

CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE PITOT: MEDINDO A VELOCIDADE DO VENTO

Construction of a pitot tube: measuring wind speed

Naiara Cipriano Oliveira [naiara.cipriano@urca.br]

Universidade Regional do Cariri

Museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens

Rua Plácido Cidade Nuvens, 326, Santana do Cariri, Ceará, Brasil

Jusciane da Costa e Silva [jusciane@ufersa.edu.br]

Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física-Polo 09

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró

Rua Francisco Mota 570, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil

Gustavo Oliveira Gurgel Rebouças [gustavoreboucas@ufersa.edu.br]

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Angicos

Rua Gamaliel Martins, 587. Alto da Alegria, Angicos, Rio Grande do Norte, Brasil

Recebido em: 31/08/2023

Aceito em: 10/12/2023

Resumo

A medição da velocidade relativa do ar em relação a um objeto que se move é de fundamental importância na aviação, pois a velocidade de sustentação de uma aeronave depende desse parâmetro e não de sua velocidade em relação ao solo. Há ainda interesse na velocidade relativa do ar para o entendimento da aerodinâmica de automóveis. No caso dos automóveis, a velocidade relativa do ar em relação ao veículo é crucial, sendo responsável por manter e até mesmo aumentar a força normal do automóvel no solo, garantindo sua estabilidade. Dessa forma, o instrumento construído e utilizado neste trabalho para medir a velocidade do ar é o tubo de Pitot. Com ele, é possível identificar a velocidade relativa de objetos em movimento em relação ao ar, utilizando a equação de Bernoulli. A proposta do tubo de Pitot pode ser utilizada em sala de aula já montado de forma demonstrativa ou como uma proposta sociointeracionista, na qual os estudantes seriam responsáveis por sua construção e execução das medições, a depender dos objetos e tempo disponíveis para o uso como ferramenta experimental. Através da associação dos princípios fundamentais da hidrostática e hidrodinâmica, é possível medir a velocidade do ar gerado por dispositivos comuns, como secadores de cabelos e ventiladores domésticos.

Palavras-Chave: Tubo de Pitot; velocidade de sustentação; aparato experimental.

Abstract

The relative airspeed of the moving object is fundamental in the aviation area. In other words, the aircraft's lift speed depends on this parameter and not on its speed concerning the ground. There is also interest in relative air speed for understanding automobile aerodynamics. In the case of racecars, the relative speed of the air around the vehicle is crucial, responsible for maintaining and even increasing the normal force of the automobile on the ground, thus ensuring its high-speed stability. In this work, we built and used an instrument to measure air speed flow, the Pitot tube, through which it is possible to identify the relative speed of objects moving about the air using Bernoulli's equation. Pitot tube proposal can be used in the classroom as a demonstration or as a socio-interactionist proposal, in which the students would be responsible for building it and taking the measurements, depending on the objects and time available to use it as an experimental tool. Therefore, by combining

the fundamental principles of hydrostatics and hydrodynamics, it is possible to measure the speed of air generated by familiar devices such as hair dryers and household fans.

Keywords: Pitot tube; sustain speed; experimental apparatus.

Introdução

A elaboração de equipamentos experimentais como instrumento de ensino é desafiadora tanto do ponto de vista técnico dos docentes quanto em termos de custos financeiros (Axt & Moreira, 1991). De acordo com Giordan (1999), a experimentação desperta o interesse e impulsiona o aumento da capacidade de aprendizagem do discente, uma vez que a construção do conhecimento depende de uma abordagem experimental, ocorrendo predominantemente durante o desenvolvimento de atividades investigativas. A integração de atividades experimentais com a teoria tem sido amplamente defendida nas últimas décadas; no entanto, as salas de aula ainda permanecem predominantemente focadas na exposição teórica. Delizoicov & Angotti (2006) destacam que é fundamental assegurar atividades experimentais, a fim de evitar que a relação entre teoria e prática se transforme em uma dicotomia.

O conceito de Física, conforme apresentado nos livros didáticos, é o de que se trata da ciência que estuda a natureza e seus fenômenos (Young & Freedman, 2015). Entretanto, a forma como a Física é frequentemente apresentada aos estudantes muitas vezes é comprometida pela presença de um forte formalismo matemático. A Física deveria despertar o interesse de todos, uma vez que por meio dela conseguimos compreender o universo, a luz e o calor do Sol, elementos essenciais para a vida na Terra. Além disso, ela está envolvida na utilização de celulares e computadores, no aquecimento de alimentos em micro-ondas e até mesmo na sustentação de uma aeronave no céu. É surpreendente a forma como a física está intrinsecamente ligada ao nosso cotidiano, permeando aspectos que vão desde os fenômenos naturais, como os analisados por meteorologistas, até a aplicação de dispositivos eletrônicos.

