casos em que não haja retenção de substância no

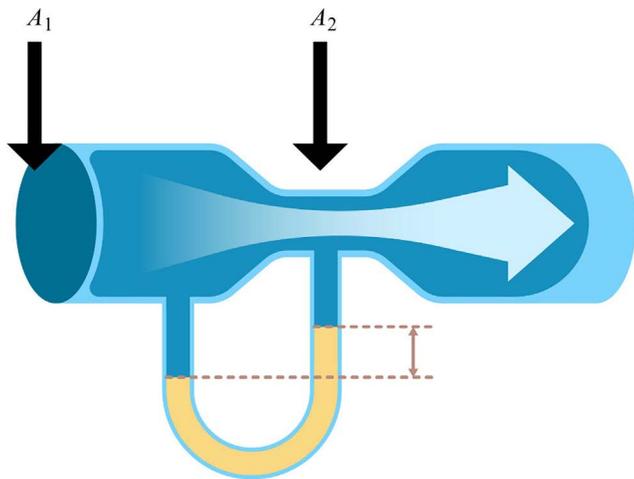


Figura 5 - Imagem ilustrativa das seções de um tubo de Venturi.

interior do tubo. Portanto, temos as vazões mássicas de entrada e saída em função da massa específica do fluido (Equação da Continuidade), da área de seção e da velocidade da frente de área de seção do fluido.

$$\rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2. \quad (3)$$

Se o fluido estiver em circunstâncias em que seja mantido a volume constante, a expressão da Eq. (3) passa a ser

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2. \quad (4)$$

A partir da Equação de Bernoulli, que trata da energia mecânica na dinâmica de um fluido,

$$p + \frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho g h = \text{constante}. \quad (5)$$

A Eq. (5) terá um resultado constante da seção 1 para a seção 2, desde que não haja perda de pressão durante o escoamento. Com o tubo horizontalmente alinhado, a expressão passa a representar os níveis de pressão manométrica e velocidade nas regiões de seção 1 e 2, o que indica que a velocidade de escoamento torna-se mais elevada na região de menor área de seção (2) da Fig. 5, resultando em uma consequente redução do nível de pressão interna.

$$\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2) = (v_2^2 - v_1^2). \quad (6)$$

Antes de iniciar as medidas em cada bico, o tubo foi retirado do túnel de vento para que a câmara fosse utilizada horizontalmente para determinar a velocidade de escoamento do túnel, seguindo a proposta experimental utilizada por Dorsel e cols. [6] (Fig. 6). A Fig. 7 mostra o túnel de vento e o tubo de Venturi acoplado. O



Figura 6 - A) Vista lateral do túnel de vento com o smart-phone posicionado no interior de um béquer de 500 mL; B) Vista superior da montagem.



Figura 7 - Vista lateral do túnel de vento e tubo de Venturi acoplado a sua saída. Os oito acessos à parte interna do tubo foram identificados na foto e serão utilizados na identificação dos dados obtidos.

equipamento utilizado (Fabricante: Leybold Didactic GmbH, Modelo: Windkanal 373041) é um aparelho antigo e uma relíquia no acervo experimental do laboratório da instituição. Ele possui oito acessos à parte interna do tubo, que chamaremos de bicos ao longo do texto. O manual do equipamento informa que o diâmetro do tubo na posição de cada bico, do primeiro ao oitavo bico, mede, respectivamente, 95 mm, 80 mm, 70 mm, 55 mm, 40 mm, 55 mm, 70 mm e 90 mm. O diâmetro do tubo nas extremidades é 100 mm e a vazão máxima produzida pelo ventilador é de 0,243 m³/s. Uma mangueira de silicone foi utilizada para realizar a conexão da câmara bórica com cada bico de acesso ao tubo de Venturi.

3. Resultados e discussão

3.1. Teste de vedação da câmara bórica

A câmara foi lubrificada nas suas extremidades com graxa vegetal para facilitar a conexão das tampas de terminação. Antes de a tampa superior ser encaixada, o aplicativo foi ligado na aba de medidas de pressão e colocado em modo de acesso remoto via computador. Após o aparelho ter sido posicionado dentro da câ-

mar, a tela de acesso remoto ao aplicativo no navegador foi iniciada. Foi feito o rosqueamento da seringa no ponto de acesso e, em seguida, iniciou-se a injeção de ar no interior da câmara. O gráfico apresentado na Fig. 8 mostra desde os momentos iniciais até os 14 min seguintes, nos quais a câmara é mantida fechada.

