

Mergulhador cartesiano: proposta pedagógica atrelada a uma montagem inovadora

.....

Osmar Henrique Moura da Silva*
Carlos Eduardo Laburú
Ricardo Vignoto Fernandes
Departamento de Física, Universidade
Estadual de Londrina, Londrina, PR,
Brasil.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma versão inovadora e simples do experimento demonstrativo denominado de mergulhador cartesiano, ou ludião, em que prevalece o aspecto cativante e lúdico. A versão abordada aqui se difere das conhecidas por não aparentar, de imediato, a típica variação do volume de ar pela qual se avalia a relação entre o empuxo variável e o peso constante, ora emergindo ou submergindo dentro de uma garrafa com água comum quando ela sofre, respectivamente, diminuição e aumento em sua pressão interna. Para além da contribuição dessa versão inovadora, propõe-se a inclusão de um desafio na forma de avaliação formativa, de modo a enriquecer a reflexão com os alunos após uma instrução dirigida pela versão tradicional do ludião, em que os conceitos físicos foram estudados. Espera-se, portanto, favorecer este processo educacional, pois, com ele, permite-se que o educador estabeleça uma avaliação e um acompanhamento do desempenho do estudante a partir da versão inovadora e desafiadora do ludião proposto, bem como reforçar entendimentos relacionados à versão clássica do experimento.

Palavras-chave: mergulhador cartesiano; equipamento simples e de baixo custo; proposta educacional

.....

1. Introdução

O mergulhador cartesiano, também denominado ludião, é um conhecido experimento escolar de hidrostática, que se tornou popular a partir do século XVIII, quando foi concebido por Descartes [1]. A demonstração é de fácil realização e sua confecção é simples e de baixo custo. A montagem envolve apenas uma garrafa PET com água e mais um tubo de ensaio que atravessa a boca da garrafa.¹ O experimento tem característica lúdica e “(...) permanece atraente mesmo o tendo visto muitas vezes” [2, p. 58]. Na internet, é divulgado em muitas opções de montagem, inclusive em versão comercializada como brinquedo,² no qual o ludião tem ganchos para pescar o máximo de objetos que há no fundo da garrafa. Essa versão pode ser replicada com materiais alternativos para ser usado na escola e indicada em razão de seu caráter de entretenimento [3].

O ludião oferece opções de perguntas interessantes com finalidade de investigação, o que o torna útil para discutir o fenômeno com os alunos [2]. Em específico, sua demonstração serve para ilustrar os princípios hidrostáticos de Pascal e de Arquimedes, mas que, conforme esclarecem Jesus e cols. [4], deve-se evitar o comum engano de associar o princípio físico a ser abordado no ludião com o de submarinos, sendo o ludião mais semelhante aos sinos de mergulho.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma versão inovadora e simples

do aparelho mergulhador cartesiano e que pode ser proveitoso como forma de Avaliação Formativa, na medida em que for empregado posteriormente à instrução pela versão tradicional mencionada. Considerando o aspecto lúdico e cativante [5], a versão sugerida se diferencia das demais por não evidenciar, de imediato, a típica variação do volume do bolsão de ar, usada para avaliar a relação da variável empuxo com o peso que permanece constante [4], assim, ora emergindo, ora submergindo o ludião no interior de uma garrafa com água quando ela sofre, respectivamente, diminuição e aumento da pressão interna.

Com essa particularidade pedagógica, intenciona-se favorecer o processo educacional dos conceitos físicos envolvidos, pois, por esse encaminhamento, possibilita-se que o educador avalie e acompanhe os desempenhos dos estudantes a partir desta desafiante versão de ludião, além

de lhes propiciar reforço em discussões e esclarecimentos anteriores quando uma versão tradicional é usada previamente.

A versão do ludião se diferencia das demais por não evidenciar, de imediato, a típica variação do volume do bolsão de ar, usada para avaliar a relação da variável empuxo com o peso que permanece constante

2. Proposta de ludião de palito de fósforo e esclarecimentos envolvidos

A montagem do ludião é realizada com materiais simples, acessíveis e de baixo custo: uma garrafa PET (ou garrafa de vidro) com água e rolha de borracha e um palito de fósforo (Fig. 1B). Na Fig. 1A, apresenta-se o ludião popular com tubo de ensaio e, na Fig. 1B, o lu-

*Autor de correspondência. E-mail: osmarh@uel.br.