Ensinar Física a partir da exploração de fenômenos ou dispositivos familiares ao cotidiano pode ser uma estratégia necessária para despertar a curiosidade e o interesse dos discentes. De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica, o desenvolvimento científico e tecnológico deve basear-se na contextualização do conhecimento a partir da realidade vivenciada pelos alunos, assegurando que a aprendizagem seja relevante e socialmente significativa. As diretrizes curriculares para Educação Básica afirmam que “A apropriação de conhecimentos científicos se efetiva por práticas experimentais, com contextualização que relacione os conhecimentos com a vida, em oposição a metodologias pouco ou nada ativas e sem significado para os estudantes” (Brasil, 2013, p. 167).

O ensino de conceitos relacionados a fluidos para a Educação Básica, quando não negligenciado, se limita à hidrostática. Os livros didáticos de Física aprovados no Programa Nacional do Livro Didático no triênio 2018-2020 (Schivani et al., 2020) não abrangem conceitos relacionados à hidrodinâmica, especialmente a equação de Bernoulli e equação da continuidade, fundamentais para descrever o escoamento de um fluido (Bonjorno, 2016; Nani et al., 2016; Silva & Filho, 2015). Explorar conceitos relacionados à dinâmica de fluidos é fundamental para a compreensão de diversos fenômenos e dispositivos em nosso cotidiano. Um exemplo notável é a sustentação de aeronaves, bem como, o funcionamento de bombas d'água e de ar, o funcionamento de aerogeradores numa

usina eólica, a correnteza em rios e canais, o fluxo de sangue em veias e artérias e o funcionamento da chaminé de uma lareira ou churrasqueira, entre outros.

Diversos dispositivos desempenham um papel crucial no entendimento da mecânica dos fluidos, com aplicações práticas que podem ser exploradas didaticamente em aulas de Física. Exemplos incluem o perfil de uma asa de avião e a determinação de suas velocidades relativas em relação ao ar (Souza & De Mello, 2017; Weltner et al., 2001), assim como o funcionamento de usinas hidroelétricas (Teixeira et al., 2017). Além de aplicações mais simples, como o funcionamento de um sifão (Vertchenko et al., 2009), o princípio do tubo de Venturi (Cid & Correa, 2019), e a avaliação da vazão através de uma saída lateral de um fluido (Dornelles Filho, 1996; Moraes et al., 2020), esses conceitos desempenham um papel importante no ensino de Física na área de mecânica dos fluidos. Contudo, é comum que, em sala de aula, os conceitos físicos relacionados a essas aplicações sejam frequentemente negligenciados, resultando na redução do estudo de fluidos apenas à hidrostática (Bonjorno, 2016; Nani et al., 2016; Silva & Filho, 2015).

O tubo de Pitot, um dispositivo de grande relevância na aplicação da mecânica dos fluidos, destaca-se pelo seu uso na medição de velocidades de fluidos em rios, redes de abastecimento de água, adutoras e oleodutos. Na aerodinâmica, onde a velocidade das aeronaves desempenha um papel fundamental, o tubo de Pitot destaca-se como um equipamento imprescindível para a medição da velocidade relativa da aeronave em relação ao ar. E em sua construção mais simplificada, é composto por um manômetro diferencial, tubo em “U”, com uma das extremidades apresentando área de seção transversal na direção oposta ao fluxo de velocidade do ar e a outra com a área de seção transversal apontando perpendicularmente a este fluxo. Utilizando conceitos de mecânica dos fluidos, a diferença de pressão entre as duas extremidades possibilita a medida da velocidade relativa do ar em relação ao aparato.

Para fins didáticos, é possível montar um tubo de Pitot para medir a velocidade do ar gerada por equipamentos que sopram ar, utilizando um manômetro de água. Nesse arranjo, a profundidade relativa da coluna de água é empregada para medir a pressão com base no teorema de Stevin. Essa pressão, quando combinada com a equação de Bernoulli, permite a previsão da velocidade do ar (Kamela, 2007; Koumaras & Primerakis, 2018). Este método também pode ser empregado para investigar o fluxo do ar ao redor de objetos, como esferas e perfis de asas de avião em escala reduzida (Cohen & Horvath, 2003; Koumaras & Primerakis, 2018). Além disso, há a opção de utilizar um aplicativo de celular no qual é possível medir a pressão relativa entre dois pontos, permitindo, por exemplo, estimar a velocidade de um carro de maneira aproximada (Dorsel et al., 2022).

