

Uma análise conceitual do princípio de Arquimedes nos livros didáticos de Ciências da Natureza do Ensino Médio

A conceptual analysis of Archimedes' principle in High School Natural Sciences textbooks

Salmon LANDI JÚNIOR¹

Nyura A. S. MESQUITA²

Wellington Pereira de QUEIRÓS³

Resumo

Este estudo objetivou realizar uma análise conceitual do princípio de Arquimedes nos livros de Ciências da Natureza aprovados pelo Programa Nacional do Livro e Material Didático (PNLD) 2021. A análise levou em consideração a gênese, a forma de obtenção, bem como as exceções que envolvem o módulo, a direção e o sentido da força de empuxo. Os resultados indicam que apenas um dos livros explica de maneira satisfatória a origem e a obtenção da força de empuxo; três apresentam o módulo do empuxo como consequência do enunciado do princípio de Arquimedes, e nenhum deles aborda os casos atípicos envolvendo a força de empuxo.

Palavras-chave: Ensino de Física. Livro didático. Empuxo.

Abstract

This study aimed to accomplish a conceptual analysis of Archimedes' principle in the Natural Sciences textbooks approved by the Programa Nacional do Livro e Material Didático (PNLD) [National Program of Book and Didactic Material] 2021. The analysis took into consideration the genesis, the way of obtaining, as well as the exceptions that involve the magnitude, direction, and sense of the buoyant force. The results indicate that merely one of the book satisfactorily explains the origin and obtaining of the buoyancy force; three present the buoyancy module as a consequence of the statement of Archimedes' principle and none of them addresses the atypical cases involving the buoyant force.

Keywords: Physics Teaching. Textbook. Buoyancy.

1 Doutor em Ciências/Física pela Universidade do Minho, Portugal. Professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano - campus Rio Verde). Tem experiência com o estudo de super-redes magnéticas por ressonância de spin eletrônico. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9129308786689691>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1830-7548>. E-mail: salmon.landi@ifgoiano.edu.br

2 Doutora em Química pela UFG. Professora associada da área de Ensino de Química na UFG, orienta no mestrado e doutorado do Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ/UFG) e no Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática (PPGECM/UFG). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6971106875143413>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2410-6304>. E-mail: nyura@ufg.br

3 Doutor em Educação para a Ciência pela UNESP-Bauri com estágio Sanduíche no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da UFSC. Professor Adjunto 4 do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, docente e orientador no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da UFMS e o Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da (UFG). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6527714159537457>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9734-7136>. E-mail: wellington_fis@yahoo.com.br

1. Introdução

A Lei nº 9.394, de 1996, estabeleceu as diretrizes e bases da educação nacional. Em seu artigo 35-A, incluído pela Lei nº 13.415, de 2017, consta que a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) define, conforme diretrizes do Conselho Nacional de Educação, os objetivos de aprendizagem do Ensino Médio nas seguintes áreas do conhecimento: I – Linguagens e suas tecnologias; II – Matemática e suas tecnologias; III – Ciências da Natureza e suas tecnologias; IV – Ciência Humanas e Sociais aplicadas. Havia expectativas de que a BNCC de 2017 reverberasse em avanços na construção da qualidade da educação do país. No entanto, para Compiani (2018), houve um retrocesso com o retorno das competências e habilidades como orientadoras de processos formativos.

As recentes mudanças ocorridas no sistema educacional brasileiro influenciaram, também, na concepção dos novos livros didáticos para o Ensino Médio, aprovados pelo Plano Nacional do Livro e Material Didático (PNLD) de 2021. Nomeadamente, as disciplinas de Biologia, Física e Química passaram a compor coleções únicas que foram agrupadas em seis volumes. Desses seis volumes, dois eram destinados a cada série do Ensino Médio, com o limite de 160 páginas para cada livro. De toda forma, argumenta-se que o livro didático seja uma fonte de informação, em consonância com o saber científico, conforme estabelecido no próprio edital de chamamento para as editoras como um dos critérios eliminatórios específicos para a análise dos materiais: “Explorar conceitos das ciências da natureza para resolver problemas na vida cotidiana do estudante, oferecendo sistematicamente subsídios claros e precisos para a tomada de decisão cientificamente informada” (Brasil, 2019, p. 81).

A partir do pressuposto de que há um investimento expressivo do governo federal em livros didáticos para os estudantes de escolas públicas, compartilha-se, aqui, o posicionamento de Sobrinho e Mesquita (2022), segundo os quais a realização de estudos em prol de analisar a qualidade desses textos, no sentido de contribuir com a melhoria da qualidade da educação do Brasil, é, também, uma responsabilidade da academia. Nessa perspectiva, ao examinar os livros didáticos aprovados pelo PNLD 2021, o presente trabalho visa contribuir com discussões mais abrangentes e esclarecedoras sobre um tema específico da área da Física: o princípio de Arquimedes.

De acordo com Silveira e Medeiros (2009), era comum o uso de

uma inadequada proposta experimental nos livros didáticos para convencer o estudante da validade do enunciado do princípio de Arquimedes. Em tal *experimento*, um corpo é inicialmente colocado a flutuar em um recipiente já repleto de água. Toda a água que extravasa do recipiente seria recolhida e convenientemente pesada. O resultado mostraria que o peso da água recolhida é igual ao peso do corpo colocado a flutuar. Não obstante, observa-se a ausência dessa referida atividade nas coleções de Ciências da Natureza aprovadas pelo PNLD 2021.