As medidas típicas que serão realizadas pela câmara são breves, e a câmara serve como uma adaptação experimental que transformou a medida do barômetro realizada pelo smartphone em um manômetro digital. Nos primeiros três minutos de monitoramento, a câmara apresentou uma perda sutil de pressão, equivalente a menos de meio por cento do valor inicial, e após os 14 min de medida, observamos uma queda de pressão menor que 1% (Fig. 8). Os resultados mostraram que o erro decorrente de vazamento da câmara tem uma incerteza pequena para um equipamento construído com material reciclado e de custo reduzido.

3.2. Béquer submerso

Conforme o béquer foi empurrado e posicionado em uma altura mais submersa, o nível da água em seu entorno se elevou, assim como o nível de pressão interna (Fig. 4). A pressão no interior da câmara é apresentada na Fig. 9. Devido à leve concavidade existente na borda do béquer, durante a imersão do béquer à profundidade final, uma massa significativa de

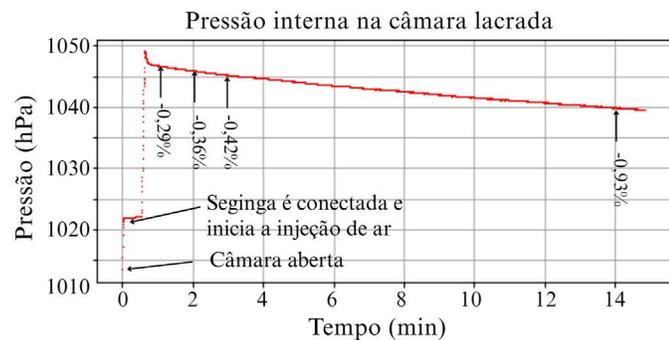


Figura 8 - Pressão no interior da câmara vedada após a injeção de 20 mL de ar ambiente.



Figura 9 - Pressão medida em função do tempo em três momentos: antes de o béquer entrar em contato com a água, no primeiro nível de submersão e no segundo nível de submersão.

ar escapou, o que reduziu a pressão interna determinada. Para realizar uma medida com maior precisão, seria recomendada a substituição do béquer por um recipiente de borda regular. A partir da Eq. (2), os dados puderam ser ajustados para obtenção do valor da massa específica da água.

$$\rho_{\text{água}} = \frac{p_A - p_B}{\Delta h \cdot g} \quad (7)$$

O valor da aceleração da gravidade, g , foi adotado como $9,8 \text{ m/s}^2$. A partir dos valores de pressão obtidos e da altura da água no interior do béquer (ver Fig. 9), a massa específica da água foi estimada a partir dos valores de pressão manométrica medidos e das alturas do nível da água (Fig. 9). A massa específica da água foi determinada para cada nível de pressão em 1032 kg/m^3 (primeiro nível de pressão) e 1147 kg/m^3 (segundo nível de pressão). O valor de referência para a massa específica da água à temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ é $997,04 \pm 0,83 \text{ kg/m}^3$ [7]. Comparando os valores da massa específica obtidos com o valor de referência, obteve-se uma diferença de 4% e 15%, respectivamente.

3.3. Tubo de Venturi

As medidas de pressão utilizando a câmara com o tubo de Venturi foram iniciadas com a determinação da velocidade do vento com o tubo aberto. O teste de velocidade pela variação da pressão, proposto por Dorsel [6], foi realizado e o resultado é apresentado na Fig. 10. À temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, a densidade do ar foi estimada em $1,195 \text{ kg/m}^3$. A partir da Eq. (6), a velocidade do vento produzido pelo tubo aberto foi estimada em $16,5 \text{ m/s}$. O manual do equipamento informa que a velocidade de escoamento original (equipamento novo) é aproximadamente 19 m/s . Dorsel [6], utilizando um equipamento do mesmo modelo, estimou a velocidade do vento em condições similares acima de 10 m/s .

A câmara foi utilizada para medir a pressão a partir de cada bico com o túnel de vento em fluxo. As medidas são apresentadas na Fig. 11. A sensibilidade do ba-



Figura 10 - Diferença de pressão observada quando o nível de pressão no interior do béquer aumenta em função do fluxo de ar.