Neste estudo, propomos a construção de um tubo de Pitot simples, visando medir a velocidade relativa do ar gerado por dois equipamentos domésticos: o ventilador e o secador de cabelos. Este dispositivo pode ser reproduzido pelo docente conforme apresentado neste trabalho ou adaptado, dependendo dos materiais e serviços disponíveis. Ele pode ser integrado às aulas de mecânica dos fluidos, possibilitando a associação de conceitos de hidrostática e hidrodinâmica por meio da medição da velocidade do ar em movimento relativo ao aparato experimental. Outra possibilidade é que os próprios estudantes construam o dispositivo, promovendo sua maior inserção e protagonismo na aprendizagem. Isso os transforma em agentes ativos do processo ensino-aprendizagem.

O tubo de Pitot e a equação de Bernoulli

A sonda de pressão de estagnação, comumente conhecida como tubo de Pitot, é um instrumento de medição amplamente utilizado para calcular a velocidade de escoamento de um fluido. Foi inventado por Henri Pitot em 1732, quando ele buscava medir a velocidade do fluxo do rio Sena em Paris. Durante esse período, Pitot desenvolveu um tubo no qual uma de suas extremidades estava imersa e posicionada perpendicularmente ao escoamento da água (Benedict, 1984). Adicionalmente,

um segundo tubo, com uma curva de 90° em formato de L, foi submerso à mesma profundidade do primeiro, com a abertura voltada contra o fluxo do fluido (Anderson, 2016), conforme ilustrado na Figura 1(a). Em ambas as configurações, a pressão dentro do tubo, denominada de pressão estática, foi utilizada para medir a velocidade do fluxo de água.

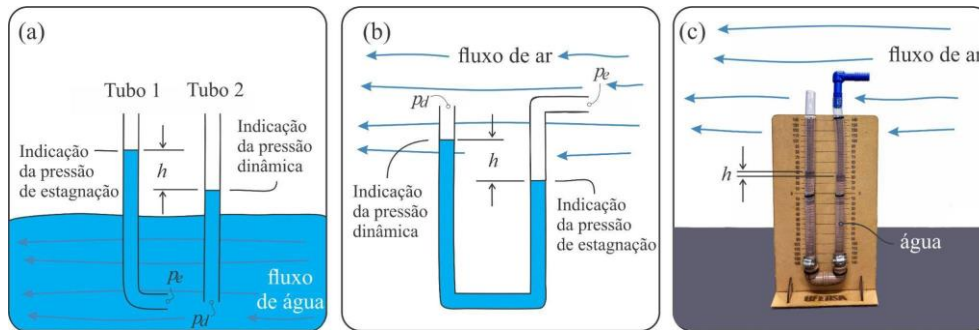


Figura 1: (a) Abordagem fundamental para o tubo de Pitot, ideia inicial, visando a medição da velocidade do fluxo de água. (b) Tubo de Pitot para avaliar a velocidade do fluxo de ar, (c) tubo de Pitot proposto neste trabalho.

Fonte: Autores.

A diferença de elevação, representada por h , entre as duas colunas de água contidas no interior dos tubos, indica a diferença entre a pressão na extremidade do tubo estático, chamada de pressão de estagnação p_e , e a pressão dinâmica do tubo p_d , levando em consideração uma área de seção transversal perpendicular à direção da linha de escoamento do fluido (Benedict, 1984). A velocidade do fluxo da água nas extremidades inferiores dos tubos pode ser determinada pela equação de Bernoulli, sob a simplificação de um fluido ideal em um escoamento também ideal, caracterizado por um regime permanente, ausência de atritos internos, ocorrência ao longo de uma linha de corrente, incompressibilidade, uniformidade nas seções de áreas de interesse e ausência de turbulência (Fox et al., 2014; Young & Freedman, 2015).

A equação de Bernoulli, derivada do teorema trabalho e energia cinética, estabelece que ao longo de uma linha de corrente de escoamento de um fluido ideal, a soma do trinômio em qualquer ponto é constante, e pode ser expressa matematicamente como:

$$p + \rho gy + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constante} \quad (1)$$

onde p é pressão absoluta, y é a altura relativa do ponto de escoamento, ρ é a massa específica do fluido e v a velocidade de escoamento.