Outro exemplo está relacionado com a história de Arquimedes e a coroa do rei de Siracusa (Lucie, 1986). Martins (2000), ao analisar as inconsistências físicas do método relatado por Marcus Vitruvius⁴, pontuou que alguns autores de livros didáticos perpetuam a velha interpretação implausível da descoberta da falsificação da coroa do rei Hieron II, a partir de medidas de águas derramadas pela coroa e por iguais pesos de ouro e prata. Embora Hidalgo, Queiróz e Oliveira (2021) tenham concluído que ainda é frequente a referida pseudo-história empirista em livros aprovados pelo PNLD 2018, nesse mesmo trabalho é possível observar avanços em relação ao relato de Vitruvius acerca da coroa do rei em dois livros didáticos. Para os estudiosos,

é feliz a explicitação da existência de um relato histórico mais plausível. É também muito feliz os autores considerarem os instrumentos de medidas de modo diacrônico, afirmando a impossibilidade de haver o grau de precisão necessário para Arquimedes medir os volumes que o relato de Vitruvius requereria. [...] o exemplar realiza uma transposição compreensível e bastante adequada do episódio histórico para o contexto didático (Hidalgo; Queiróz; Oliveira, 2021, p. 1267-1268).

De todo modo, o que hoje se conhece por princípio de Arquimedes é um assunto presente em livros didáticos que possui diversas aplicações no âmbito dos fluidos em repouso. Como exemplo, a análise envolvendo o equilíbrio das forças peso e empuxo, cujo

4 Vitruvius (80 a.C.–15 a.C.) foi um arquiteto romano que escreveu sobre a descoberta da fraude da coroa do rei Hieron II de Siracusa, a partir de experiências realizada por Arquimedes (287 a.C.–212 a.C.), envolvendo o volume de água deslocado pela coroa e por quantidades iguais de ouro e prata (Martins, 2000). O método descrito por Vitruvius foi colocado em descrédito por Galileu (1564–1642), o qual, fundamentalmente, argumentou sobre a falta de precisão dos instrumentos à época de Arquimedes (Lucie, 1986).

conceito se relaciona com o princípio de Arquimedes, decorre que cerca de 90% do volume de um bloco de gelo encontra-se abaixo da superfície da água. Esse resultado possibilita, por exemplo, a compreensão de afirmações como *isso representa apenas a porção visível do iceberg*, utilizada em contextos que vão além da Física, como nos noticiários que envolvem casos de corrupção ou até mesmo em *memes* de assuntos bastante diversificados. Também vale ressaltar que vários fenômenos exemplificam a importância do estudo envolvendo o princípio de Arquimedes, tais como: o funcionamento de densímetros (do tipo presente em postos de combustível); o movimento vertical de submarinos e de balões de ar quente; o peso máximo que se pode transportar numa embarcação caseira⁵ (jangadas e flutuantes) ou não (canoas, navios, etc.).

Posto isso, o presente trabalho tem como objetivo a realização de uma análise de caráter conceitual das discussões sobre o princípio de Arquimedes nos livros didáticos de Ciências da Natureza do Ensino Médio (livro do estudante) aprovados pelo PNLD 2021. Argumenta-se que as análises, aqui realizadas, podem contribuir com o trabalho dos professores do Ensino Básico em discussões mais aprofundadas sobre as diferentes situações envolvendo o empuxo, inclusive quando se pretende evidenciar a evolução do conhecimento científico.

2. Referencial teórico-metodológico

Trata-se de uma pesquisa qualitativa do tipo análise documental. De acordo com Lüdke e André (1986), a análise documental consiste no uso de materiais escritos (leis, regulamentos, memorandos, arquivos escolares, livros, dentre outros) como fonte de informação para as questões de interesse da pesquisa. Os documentos que constituíram o *corpus* da pesquisa foram as sete coleções de Ciências da Natureza para o Ensino Médio aprovadas pelo PNLD 2021 (Brasil, 2021). No entanto, a coleção *Multiversos – Ciências da Natureza* não abordou o princípio de Arquimedes. Nesse sentido, as análises realizadas ficaram restritas às coleções apresentadas e organizadas em

⁵ Há diversos vídeos na internet mostrando a construção de balsas caseiras.

ordem crescente do código da coleção conforme o Quadro 1. Na quarta coluna, consta o volume da coleção que aborda o tema desta pesquisa.

Quadro 1: As seis coleções aprovadas pelo PNLD 2021 que abordam o princípio de Arquimedes.

Título da coleção	Código da coleção	Editora	Volume	Identificação dos livros didáticos
Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar	0181P21203	Scipione	Materiais, Luz e Som: Modelos e Propriedades	LD1
Ciências da Natureza – Lopes & Rosso	0194P21203	Moderna	Água, Agricultura e Uso da terra	LD2
Diálogo – Ciências da Natureza e suas Tecnologias	0196P21203	Moderna	Vida na Terra: como é possível?	LD3
Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias	0198P21203	Moderna	Água e Vida	LD4
Conexões – Ciências da Natureza e suas Tecnologias	0199P21203	Moderna	Saúde e tecnologia	LD5
Ser Protagonista Ciências da Natureza e suas Tecnologias	0201P21203	SM	Composição e Estrutura dos Corpos	LD6

Fonte: os autores.