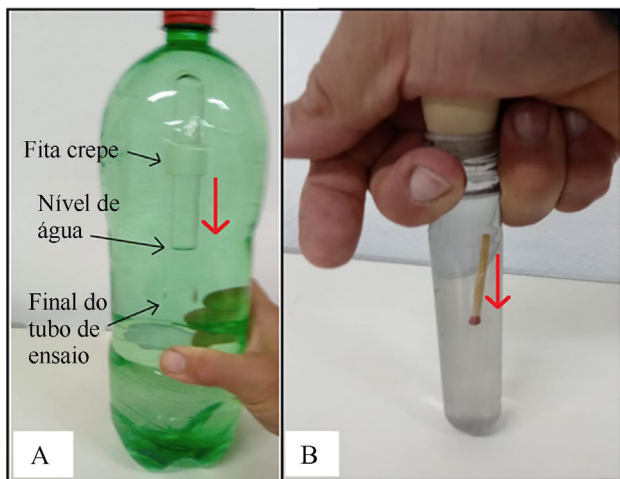


Figura 1 - Fotos das demonstrações com elevações de pressões internas efetuando movimentos de quedas dos mergulhadores cartesianos: A) Ludião tradicional usado em nível básico de ensino; B) Proposta de ludião de palito de fósforo.

dião proposto. No caso do popular (Fig. 1A), é recomendável o uso de um anel de borracha ou fita crepe em torno do tubo de ensaio de modo a servir de referência visual para melhor percepção da modificação do nível de água e do bolsão de ar no interior do tubo, quando se altera a pressão interna da garrafa ao ser apertada. Como é possível ver na Fig. 1B, a variação da pressão do líquido nessa versão é feita mediante a pressão sobre a rolha, e o destaque visual da modificação do nível de água e do volume de bolsão de ar no fósforo, fenômeno que auxilia na instrução dos conceitos físicos envolvi-

dos no primeiro caso, não acontece nesta versão.

A explicação para o ludião com palito de fósforo é a seguinte: ao inserir o palito na garrafa PET com água, pequenas bolhas de ar se aderem à madeira (Fig. 2A), constituindo o ludião propriamente dito.³ Essas bolhas podem ser observadas somente de perto e sofrem diminuições de volumes quando se eleva a pressão interna da garrafa quando a rolha é pressionada. Esta situação é mostrada na sequência de fotos da Fig. 2. Com a intenção de exibir fotos para comparar as bolhas sofrendo diminuições de volu-

Com o ludião em queda, as bolhas de ar diminuem, ficando quase imperceptíveis e sofrem o processo inverso no momento em que se diminui a pressão da mão sobre a rolha, o que permite a subida do ludião

mes, o ludião, na Fig. 2C, permaneceu ainda imóvel próximo à superfície, mas na eminência de descida após sucessiva elevação da pressão, como demonstrado nas Figs. 1B e 2D.

Com o ludião em queda (Figs. 1B e 2D), as bolhas de ar diminuem, ficando quase imperceptíveis e sofrem o processo inverso no momento em que se diminui a pressão da mão sobre a rolha, o que permite a subida do ludião. Esta demonstração é tão intrigante quanto às demais versões tradicionais do ludião e, de modo semelhante, as explicações carecem dessa percepção das variações de volumes das bolhas de ar em correlação às alterações da pressão interna do sistema, fundamentais às análises das forças peso e empuxo atuantes.