A Figura 1(a) ilustra o princípio fundamental do tubo de Pitot. Na extremidade inferior do tubo 1, conhecido como sonda de estagnação, o fluido em escoamento desacelera até atingir velocidade zero por meio de um processo isento de atrito. Neste ponto, é obtida a pressão de estagnação p_e . Por outro lado, a pressão dinâmica p_d é observada na extremidade inferior do tubo 2. É importante mencionar que a descrição fornecida envolve diversas aproximações e idealizações, assim como a relação entre a pressão de estagnação e a geometria específica da ponta da sonda (Benedict, 1984), as quais não serão abordadas neste estudo. A Figura 1(b) ilustra o conceito fundamental da aplicação do tubo de Pitot para a medição da velocidade do ar.

Ao comparar os pontos da pressão de estagnação p_e e pressão dinâmica p_d , usando a Equação (1), a velocidade de escoamento v para um líquido de densidade ρ , mantendo a altura relativa, é expressa por:

$$v = \sqrt{\frac{2(p_e - p_d)}{\rho}}. \quad (2)$$

Na Figura 1(a), o líquido que flui é o mesmo que se eleva nos tubos, e ambos estão expostos à pressão atmosférica. A diferença de pressão pode ser determinada por meio do teorema de Stevin,

que relaciona a diferença de pressão entre dois pontos de um fluido ideal em repouso. Portanto, é possível estabelecer a diferença de pressão entre os dois tubos em função da diferença de elevação h , da seguinte forma,

$$p_e - p_d = \rho g h \quad (3)$$

onde g é a aceleração da gravidade.

Outro modelo de tubo de Pitot é apresentado esquematicamente na Figura 1(b). Nesse caso, o objetivo é determinar a velocidade de um fluxo de ar, conforme indicado. Consideramos o ar como um fluido ideal. Para obter a diferença de pressão na Equação (3), levamos em consideração a massa específica da água ρ_w , bem como a massa específica do ar ρ_a . Portanto, ao combinar as Equações (2) e (3), a velocidade do ar pode ser calculada da seguinte maneira,

$$v = \sqrt{\frac{2\rho_w g h}{\rho_a}}. \quad (4)$$

A Equação (4) será utilizada para determinar a velocidade do ar em movimento relativo ao tubo de Pitot mostrado na Figura 1(c). Na próxima seção, serão apresentados detalhes da construção do tubo de Pitot.

Materiais e Métodos

A construção do tubo de Pitot, representado na Figura 1(c), foi realizada utilizando os seguintes materiais: uma base confeccionada em MDF cortado e gravado a laser, mangueiras transparentes de jardim com diâmetro de $\frac{1}{2}$ polegadas, joelhos de PVC para uso hidráulico, joelho específico para mangueira de $\frac{1}{2}$ polegada, abraçadeiras metálicas e abraçadeiras *nylon*. A Figura 2 apresenta a montagem, identificando cada um dos materiais empregados. A confecção da base em MDF foi realizada mediante o corte por uma máquina a laser, que, adicionalmente, pode gravar uma escala em centímetros e até mesmo inscrições sem incorrer em custos elevados. A Figura 2 detalha os materiais utilizados na construção do tubo de Pitot, bem como os componentes empregados para produzir o fluxo de ar, como o secador de cabelo e o ventilador, cujas velocidades serão medidas.

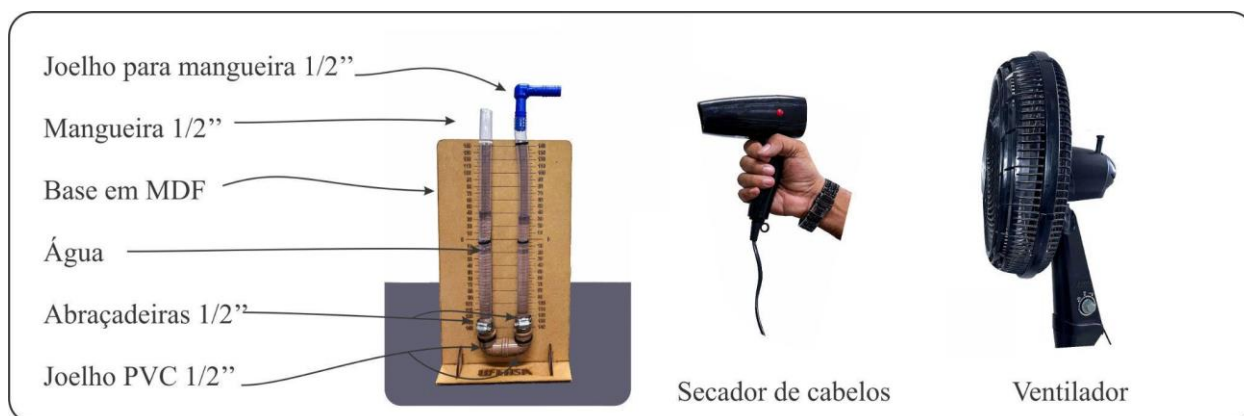


Figura 2: Detalhe dos materiais empregados na fabricação do tubo de Pitot, juntamente com o secador de cabelos e o ventilador utilizados para produzir o fluxo de ar. Fonte: Autores.