As análises acerca da apresentação do princípio de Arquimedes levaram em consideração os seguintes aspectos: i) a gênese da força de empuxo; ii) o processo de obtenção da equação do empuxo e sua consequência para a flutuação e iii) as exceções envolvendo o módulo, o sentido e a direção do empuxo. A seguir, apresenta-se as justificativas em utilizar tais aspectos teóricos no *corpus* de análise do presente estudo.

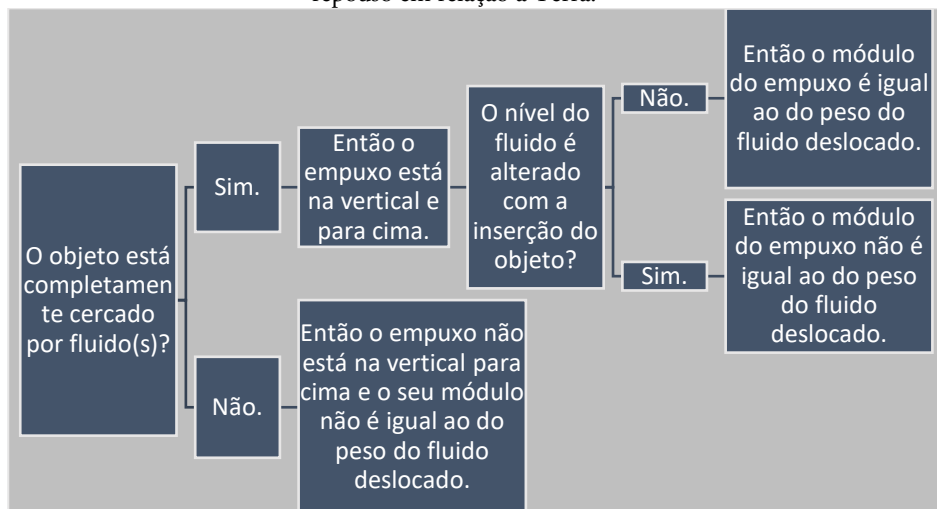
No que tange à questão relacionada ao *item i*, é importante ressaltar que, em linguagem moderna, o empuxo é reconhecido como uma força que surge devido à distribuição desigual de pressão em torno

de um objeto em contato com um ou mais tipos de fluidos (Lima, 2012). Esse entendimento contribui para que o professor possa realizar uma demonstração da equação do empuxo acessível para estudantes do Ensino Médio (*item ii*). Posteriormente, de posse da referida equação, a condição de flutuação em termos das densidades do fluido e do objeto pode ser imediatamente obtida, o que permite, por exemplo, uma explicação do porquê um navio de toneladas flutua enquanto uma esfera maciça de aço afunda em água (*item ii*).

Já na proposição do *item iii*, é válido pontuar que se um determinado objeto estiver completamente cercado por fluido(s), de fato, o empuxo estará ao longo da vertical e apontará para cima. Porém, o seu módulo poderá ou não ser calculado a partir do *peso do volume de fluido deslocado* (Silveira; Medeiros, 2009). Por outro lado, se o objeto não estiver completamente cercado por fluido(s), como uma ventosa presa numa superfície horizontal, o empuxo poderá estar na vertical e apontar para baixo. Ou, ainda, poderá apresentar componentes ao longo da horizontal e vertical, caso a ventosa esteja presa à uma superfície vertical. Nesse cenário, o módulo do empuxo passa a depender da profundidade em que a ventosa se encontra e, portanto, novamente não pode ser determinado a partir do peso do volume de fluido deslocado (Lima; Venceslau; Brasil, 2014).

A Figura 1 resume as diversas possibilidades que envolvem a força de empuxo em sua atuação sobre um determinado objeto. Nesse esquema, o ramo superior, que foi o caso considerado no trabalho original de Arquimedes e que habitualmente é discutido nos livros didáticos, abrange as situações mais frequentes, tais como os fenômenos envolvendo a flutuação de densímetros, embarcações, dentre outros, conforme explicitados anteriormente no presente texto. Entretanto, observa-se que os autores dos livros didáticos analisados ignoram as perguntas que aparecem na Figura 1, o que acaba por resultar em abordagens incompletas, por vezes, superficiais ou até mesmo equivocadas a respeito da força de empuxo.

Figura 1: Possibilidades envolvendo a força de empuxo em situações de fluido(s) em repouso em relação à Terra.



Fonte: os autores.

A seguir, apresentam-se os resultados obtidos da análise documental. No sentido de adensar as discussões, antes das análises dos livros didáticos, baseando-se na literatura especializada, os aspectos centrais dos *itens i-iii* são deslindados a partir de ponderações de natureza histórica e conceitual, pois essas considerações são relevantes para o alcance do objetivo proposto nesta pesquisa.