Cabe ressaltar a necessidade, após determinado período, da troca do palito de fósforo, pois, depois de certo tempo, as bolhas de ar se despreendem do palito e o ele afunda, encharcado. Inclusive, constata-se que nem todos os tipos de marcas de palitos de fósforos funcionam.⁴

Jesus e cols. [4] orientam que o ludião da Fig. 1A permite, a princípio, duas abordagens que se distinguem uma da outra conforme o sistema constituinte do ludião em si.⁵ Uma consideração é pensar o ludião formado pelo recipiente de vidro e o bolsão de ar em seu interior. Em outra, considera-se o ludião composto de recipiente de vidro, bolsão de ar e volume de água que entra no recipiente, comprimindo o bolsão de ar [4, p. 599]. De acordo com esses autores, “na primeira (consideração), o volume do ludião é variável; na segunda (consideração) é constante.

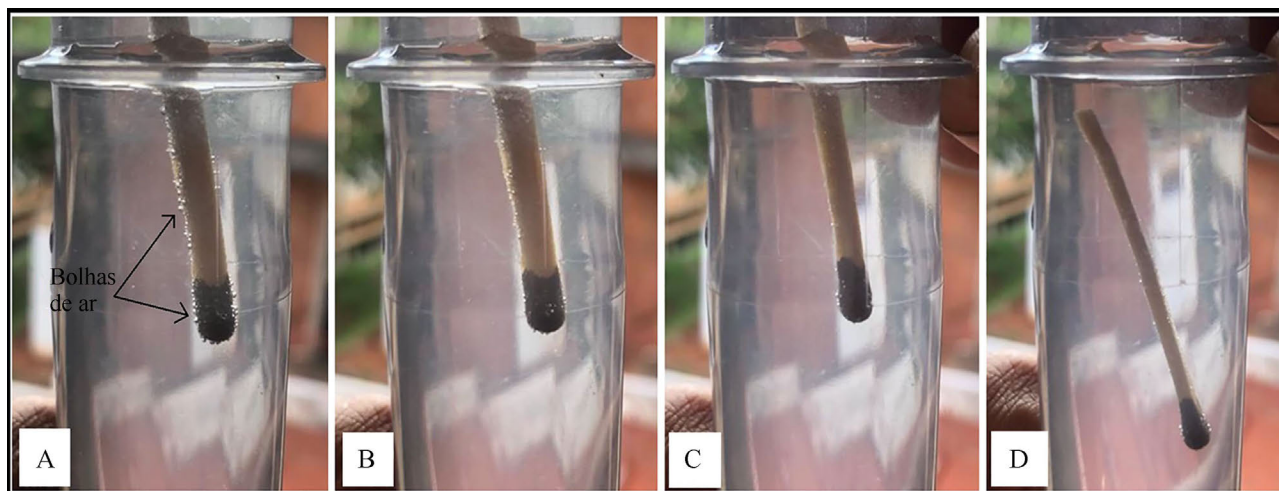


Figura 2 - Sequência de quatro fotos em que há gradativas elevações da pressão interna no interior da garrafa PET, indo da menor pressão em A até a maior em D, evidenciando bolhas de ar cada vez menores.

Portanto, são duas as possibilidades de análise: 1) empuxo variável e peso constante; 2)⁶ empuxo constante e peso variável” [4, p. 600]. Todavia, tendo em conta que o ludião da Fig. 1A tem um compartimento sempre aberto e o volume do bolsão de ar varia de acordo com a pressão hidrostática própria à profundidade instantânea do mesmo, por comparação, a absorção de água, nos submarinos, é ativa e voluntária (automática), admitindo que seus empuxos e pesos possam permanecer inalterados independentemente da profundidade. Logo, devido ao “compartimento do ludião estar sempre aberto, a variação do empuxo, ao invés da (variação) do peso, é a responsável pelo mergulho”, o que torna este ludião uma analogia apropriada com os sinos de mergulho⁷ em vez dos de submarinos (onde ocorre apenas variação de peso) [4, p. 600]. Por meio desses apontamentos, a primeira das análises será aplicada nas duas versões de ludião aqui tratadas, isto é, empuxo variável e peso constante, uma vez que o mergulho de um ludião se deve à variação do empuxo do bolsão de ar.⁸