A base em MDF pode ser substituída por outros materiais que o docente tenha à disposição, como papelão, isopor ou até mesmo outro tipo de madeira que possam ser cortados manualmente. A graduação impressa no MDF pode ser substituída por um papel milimetrado comum, colocado atrás do manômetro de água. A principal facilidade do aparato é a construção do manômetro e da sonda de estagnação com as mangueiras transparentes e suas conexões próprias.

Uma sugestão de aplicação em sala de aula consistiria em abordar, primeiramente de maneira histórica, o conceito do tubo de Pitot conforme representado na Figura 1(a), empregado para medir

fluxos de água, e aprofundar-se na explicação teórica envolvendo os conceitos da hidrostática e hidrodinâmica. Em seguida, seria oportuno apresentar o tubo de Pitot adaptado para medir a velocidade de fluxos de ar, conforme exemplificado na Figura 1(b), destacando sua relevância como um equipamento indispensável em aeronaves. Isso se deve ao fato de que a sustentação de uma aeronave é influenciada diretamente pela velocidade relativa em relação ao ar, e não pela velocidade relativa em relação ao solo. Vale destacar que os tubos de Pitot utilizados em aeronaves são extremamente mais precisos, sendo equipamentos de caráter obrigatório. A falha desses dispositivos é reconhecida como uma das potenciais causas de desastres aéreos¹.

Pode-se também, a depender do tempo disponível, propor aos discentes a montagem do tubo de Pitot com os materiais sugeridos ou adaptações deles. Neste caso a interação dos alunos com o aparato será bem mais efetiva. Em seguida realizar as medições e trabalhar ainda com erros e medidas, além da hidrostática e hidrodinâmica.

Resultados

Apresentamos nesta seção duas montagens do dispositivo proposto para a medição da velocidade do fluxo de ar produzido por um secador de cabelos e por um ventilador. A aplicação em sala de aula pode ser realizada pelo docente a depender de diversos fatores, com objetivos bem definidos e tempo disponível. É importante evitar que o experimento seja um aferidor do assunto estudado, principalmente de fórmulas matemáticas, presente no livro didático. A experimentação deve ser utilizada para a aquisição de conceitos, bem como de sua reformulação. O presente material instrucional apesar de ainda não aplicado em sala de aula, se apresenta como um instrumento didático confiável do ponto de vista técnico, bem como de sua construção e adaptação.

A utilização do tubo de Pitot para medir a velocidade do ar proveniente do secador de cabelos e do ventilador está representada na Figura 3, juntamente com suas respectivas variações de h . A captura através da fotografia aprimora a precisão da medida, pois permite a ampliação pontual da imagem, facilitando a identificação dos valores das diferenças de altura entre as colunas. A gravação na base em MDF tem uma precisão da ordem de milímetros. Ao ligar os aparelhos, é possível detectar rapidamente a diferença entre as alturas das colunas de água no manômetro. No caso do secador de cabelos, a medida de h foi de aproximadamente 0,008, enquanto para o ventilador foi de 0,007 m. As medições podem variar ao longo do tempo e devido a manipulação dos aparelhos. No entanto, busca-se manter a estabilidade em relação ao tubo de Pitot. De modo que, recomenda-se realizar diversas fotografias para obter uma média, embora, dado que a ênfase principal é na demonstração do princípio de funcionamento do tubo de Pitot, uma imagem de cada situação é o suficiente. Adicionalmente, ainda é possível explorar diferentes velocidades do ar nos aparelhos ou distâncias distintas para fins de experimentação.

¹ Voo AF 447 caiu após falhas técnicas e humanas, aponta relatório final. Acesse em: <https://g1.globo.com/Acidente-do-Voo-AF-447/noticia/2012/07/erros-humanos-e-tecnicos-causaram-acidente-do-voo-447-diz-franca.html>.