Figura 11 - Nível de pressão observado quando a câmara foi conectada a cada saída (bico) do tubo de Venturi.

rômetro e a vedação da câmara permitiram que as medidas fossem realizadas com precisão. A partir desses dados, é possível estimar a relação entre a velocidade do ar e o bico, utilizando a Eq. (6), considerando a velocidade do vento de entrada no valor estimado.

A Eq. (6) foi utilizada para estimar a velocidade do ar na direção de cada bico do tubo de Venturi, conforme ilustra a Fig. 7. O perfil de velocidade por bico apresentado no gráfico da Fig. 12 segue em concordância com a tendência entre a vazão produzida pelo ventilador e a área de seção na posição de cada bico.

4. Conclusão

Foi apresentada a construção de uma câmara bária com material de fácil acesso e custo reduzido. O equipamento utilizou inicialmente um pedaço reciclado de cano PVC de 100 mm. Duas tampas de terminação na medida do cano foram adquiridas. Um tubo plástico reciclado de um kit para manutenção de freio hidráulico de bicicletas foi utilizado como acesso à câmara por meio de uma mangueira flexível de silicone e uma seringa que foi utilizada para injeção de ar. Um smartphone dotado de barômetro foi utilizado como sensor interno à câmara. Além da pressão atmosférica, medida típica realizada por esse sensor, sua inserção na câmara bária tornou-o um manômetro preciso com incertezas de 100 Pa, que foi aplicado a

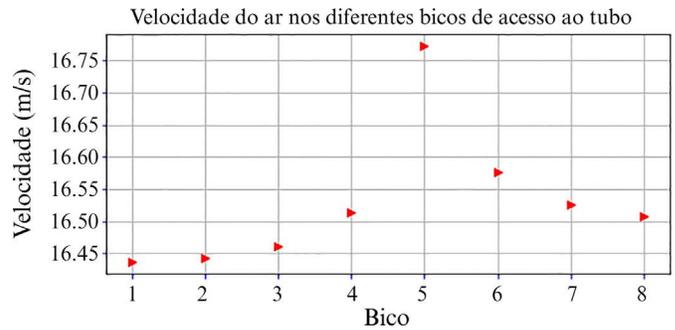


Figura 12 - Velocidade do ar em cada bico (saída) do tubo de Venturi.

três experimentos: Observação da pressão interna da câmara quando ar é injetado, análise dos níveis de pressão em um béquer submerso em água e a determinação da massa específica da água, além da análise das velocidades de escoamento do ar em diferentes bicos (saídas) de um tubo de Venturi. As situações envolvidas nas análises puderam ser observadas com precisão barométrica de 100 Pa (equivalente a uma coluna de 1,02 cm), indicando as tendências esperadas para cada fenômeno com clareza. A proposta de um equipamento simples e de fácil construção pode ser empregada em atividades didáticas voltadas ao ensino da hidrostática e da hidrodinâmica. O equipamento, associado a um smartphone dotado de barômetro ou a um barômetro instalado em uma placa de programação de microcontrolador (Arduino, ESP etc.), pode ser um elemento motivador para estimular propostas pedagógicas que envolvam o desenvolvimento de um projeto e medidas com boa precisão, permitindo a integração de medidas digitais e de fácil exibição em tela e possibilitando a integração dos estudantes no desenvolvimento de projetos.

Recebido em: 11 de Agosto de 2023

Aceito em: 28 de Março de 2024

Referências

- [1] S. Macchia, *The Physics Teacher* **54**, 373 (2016). doi [doi](#)
- [2] M. Monteiro, P. Vogt, C. Stari, C. Cabeza, A.C. Martim, *The Physics Teacher* **54**, 308 (2016). doi [doi](#).
- [3] L. Kasper, P. Vogt, *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* **158**, 49 (2017).
- [4] J. Kuhn, P. Vogt, *Physik Ganz Smart* (Springer Spektrum Berlin, Heidelberg, 2020), p. 202.
- [5] S. Macchia, R. Vieyra, *Phys. Educ.* **52**, 13004 (2017). doi [doi](#)
- [6] D. Dorsel, S. Staacks, H. Heinke, C. Stampfer, *The Physics Teacher* **60**, 273 (2022). doi [doi](#)
- [7] M. Tanaka, G. Girard, R. Davis, A. Peuto, N. Bignell, *Metrologia* **38**, 301 (2001). doi [doi](#)