Assim, com o aumento das pressões nos interiores das garrafas (Figs. 1A e 1B) devido ao princípio de Pascal, a variação da pressão se dá por todo o líquido em mesma quantidade, comprimindo e diminuindo os volumes do bolsão de ar (Fig. 1A) ou das bolhas de ar no palito (Fig. 1B). Nas ocasiões de imersões da Fig. 1 e para iniciar a descrição das forças atuantes, tem-se:

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2.$$

Sendo o módulo do peso total (P_{total}) constante para cada ludião, em que $P_1 = m_1 \cdot g$ (referindo-se aos casos de pesos, do recipiente de vidro na Fig. 1A ou do palito de fósforo na Fig. 1B) e $P_2 = m_{\text{ar}} \cdot g$ (referindo-se, ora ao caso do bolsão de ar na Fig. 1A, ora ao das pequenas bolhas de ar no palito de fósforo).⁹ Já para o módulo do empuxo total, então variável, é dado por

$$E_{\text{total}} = E_1 + E_2,$$

onde $E_1 = \rho g V_1$ diz respeito aos empuxos dos volumes do recipiente de vidro (volume que ele desloca de água) ou do palito de fósforo, e $E_2 = \rho g V_2$ diz respeito aos empuxos e volumes do bolsão de ar ou das pequenas bolhas de ar, respectivamente, aos dois casos mencionados.¹⁰ A Fig. 3 ilustra uma representação dessas forças atuantes no caso do ludião da Fig. 1A (Fig. 3A) e no caso do ludião da Fig. 1B (Fig. 3B).

Quando imerso, o ar de cada ludião sofre uma pressão para uma profundidade h medida entre a superfície do líquido e a interface do bolsão de ar com o líquido (considerando a atuação da pressão externa da mão) no caso das Figs. 1A e 3A.

Para a situação do ludião das Figs. 1B e 3B, são várias as medidas de h conforme o número de bolhas aderidas no palito, valores independentes referentes às posições dos centros das bolhas em relação à superfície do líquido, e que, uma vez computados, geram um empuxo equivalente ao de um único bolsão de ar deste tipo de ludião. Dessa forma, tem-se a p_{ar} a uma profundidade h (pressão do bolsão de ar) que é afetada pela alteração da pressão do ar na superfície do líquido, p_{sup} , modificada manualmente nos dois casos de ludião, de modo que:

$$p_{\text{ar}}(p_{\text{sup}}; h) = p_{\text{sup}} + gh,$$

Para cada um deles na situação estática, como no caso da flutuação na superfície do líquido da garrafa, o valor do empuxo total se equipara ao do peso constante do sistema (ludião). Mediante controle manual, ao se aumentar o valor de p_{sup} , aumenta-se também o valor da pressão inicial do bolsão de ar do ludião diminuindo o volume do bolsão de ar ($V_{\text{ar}} = V_2$), em que $V_{\text{ar}} = V_2 = nRT/p_{\text{ar}}$.¹¹ Consequentemente, a redução do volume desse bolsão de ar está atrelada à diminuição no empuxo, $E_2 (= E_{\text{ar}})$, atenuado paulatinamente conforme a profundidade [4, p. 601]. De acordo com Jesus e cols. [4, p. 601], o empuxo E_{ar} pode ser

escrito como

$$E_{\text{ar}}(p_{\text{sup}}; h) = gV_{\text{ar}} = \frac{gnRT}{P_{\text{ar}}} \\ = \frac{gnRT}{P_{\text{sup}} + gh}.$$

Enfim, analisar as variações do empuxo total (E_{Total}) significa analisar variações do empuxo E_{ar} , tratado em expressão anterior como empuxo E_2 , uma vez que empuxos E_1 permanecem inalterados, pois referem-se aos volumes de líquidos deslocados pelo tubo de vidro do ludião da Fig. 3A ou pela madeira do fósforo do ludião da Fig. 3B. Em termos qualitativos, e sabendo que o empuxo é a força que aponta sempre na mesma direção e no sentido oposto ao peso do corpo parcialmente ou completamente imerso num fluido (água, no caso), pela expressão a seguir, conclui-se que:

$$P_{\text{total}} - E_{\text{total}} = ma,$$

- Se o peso do ludião, P_{total} , for maior que o empuxo, E_{total} , exercido pelo fluido (água), ele terá uma aceleração para baixo;
- Se o peso do ludião, P_{total} , for igual ao empuxo, E_{total} , exercido pelo fluido (água), ele permanece em equilíbrio (aceleração igual a zero);
- Se o peso do ludião, P_{total} , for menor que o empuxo exercido pelo fluido (água), o ludião terá uma aceleração para cima.