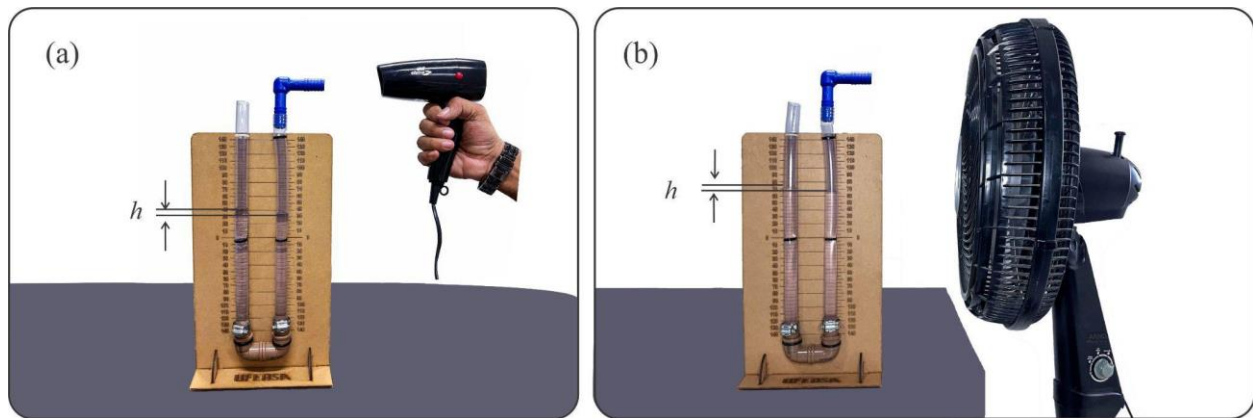


Figura 3: Tubo de Pitot utilizado como objeto de estudo, empregado para medir a velocidade do ar proveniente de um (a) secador de cabelos e (b) ventilador. Fonte: Autores.

Ao empregar a Equação (4) com os valores das massas específicas do ar e da água a 20 °C e pressão atmosférica (1,16 e 998,21 kg/m³, respectivamente (Haynes, 2016)), foram obtidas as velocidades do ar para o secador de cabelos e o ventilador: 11,62 m/s e 10,87 m/s, equivalentes a aproximadamente 42 km/h e 39 km/h, respectivamente. Dentro da margem de erro de 1 mm proveniente da gravação da escala no MDF, as duas velocidades são idênticas. Desse modo, mesmo considerando todas as idealizações e aproximações adotadas, é possível afirmar que esse resultado preliminar é satisfatório para uma potencial aplicação em sala de aula, especialmente durante as aulas de hidrostática e hidrodinâmica. O fato da igualdade das velocidades nas duas configurações pode apresentar como um potencial motivador para a discussão de erros e medidas em sala de aula.

Outra configuração possível é direcionar o fluxo de ar perpendicularmente à sonda, conforme representado na Figura 4. Nesse cenário, ocorreu uma diminuição na pressão da sonda em comparação ao outro tubo que permanece sem fluxo de ar e sujeito à pressão atmosférica. Essa redução na pressão onde o ar está sendo orientado é determinada pelo princípio de Bernoulli, que afirma que a pressão diminui no ponto onde o fluido apresenta maior velocidade em relação ao ponto de menor velocidade (Fox et al., 2014; Koumaras & Primerakis, 2018). Neste contexto, tal modificação faz com que o experimento não se comporte mais como um tubo de Pitot tradicional, uma vez que a pressão de estagnação está ausente. Entretanto, a Equação (4) permanece numericamente válida e aplicável para descrever as variações observadas.

Desse modo, a Figura 4 ilustra o funcionamento de uma chaminé, churrasqueira ou lareira, onde o ar na parte superior (topo da chaminé) passaria com maior velocidade, produzindo uma redução da pressão em relação à outra extremidade. Este é o motivo da fumaça fluir na direção da região de menor pressão, o topo da chaminé, não se alastrando no ambiente interno de uma casa com lareira ou intoxicando o churrasqueiro. Em zonas industriais com olarias, e outro tipo de atividade que requer o uso de chaminés, este dispositivo se apresenta como uma fonte de problematização e ponto de partida prático-cotidiano para o estudo da mecânica dos fluidos.