3. Análise dos livros didáticos

3.1. A gênese da força de empuxo

Da leitura de Assis (1996) (Quadro 2), observa-se que Arquimedes não enunciou o princípio que leva o seu nome da maneira como geralmente aparece nos livros didáticos. Em particular, nota-se que a Proposição 5, que trata em linguagem moderna do módulo da força de empuxo sobre um objeto que flutua num fluido, é consequência do Postulado 1 e das Proposições 1–4. Já a Proposição 7 refere-se ao caso em

que o objeto é mais denso do que o fluido. Portanto, o princípio de Arquimedes, conforme é apresentado contemporaneamente nos livros didáticos corresponde, de fato, a uma admirável sintetização do Postulado 1 e das Proposições (ou Teoremas) 1–7 presentes na obra de Arquimedes intitulada *Sobre os corpos flutuantes*. Embora presente em Assis (1996), é importante enfatizar que o Quadro 2 não apresenta as demonstrações realizadas por Arquimedes, as quais, fundamentalmente, foram obtidas a partir de um argumento lógico, redução ao absurdo, no sentido de que se as proposições não forem verdadeiras, um subvolume do líquido em equilíbrio não estaria em equilíbrio.

Quadro 2: Postulado 1 e as sete Proposições de Arquimedes segundo Assis (1996).

Postulado 1 – suponha que um fluido tem tal propriedade que, as suas partes estando situadas uniformemente e sendo contínuas, aquela parte que é menos pressionada é impelida pela parte que é mais pressionada; e que cada uma de suas partes é pressionada pelo fluido que está acima dela numa direção perpendicular se o fluido for afundado em qualquer coisa e comprimido por qualquer coisa.

Proposição 1 – se uma superfície for cortada por um plano que sempre passa através de um certo ponto, e se a seção for sempre uma circunferência [de um círculo] cujo centro é esse ponto, a superfície será uma esfera.

Proposição 2 – a superfície de qualquer fluido em repouso é a superfície de uma esfera cujo centro é o mesmo centro que aquele da terra.

Proposição 3 – os sólidos que, tamanho por tamanho, têm o mesmo peso que um fluido irão, se soltos no fluido, submergir de tal forma que não se projetarão acima da superfície nem afundarão abaixo dela.

Proposição 4 – um sólido mais leve do que um fluido não ficará, caso colocado nele, totalmente submerso, mas parte dele vai se projetar acima da superfície.

Proposição 5 – qualquer sólido mais leve que um fluido ficará, caso colocado no fluido, submerso de tal forma que o peso do sólido será igual ao peso do fluido deslocado.

Proposição 6 – se um sólido mais leve do que um fluido for forçadamente submerso nele, o sólido será impelido para cima com uma força igual a diferença entre seu peso e o peso do fluido deslocado.

Proposição 7 – um sólido mais pesado que um fluido descenderá, se colocado nele, ao fundo do fluido, e o sólido será, quando pesado no fluido, mais leve do que seu peso real pelo peso do fluido deslocado.

Fonte: adaptado de Assis (1996).

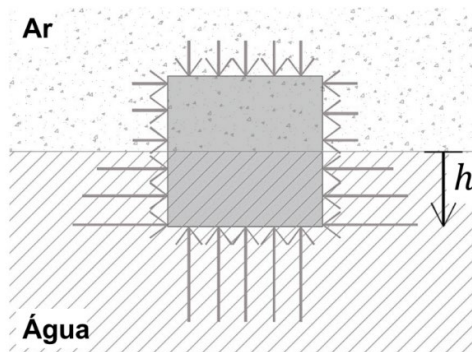
De acordo com Frontali (2013), nos tempos de Arquimedes não existia um substantivo equivalente à palavra pressão, uma vez que a raiz verbal latina *premere*, presente nas traduções transmite, na verdade, a ideia da ação de uma força. Desse modo, é importante atentar-se para o fato de que na tradução para o inglês de Heath (1897) e, consequentemente, em Assis (1996), há um anacronismo em relação ao uso do termo *pressão*, conforme se observa, por exemplo, no trecho a seguir extraído da Proposição 3.

Então as pressões sobre PQ e QR serão desiguais, aquela sobre PQ sendo maior. Portanto, a parte em QR será colocada em movimento por aquela em PQ, e o fluido não permanecerá em repouso; o que é contrário a hipótese. Portanto, o sólido não permanecerá acima da superfície (Assis, 1996, p. 73).

De todo modo, defende-se que o entendimento da força de empuxo como consequência da distribuição de pressão em torno do objeto em contato com um ou mais fluidos consiste numa abordagem didaticamente adequada para o estudo do tema em questão, o que evidencia, inclusive, os esforços coletivos no que se refere à construção do conhecimento científico. A partir de seus estudos e investigações, Stevin, Torricelli, Pascal, Boyle, Magalotti, Bernoulli e Dalton se configuram como os principais nomes que colaboraram para o entendimento moderno do conceito de pressão (Frontali, 2013).

A Figura 2 ilustra as forças que atuam em diferentes pontos da superfície de um objeto devido à pressão exercida pelo ar e/ou pela água. Por questão de simetria, as forças laterais e opostas se cancelam aos pares. Portanto, a resultante das forças exercida pelos fluidos, definida como empuxo, aponta para cima, h é a profundidade medida a partir da interface ar/água. A análise das forças hidrostáticas que atuam no objeto representado na Figura 2 proporciona uma abordagem, compreensível para estudantes do Ensino Básico, para obtenção da equação para o empuxo. Além disso, essa abordagem também colabora com as discussões sobre as exceções em relação a direção do empuxo, a qual nem *sempre aponta na vertical para cima*, bem como o seu módulo, que nem sempre *é igual ao do peso do volume de fluido deslocado*, conforme será discutido nas próximas seções.