3. Proposta de estratégia de ensino

A proposta considera que, por meio do ludião usual da Fig. 1A, é

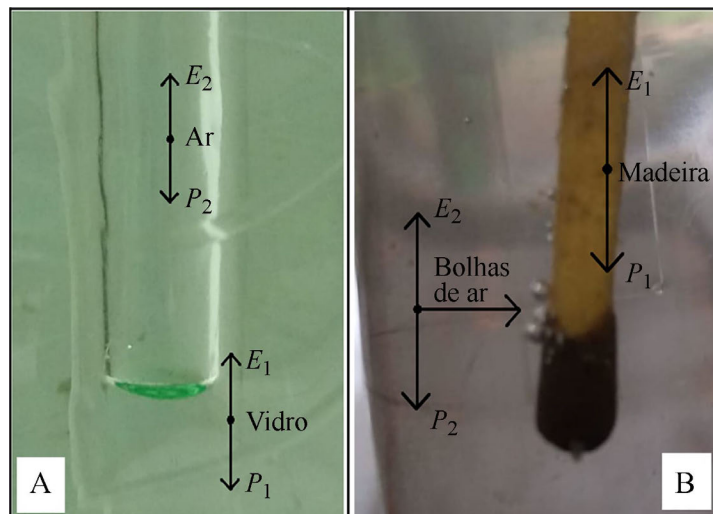


Figura 3 - A) Representação das forças atuantes no vidro e no bolsão de ar; B) Representação das forças atuantes no palito de fósforo e no bolsão de ar (totalizado pelas bolhas de ar).

mais natural e simples ocorrer compreensão dos conceitos físicos envolvidos do que por meio do ludião da Fig. 1B, pois, com percepção visual imediata, pode-se tratar o bolsão de ar e suas variações mais facilmente e diretamente (Fig. 1A), e que, assim, não ocorre pela segunda versão (Fig. 1B). Portanto, é oportuno aplicar em sala de aula o ludião de palito de fósforo para direcionar uma ação pedagógica viável em proveito de uma Avaliação Formativa, isto é, na medida em que for empregado posteriormente à instrução pela versão usual do ludião da Fig. 1A. Como é de conhecimento, “Avaliação formativa é toda prática de avaliação contínua que pretenda contribuir para melhorar a aprendizagem em curso, qualquer que seja o quadro e qualquer que seja a extensão concreta da diferenciação do ensino” [7, p. 46]. Em Pedrochi Jr. [8], há um levantamento das características da Avaliação Formativa detalhada por Bloom e cols. (apud Ref. [8, p. 3]), que afirma que “se os instrumentos forem bem utilizados, podem fornecer a devida informação ao professor e aos alunos de quão adequadamente cada unidade está sendo aprendida”, quando se pondera que “a natureza dessa unidade pode variar em função de diversos propósitos, podendo a unidade ser uma única aula”. Assim, o propósito em sala de aula é estabelecer uma Avaliação Formativa logo após o desenvolvimento dos esclarecimentos físicos envolvidos na demonstração inicial com o ludião corriqueiro da Fig. 1A e que, de acordo com Fernandes [9, p. 23], se dá “sob a forma das chamadas revisões da matéria dada ou de um teste formativo”, antes da Avaliação Somativa. O ludião de palito de fósforo, se utilizado na Avaliação Formativa, decorre da fase de recapitulação de conteúdos e síntese, sendo importante não apenas para acompanhar o desempenho, mas também para a retomada de pontos estudados desde a exposição da demonstração propriamente dita até a conclusão física relacionada. Em tal procedimento, cabe situar ao educador algumas questões para reflexão e que podem servir de encaminhamento pedagógico no âmbito construtivista [10], entre elas:

1) *O que esperar que os estudantes aprendam?* É óbvio que se espera dos alunos uma aplicação razoável, em nível qualitativo, do Princípio de Arquimedes, ao se analisar a resultante das

forças atuantes (peso e empuxo) no ludião de palito de fósforo, que é similar à resultante estabelecida anteriormente com o ludião da Fig. 1A. No entanto, perante uma possível dificuldade de análise por parte dos alunos, é sensato que o educador promova pistas que auxiliem a direcionar a atenção e a concentração deles por meio de questionamentos feitos pelo professor, como: “Por que esse ludião submerge e flutua como o outro?”; “Onde está o bolsão de ar do ludião de palito de fósforo?”; “Mais de perto, é possível observar pequenas bolhas de ar aderidas no palito?”; “Essas bolhas de ar sofrem variações de volume quando a rolha é pressionada? E o que se espera quando elas diminuem de volume?”.

2) *Como saber se os alunos estão aprendendo o conteúdo abordado?* Questões típicas podem ser: “Como vocês re-aplicam o Princípio de Arquimedes que foi discutido no primeiro ludião com palito? O que constitui o peso do ludião de palito de fósforo? O que é o bolsão de ar do palito de fósforo? De que modo o empuxo sofre alterações e permite a movimentação vertical observada do ludião? Se o palito de fósforo está em repouso/estático, a resultante das forças atuantes é igual a zero?”

3) *O que fazer quando os alunos não estão aprendendo?* Sinalizado esse aspecto, resta ao professor esclarecer aos alunos o funcionamento da versão do palito de fósforo, rediscutindo a primeira versão e comparando-a com a segunda. Nesta altura, apesar de se reconhecer que o processo educacional foi movido pelo esforço ou empenho de ensino do professor, diante do acompanhamento de tais desempenhos e/ou envolvimento dos estudantes, resta aguardar que os melhores resultados de aprendizagem sejam observados mediante a Avaliação Somativa. De todo modo, a utilização do ludião de palito de fósforo permite, em forma de Avaliação Formativa, um reforço dos conteúdos estudados, bem como propicia ao aluno uma oportunidade de recuperar tais conteúdos, visando atingir a excelência no processo de aprendizagem deles.

Entre os três pontos citados anteriormente, admite-se a composição de

Avaliação Formativa, viabilizando identificar o domínio que o aluno tem sobre os conteúdos e saber o quanto ele está apto para avançar à próxima etapa do processo educacional, de forma gradual. Outras questões mencionadas servem de exemplo ao que se pode encaminhar dentro de uma metodologia de perguntas [10], segundo um contexto construtivista almejando um esperado *feedback* [11], considerando que a dinâmica de sala de aula não é única e as discussões preliminares podem variar de uma turma para outra. No entanto, nessa metodologia de perguntas, cabe ao professor julgar o

que é necessário selecionar dos raciocínios dos alunos acerca de uma questão levantada, buscando intercalar dúvidas, em momentos conhecidos como “Interativo/dialógico, Não interativo/dialógico e Interativo/de autoridade” [11, p. 288]. Nesse direcionamento construtivista, dúvidas restantes objetivam ser sanadas na etapa final de momento “Não interativo/de autoridade”, momento este em que o “professor apresenta um ponto de vista específico” [11, p. 288], relacionado aos esclarecimentos físicos almejados no ludião de palito de fósforo. O momento “Não interativo/de autoridade” é inevitável e ocorre de modo invariável para o conteúdo científico focado, em que os esclarecimentos físicos para ambas as versões de ludião foram apresentados na seção anterior para dar prosseguimento a esta última etapa instrucional.

4. Considerações Finais

Este trabalho buscou contribuir com a apresentação de uma montagem de ludião inovadora e simples, com particularidades que se diferenciam de versões corriqueiras utilizadas no âmbito educacional. Junto à análise das particularidades desse equipamento, propôs-se explorar pedagogicamente o uso de tal versão em forma de Avaliação Formativa com os alunos. Espera-se que tais contribuições possam ser proveitosas aos educadores que utilizam demonstrações de mergulhadores cartesianos.