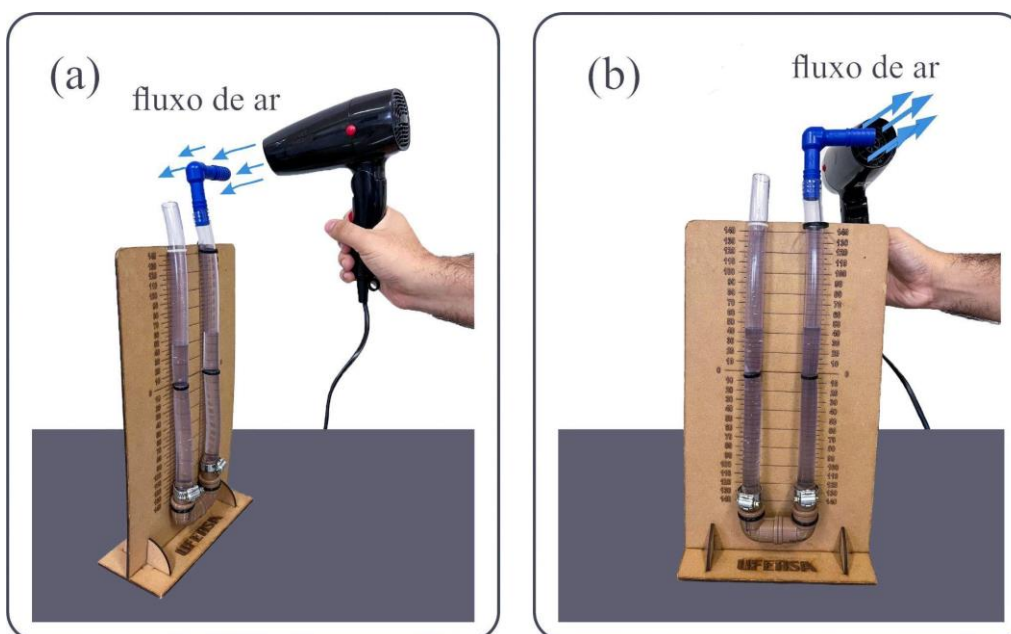


Figura 4: Configuração do tubo de Pitot com o fluxo de ar direcionado perpendicularmente. Fonte: Autores.

A variação na elevação h foi distinta daquela medida anteriormente através da utilização da pressão de estagnação. Contudo, ainda é possível observar uma elevação na coluna de água, da ordem de 0,005 m. Existem diversas razões para essa diferença na medida, uma delas é a maior área da extremidade da sonda, com $\frac{1}{2}$ polegada de diâmetro, o que pode induzir turbulência quando o ar é soprado perpendicularmente. Isso ocorre devido ao formato da ponta que pode ter uma influência significativa, tanto na pressão de estagnação quanto, nesse caso, no contexto do princípio de Bernoulli (Benedict, 1984).

Considerações finais

A montagem e execução de atividades experimentais em sala de aula proporcionam ao discente a oportunidade de se envolver com a prática e de sair do universo das fórmulas matemáticas e abstrações, evitando que a atividade experimental seja ministrada de forma aleatória e desvinculada do conteúdo pragmático, como se fosse um apêndice (Axt & Moreira, 1991, p. 2). O uso de perguntas do tipo: “Como mensurar a velocidade do ar gerado por um ventilador e um secador de cabelos?” ou “Como se mede a velocidade de um avião?” pode se apresentar como o ponto inicial para a introdução à hidrodinâmica e, conseqüentemente, da aplicação do tubo de Pitot para o entendimento dos conceitos fundamentais de mecânica dos fluidos.

O teorema de Stevin e a equação de Bernoulli já trazem em sua apresentação dois prefixos matemáticos capazes de assustar à primeira vista. A atividade experimental visa responder às duas perguntas anteriores, bem como aproximar esses conceitos matemáticos por meio da prática da medição e, assim, possibilitar a montagem de experimentos que elucidem essas questões, trazendo o protagonismo do discente na atividade prática. No qual se pode fazer a transposição da medida da velocidade do fluxo do ar de um equipamento doméstico para a velocidade relativa ao ar de aviões.

Dessa forma, o experimento proposto oferece ao ensino de Física a possibilidade de promover a compreensão e discussões sobre o comportamento dos fluidos, favorecendo o desenvolvimento de uma análise crítica e ativa do discente. Além disso, os materiais e métodos empregados são de fácil

fabricação e manuseio. Caso o docente deseje, é possível realizar adaptações sugeridas, como a substituição da base em MDF por outro material, bem como a impressão da escala pode ser substituída por um papel milimetrado comum, ainda desse modo, é possível realizar o experimento somente com a mangueira ou um tubo em “U”, juntamente com uma fonte de fluxo de ar, e mesmo assim obter resultados similares.