Figura 2: Forças hidrostáticas atuando sobre a superfície de um bloco retangular que flutua em água.



Fonte: os autores.

No que se refere à análise dos livros didáticos, LD3 e LD6 ignoram completamente o conceito de empuxo. LD1 é o único em que se apresenta a força de empuxo como decorrência da pressão exercida sobre a superfície de um corpo em contato com um fluido. Nesse caso, os autores ilustram as forças (devido à pressão) que atuam em diferentes pontos da superfície de uma esfera mergulhada num líquido, conceituam o empuxo como sendo a soma vetorial de todas essas forças e, posteriormente, buscam uma expressão matemática para a força de empuxo.

Por sua vez, LD2, LD4 e LD5 omitem o fato de que a pressão em pontos localizados na parte inferior do objeto sendo maior do que aquela em pontos da parte superior é que origina uma força ascendente – o empuxo. Acerca dessa omissão, ao demonstrar a equação para o empuxo em termos do princípio de conservação da energia mecânica, Leroy (1985, p. 56) já chamava a atenção de autores de livros-textos para a necessidade de explicar a origem da força de empuxo em termos físicos: *the origin of the buoyancy force need no longer be mysterious and therefore hidden behind a principle; it can be explained in physical terms*. Tal argumentação, que corrobora com as ideias defendidas no presente trabalho, se contrapõem à mera apresentação do princípio de Arquimedes em sua forma usual, conforme se observa nos exemplos mencionados a seguir.

O teorema de Arquimedes pode ser enunciado da seguinte maneira: Um corpo imerso, total ou parcialmente, em um líquido recebe a ação de uma força vertical dirigida para cima, que tem intensidade igual ao peso do líquido deslocado. Assim, podemos considerar que a intensidade da força de empuxo \vec{E} é igual à intensidade da força peso \vec{P} do líquido deslocado: $E = P \therefore E = m_{liq\ desl} \cdot g$ em que $m_{liq\ desl}$ é a massa do líquido deslocado (LD2, p. 74).

Todo corpo sólido mergulhado num fluido em equilíbrio sofre a ação de uma força vertical de baixo para cima, cuja intensidade é igual à do peso do fluido deslocado pela parte submersa do corpo. [...] Sendo a intensidade E do empuxo igual ao peso P_L do líquido contido em um volume V_L igual ao volume da parte submersa do corpo, podemos relacionar a intensidade E com a densidade d_L do líquido, como segue: $E = P_L = m_L \cdot g$ Sendo $m_L = d_L \cdot V_L$, temos: $E = d_L \cdot V_L \cdot g$ (LD4, p. 101).

Todo corpo imerso (total ou parcialmente) em um fluido fica sob a ação de uma força cuja direção é perpendicular à superfície livre do líquido e cujo sentido aponta para a superfície, denominada empuxo. Se um corpo imerso na água fica em equilíbrio, boiando ou totalmente imerso, é porque o empuxo e o peso são forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos que, portanto, se anulam. [...] O empuxo que age sobre o corpo possui valor igual à intensidade do peso do volume de líquido deslocado. Algebricamente, temos: $E = m_L \cdot g$ Nessa expressão, m_L é a massa de líquido que se deslocou quando o corpo foi imerso e g é a aceleração da gravidade. Lembrando que densidade é a relação entre massa e volume, temos: [...] Portanto, o valor do empuxo pode ser escrito na forma: $E = d_{liquido} \cdot V_{deslocado} \cdot g$ (LD5, p. 49-50).

3.2. O processo de obtenção da equação do empuxo e sua consequência para a flutuação

A partir das considerações mencionadas na seção anterior, do conceito de pressão e, considerando a situação em que a pressão

hidrostática (P_{hid}) em um fluido, de densidade constante e igual a d_f , aumenta linearmente com a profundidade (resultado conhecido por lei de Stevin: $P_{hid} = d_f gh$), tem-se que o módulo do empuxo (F_E) sobre o objeto que flutua mostrado na Figura 2 é dado por:

$$F_E = (P_{atm} + P_{hid})A - P_{atm}A = d_f g V_s,$$

em que $(P_{atm} + P_{hid})A$ é o módulo da força devido à pressão da água e da atmosfera⁶ na superfície inferior do objeto e $P_{atm}A$ é o módulo da força devido à pressão atmosférica sobre a superfície superior do objeto, g é o módulo da aceleração gravitacional local e $V_s = Ah$ é o volume do objeto que se encontra submerso, muitas vezes, denominado de volume de fluido deslocado. Salienta-se que o formato do objeto flutuante apresentado na Figura 2 foi propositalmente escolhido para que os cálculos envolvidos possam ser utilizados, também, na perspectiva de discussões e reflexões relacionadas à abordagem de conhecimentos de Física para o Ensino Médio.

Alternativamente ao procedimento apresentado anteriormente, na coleção *Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar*, os autores buscam uma expressão matemática para o empuxo a partir das forças que atuam em um subconjunto de um líquido, especificamente no caso em questão, uma esfera desse próprio líquido. Dessa forma, os módulos das forças peso (da esfera) e empuxo (devido ao fluido ao seu redor) são iguais. No referido texto, os autores afirmam ainda que:

O empuxo será o mesmo se a esfera for feita de qualquer material. Generalizando essa conclusão, podemos dizer que o empuxo sobre um objeto mergulhado em um líquido é numericamente igual ao peso do volume de líquido deslocado pela parte do objeto que se encontra imersa (LD1, p. 39).