Recebido em: 21 de Setembro de 2021
Aceito em: 22 de Janeiro de 2022

É oportuno aplicar em sala de aula o ludião de palito de fósforo para direcionar uma ação pedagógica viável em proveito de uma Avaliação Formativa

Notas

¹<https://www.youtube.com/watch?v=tEgH7dt1C4&t=81s>, acesso em 5 de maio de 2021. Versão de ludião que é mostrada na Fig. 1A.

²Custo de \$31,49. https://www.stevespanglerscience.com/store/stem-science-kit-super-divers.html?utm_content=exp_search_prod, acesso em 7 de maio de 2021.

³Sistema formado por bolhas de ar e palito de fósforo, discutido mais à frente.

⁴De acordo com Gindl [apud 6, 4], “a madeira é um material compósito complexo, heterogêneo, rugoso e ainda apresenta poros em sua superfície”, sendo, de forma geral, com superfícies molháveis pela água, a menos que passem por algum tratamento artificial à finalidade. Todavia, diferentes espécies de madeira apresentam diferenças na capacidade de absorver água em sua rugosidade superficial (Mantanis e Young apud [6, p. 4], de modo a ocasionar resultados experimentais diferentes em ludiões de palitos de fósforos, pois, as “regiões não molhadas são geradas a partir de bolhas de ar que ficam presas por entre os sulcos do material rugoso” [6, p. 3].

⁵O ludião da Fig. 1A não possui lastro, mas caso outro ludião tenha, também seria considerado como parte do sistema (ludião).

⁶Esta é comumente realizada para estabelecer uma analogia inadequada com o princípio de funcionamento dos submarinos, na medida em que o acréscimo de pressão transmitido a todo líquido (princípio de Pascal), ao se apertar a garrafa (Fig. 1A), faz com que entre um pouco mais de água no interior do ludião, aumentando seu peso.

⁷“Câmara estanque de ar, suspensa por um cabo e aberta no fundo, que serve de base subaquática para um pequeno número de mergulhadores” [4, p. 602].

⁸Como se enfatiza diferente do submarino, em que a variação do peso é o fator responsável por sua imersão e estabilidade durante a navegação [4, 2007].

⁹Obviamente que o peso de massas de ar é desprezível na conta, restando afirmar que o peso do sistema (ludião) não se altera.

¹⁰? é a densidade do líquido (água) e g é a aceleração da gravidade.

¹¹Na consideração de gás ideal, com n número de moles do gás, R a constante universal dos gases, e T a temperatura absoluta do gás, considerada constante e igual à temperatura ambiente [4, p. 601].

Referências

- [1] Projecto Física. *Unidade 3: O Triunfo da Mecânica. Texto e Manual de Experiências e Atividades* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1980), 255 p.
- [2] G. Planinsic, M. Kos, R. Jerman, *Physics Education* **39**, 58 (2004).
- [3] N. Amir, R. Subramaniam, *Physics Education* **42**, 478 (2007).
- [4] V.L.B. Jesus, C. Marlasca, A. Tenório, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 599 (2007).
- [5] C.E. Laburú, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **23**, 384 (2006).
- [6] L.G.Z. Sindorski, *Ciência da Madeira* **11**, 1 (2020).
- [7] R.C.M. Costa, E.D. Martins, N.M. Félix, *Avaliação Institucional do Ensino-Aprendizagem* (Editora Aiamis, Sobral, 2017), 1ª ed.
- [8] O. Pedrochi Jr., in: *XXI EBRAPEM - Encontro Brasileiro de Estudantes de Pós-Graduação em Educação Matemática*, Pelotas, 2017.
- [9] D. Fernandes, *Revista Portuguesa de Educação* **19**, 21 (2006).
- [10] O.H.M. Silva, C.E. Laburú, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **13**, 195 (2013).
- [11] E.F. Mortimer, P. Scott, *Investigações em Ensino de Ciências* **7**, 283 (2002).