Apesar de medir a velocidade do fluxo de ar gerado por esses equipamentos, este não se configura no objetivo final deste trabalho, mas sim propor a construção de um aparato didático já conhecido na literatura que pode ser construído e/ou aplicado em sala de aula, somando-se a outras propostas presentes na literatura especializada. Podendo ainda, as limitações experimentais serem utilizadas pelos docentes nas aulas, destacando a medida indireta da pressão manométrica, associada ao teorema de Stevin, no qual é medida a diferença de altura, neste caso com precisão de milímetro, trazendo o questionamento básico de como isto influencia na confiabilidade da medição da velocidade obtida e colocando a atividade experimental não como um fim mais como um caminho para a prática educativa problematizadora.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa), através da Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, em colaboração com a Universidade Regional do Cariri (URCA) com o apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP #PV1-0187-00060.01.00/21).

Referências

- Anderson, J. D. (2016). *Fundamentals of aerodynamics* (6th ed.). McGraw Hill.
- Axt, R., & Moreira, M. A. (1991). O Ensino Experimental e a Questão do Equipamento de Baixo Custo. *Revista de Ensino de Física*, 13, 97–103.
- Benedict, R. P. (1984). *Fundamentals of temperature, pressure, and flow measurements* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Bonjorno. (2016). *Física 1: Mecânica* (3ª ed.). FTD.
- Brasil. (2013). *Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica*. MEC. http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192.
- Cid, A. S., & Correa, T. (2019). Venturino: análise da variação de pressão em um tubo de Venturi utilizando Arduino e sensor de pressão. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(3). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0333>.
- Cohen, H., & Horvath, D. (2003). Two Large-Scale Devices for Demonstrating a Bernoulli Effect. *The Physics Teacher*, 41(1), 9–11. <https://doi.org/10.1119/1.1533954>.
- Delizoicov, D., & Angotti, J. A. (2006). *Metodologia Do Ensino De Ciências* (2ª Ed.). Cortez Editora.
- Dornelles Filho, A. A. (1996). Uma questão em hidrodinâmica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(1), 76–79.
- Dorsel, D., Staacks, S., Heinke, H., & Stampfer, C. (2022). Using a Smartphone Pressure Sensor as Pitot Tube Speedometer. *The Physics Teacher*, 60(4), 273–275. <https://doi.org/10.1119/5.0025899>.

- Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2014). *Introdução à Mecânica dos Fluidos* (8ª Ed.). LTC.
- Giordan, M. (1999). O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química Nova Na Escola*, 10, 43–49.
- Haynes, W. M. (2016). *Handbook of Chemistry and Physics* (97th ed.). CRC Press.
- Kamela, M. (2007). Thinking About Bernoulli. *The Physics Teacher*, 45(6), 379–381. <https://doi.org/10.1119/1.2768700>.
- Koumaras, P., & Primerakis, G. (2018). Flawed Applications of Bernoulli's Principle. *The Physics Teacher*, 56(4), 235–238. <https://doi.org/10.1119/1.5028240>.
- Moraes, E. C. B., Baptista, H. C., Souza, A. B. De, & Santos, L. R. Dos. (2020). Investigação da variação de pressão em sistemas de vazão lateral através do princípio de Bernoulli. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, 2–5. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2019-0187>.
- Nani, A. P. S., Fukui, A., Molina, M. de M., & Oliveira, V. S. de. (2016). *Ser protagonista: Física 1* (3ª ed., Vol. 1). Edições SM Ltda.
- Schivani, M., Souza, G. F. de, & Lira, N. (2020). Programa Nacional do Livro Didático de Física: subsídios para pesquisas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0011>.
- Silva, C. X. da, & Filho, B. B. (2015). *360 ° Física: Aula por Aula - Volume Único - Parte 1* (1ª ed.). FTD Educação.
- Souza, E. D. J., & De Mello, L. A. (2017). O uso de jogos e simulação computacional como instrumento de aprendizagem: campeonato de aviões de papel e o ensino de Hidrodinâmica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 530. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n2p530>.
- Teixeira, J. N., Muramatsu, M., & Alves, L. A. (2017). Um modelo de usina hidrelétrica como ferramenta no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(1), 248. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n1p248>.
- Vertchenko, L., Dickman, A. G., & Ferreira, F. (2009). Transferência de fluido por meio de um sifão vs. aplicação da equação de Bernoulli. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(3), 33012–33017.
- Weltner, K., Ingelman-Sundberg, M., Esperidião, A. S., & Miranda, P. (2001). A dinâmica dos fluidos complementada e a sustentação da asa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(4), 429–443. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442001000400009>.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2015). *Física I, Sears e Zemansky: Termodinâmica e ondas* (14ª Ed.). Pearson Education do Brasil Ltda.