De fato, o procedimento usado no LD1, conhecido como princípio da solidificação, também permite obter a expressão para o

⁶ Pelo princípio de Pascal, a pressão abaixo da superfície da água é dada pela soma da pressão hidrostática com a pressão atmosférica.

empuxo (Eq. 1) a partir de uma descrição matemática acessível para estudantes do Ensino Médio. Esse princípio foi originalmente proposto pelo holandês Simon Stevin, em seu trabalho *De beghinselen des waterwichts* de 1586 (Frontali, 2013). A vantagem da utilização do princípio da solidificação em comparação com a proposta apresentada na seção anterior reside no fato de que o objeto não precisa ter um formato específico, tal como o da Figura 2, necessário para que os cálculos sejam acessíveis para estudantes do Ensino Médio. Logo, embora ambas as abordagens forneçam a mesma equação para o módulo do empuxo, o princípio da solidificação conduz a um resultado mais geral, ou seja, que independe do formato do objeto em contato com o(s) fluido(s). No entanto, a abordagem baseada nas ideias de Stevin não é adequada para discutir os casos excepcionais apresentados na próxima seção.

Nas coleções *Ciências da Natureza – Lopes & Rosso, Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias* e *Conexões – Ciências da Natureza e suas Tecnologias*, os autores obtêm a equação para o empuxo ao considerarem o enunciado do princípio de Arquimedes como uma declaração incontestável, conforme pode ser observado nos trechos apresentados no final da seção anterior. Esse tipo de abordagem colabora para uma visão individualista e, por vezes, dogmática da Ciência. Individualista, porque transmite uma visão de que o conhecimento científico em questão se apresenta como obra de um gênio isolado, pois ignora os esforços de nomes como Stevin, Torricelli, Pascal, dentre outros, que contribuíram para o avanço da hidrostática, cuja base, de fato, se assenta nos trabalhos de Arquimedes. Dogmática, porque se fundamenta, exclusivamente, no enunciado tradicional do princípio de Arquimedes, considerando-o como uma verdade inquestionável e válida para qualquer situação no âmbito da hidrostática. Ademais, ignora os pressupostos e os limites de validade do enunciado tradicional do princípio de Arquimedes, se contrapondo à promoção do pensamento reflexivo e crítico sobre o tema em questão.

Em relação ao segundo objetivo dessa seção, de posse da equação do empuxo, a condição de flutuação em termos das densidades do fluido e do objeto pode imediatamente ser obtida. Para tanto, é interessante considerar o caso hipotético de um objeto qualquer, de densidade d_o e massa m , que foi completamente mergulhado em um

fluido em repouso de densidade d_f . Se, após mergulhado, o objeto for solto, ele irá descer, subir ou permanecer no lugar? Essa pergunta pode ser respondida em termos das forças que atuam (em sentidos opostos) sobre o objeto depois de solto: se o módulo do peso for maior (menor) do que o do empuxo, o movimento do objeto será descendente (ascendente); caso contrário, o objeto repousará no lugar em que foi deixado.

Por outro lado, observando-se as equações para cada uma das forças que atuam sobre o objeto: $d_f g V_s$ para o empuxo e $mg = d_o V g$ para o peso, em que V é o volume do objeto, e atentando-se para o fato de que o objeto foi completamente submerso, ou seja, $V_s = V$, conclui-se que o objeto irá subir (descer) se $d_o < d_f$ ($d_o > d_f$) e permanecerá em repouso se as densidades do objeto e do fluido forem iguais. No caso em que $d_o < d_f$, o equilíbrio será restabelecido quando parte do objeto se projetar para fora da superfície do fluido, de tal forma que $d_f g V_s = d_o V g$. Se, por exemplo, o objeto for um bloco de gelo flutuando em água, obtém-se o resultado amplamente conhecido e mencionado na introdução: $V_s/V = d_{\text{gelo}}/d_{\text{água}} \approx 0,9 = 90\%$.

Sobre a condição de flutuação em termos das densidades do fluido e do objeto, as coleções *Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar*, *Ciências da Natureza – Lopes & Rosso*, *Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias* e *Conexões – Ciências da Natureza e suas Tecnologias* apenas apresentam essa informação, de maneira que em nenhuma de seus respectivos livros há a preocupação em demonstrar esse resultado. Particularmente, nestes três últimos exemplares, a condição de flutuação em termos das densidades fluido-objeto é apresentada antes mesmo de se introduzir o conceito de empuxo, contribuindo para um ensino voltado para a transmissão de informação, em detrimento a uma possível construção do conhecimento a partir da discussão dos conceitos envolvidos.

Na coleção *Diálogo – Ciências da Natureza e suas Tecnologias*, sobre o princípio de Arquimedes propriamente dito, nada é discutido em nenhum dos seis livros dessa coleção. Por sua vez, a palavra *empuxo* aparece apenas três vezes em um problema que aparece no fim do capítulo 6, intitulado Diversidade dos seres vivos III.

A flutuação dos peixes na coluna-d'água é resultado da alteração de densidade desses animais em relação ao meio em que vivem. [...] A estabilidade do peixe na coluna-d'água também sofre influência direta de duas forças que atuam nos animais presentes nesse meio, a força peso (\vec{P}) e o empuxo (\vec{E}). A relação entre essas forças determina se um corpo submerso afunda ou flutua. [...] a) Diferencie força peso e empuxo. b) Analisando a imagem, elabore uma explicação, utilizando esquemas com imagens e textos, para a atuação da bexiga natatória na flutuação dos peixes na coluna-d'água, considerando a densidade, a força peso e o empuxo (LD3, p. 84).

Na coleção *Ser Protagonista Ciências da Natureza e suas Tecnologias*, os autores questionam como descobrir se uma determinada estátua é realmente de ouro 18 quilates, conforme alega um certo ourives. Os estudantes são, então, orientados a realizarem o cálculo da densidade da estátua para obter a resposta desejada:

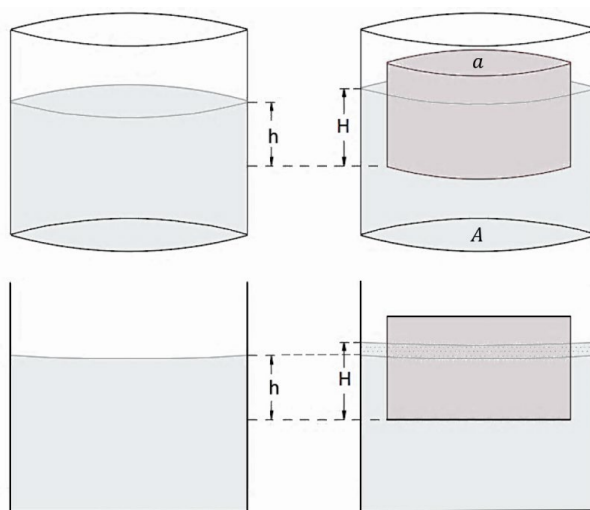
A massa de um objeto, como uma estátua, pode ser aferida com uma balança. Já o volume pode ser determinado pelo princípio de Arquimedes, segundo o qual o volume de água deslocado por um sólido é exatamente igual ao volume do próprio sólido (LD6, p. 60).

Na página seguinte, é introduzida a imagem do que poderia ser uma proveta graduada com uma determinada quantidade de água em duas situações: antes e após a inserção de um determinado objeto, o qual repousa no fundo da proveta. Na descrição dessa figura, lê-se a mensagem: *como calcular o volume de um objeto pelo princípio de Arquimedes*. A atividade se encerra com a tarefa de elaboração de um algoritmo no intuito de constatar se a estátua do ourives é realmente de ouro 18 quilates. Nesse caso, observa-se que além de não discutirem o princípio de Arquimedes, os autores o confundem com o chamado princípio da impenetrabilidade (dois corpos distintos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço e ao mesmo tempo), quando afirmam que o princípio de Arquimedes pode ser usado para o cálculo do volume do sólido inserido em água, conforme o trecho mencionado acima. Importa ressaltar, ainda, que a palavra *empuxo* não aparece em nenhum dos seis volumes dessa referida coleção.

3.3. Exceções envolvendo o módulo, o sentido e a direção do empuxo

Conforme mencionado, existem situações em que o módulo do empuxo não corresponde ao do peso do fluido deslocado. Isso acontece quando o nível do fluido é alterado com a presença do objeto flutuante, como cubos de gelo num copo com água ou um navio em um dique seco, por exemplo. A Figura 3 representa a situação inicial de um recipiente contendo um determinado fluido (à esquerda), bem como a sua configuração final, isto é, quando um determinado corpo flutua em seu interior (à direita). Nesse sentido, percebe-se que o nível do fluido se altera de $H - h$, após a inserção do objeto flutuante, em que as alturas H e h são tomadas em relação a posição final da base do objeto que flutua.

Figura 3: Recipiente de área transversal A com um determinado fluido antes (à esquerda) e após (à direita) a inserção de um objeto flutuante de área transversal a .



Fonte: os autores.

Como discutido a priori nessa seção, a força de empuxo que sustenta o peso do objeto que flutua provém do somatório das forças devido à pressão da água e/ou do ar em cada ponto da superfície do objeto. Consequentemente, o módulo do empuxo corresponde à diferença de

pressão entre a base e o topo do corpo flutuante vezes a área de sua seção reta (a), ou seja,

$$F_E = P_{hid}a = d_f gHa.$$

Portanto,

$$V = Ha,$$

é o volume que fornece o valor correto para a força de empuxo que, de fato, é capaz de suportar o peso do objeto inserido no fluido. Por outro lado, o volume de fluido que é efetivamente deslocado (V_d), devido à inserção do objeto flutuante, pode ser determinado pelo volume do objeto que se encontra ao longo da altura h , isto é,

$$V_d = ha$$

e também a partir do volume de água que sobe, considerando o nível da água antes da inserção do objeto, ou seja,

$$V_d = (H - h)(A - a),$$

em que A é a área da seção reta do recipiente que contém o fluido. Como o nível do fluido subiu ($h < H$), conclui-se das Eqs. (3) e (4) que o peso do volume de fluido deslocado ($d_f gha$), neste caso, não conduz à equação correta para o módulo do empuxo ($d_f gHa$), Eq. (2), contrariando o enunciado tradicional do princípio de Arquimedes, quando apresentado em termos do peso do volume de fluido deslocado.

Além disso, combinando as Eqs. (3), (4) e (5), obtém-se a Eq. (6):

$$V_d = \frac{A - a}{A} V,$$

a qual evidencia que $V_d \rightarrow V$ apenas quando $A \gg a$, o que resulta em, $H \rightarrow h$ e, assim, o módulo do empuxo pode, de fato, ser calculado a partir do peso do volume deslocado. Utilizando o mesmo procedimento, conclui-se que $V_d = V$ quando o recipiente se encontra completamente cheio com o fluido de densidade d_f , de maneira que a inserção do objeto provoca o extravasamento de um determinado volume de fluido que é

exatamente igual àquele ocupado pela parte do objeto que se encontra submersa. Ou seja, o módulo do empuxo equivale ao do peso do fluido deslocado somente quando o nível da superfície livre do fluido não é alterado pela imersão do objeto no fluido.

Esse resultado também foi demonstrado por Silveira e Medeiros (2009). Todavia, defende-se, no presente artigo, que os cálculos aqui apresentados são ainda mais acessíveis para professores e estudantes do Ensino Médio. Isso se deve ao fato de que as discussões realizadas aqui levam em consideração a distribuição das forças hidrostáticas sobre superfícies planas (Figura 2), bem como elementos geométricos, enquanto que os referidos autores recorrem ao chamado modelo de *balança hidrostática ideal*, o que, consequentemente, adensa a argumentação.

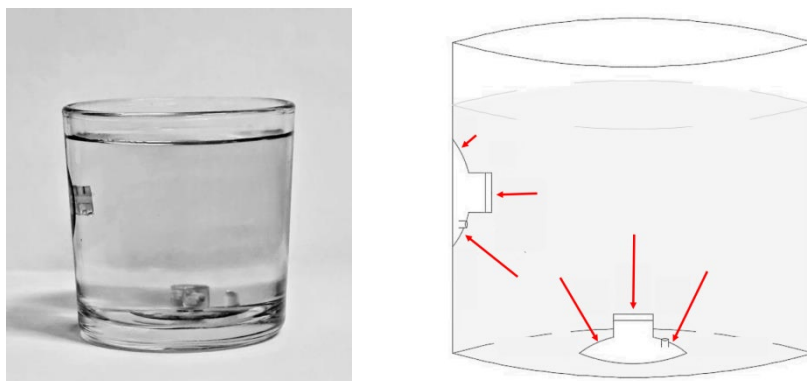
Um caso análogo àquele em que um objeto é inserido num recipiente completamente cheio com um líquido é utilizado na coleção *Conexões – Ciências da Natureza e suas Tecnologias*: “[...] ao imergir a pedra no recipiente maior preenchido com o líquido, parte do volume desse líquido é lançado no recipiente ao lado. O empuxo que age sobre o corpo possui valor igual à intensidade do peso do volume de líquido deslocado” (LD5, p. 49). Nesse caso, o módulo do empuxo é calculado corretamente com o volume deslocado somente porque, conforme explicado, o nível do líquido permanece o mesmo antes e após a inserção do objeto.

Já na coleção *Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias*, os autores sinalizam que a intensidade da força de empuxo “é igual à do peso do fluido deslocado pela parte submersa do corpo” (LD4, p. 101). Contudo, conforme as discussões apresentadas quando se considera situações como a da Figura 3, a parte submersa do objeto flutuante desloca um volume de fluido que não permite obter a intensidade correta da força de empuxo. De todo modo, nenhuma das coleções analisadas abordam teoricamente a referida exceção quando o princípio de Arquimedes é anunciado em termos do peso do volume de fluido deslocado.

Admitindo-se novamente o empuxo como a soma vetorial das forças devido à pressão aplicada em cada ponto da superfície de um objeto, mesmo quando esse não esteja completamente cercado por fluido, conclui-se que o empuxo pode assumir outras direções além da vertical (para cima). Por exemplo, ao fixar uma ventosa de silicone no fundo ou na lateral de um recipiente com água, infere-se que, em ambos os casos, ocorre uma

quebra de simetria, de maneira que o empuxo já não aponta na vertical para cima (Figura 4). Quando fixada no fundo do recipiente, a pressão absoluta sobre a ventosa é responsável por uma força de empuxo que ainda está na vertical, porém, aponta para baixo. Já na outra situação mostrada na Figura 4, devido à existência de uma componente horizontal não nula, a ventosa fixada contra a parede lateral do recipiente recebe uma força de empuxo na direção noroeste. Uma proposta experimental mais sofisticada deste caso, ou seja, em que o empuxo também não está na vertical apontando para cima, pode ser encontrada em (Lima; Venceslau; Brasil, 2014).

Figura 4: À esquerda, ventosas fixadas no fundo e na lateral de um copo com água. À direita, as setas (fora de escala) indicam as forças devido à pressão absoluta, cuja resultante é o empuxo.



Fonte: os autores.

Em ambas as situações da Figura 4, é fácil constatar que a intensidade do empuxo vai depender da profundidade em que as ventosas são fixadas. Por essa razão, infere-se que o seu módulo não pode ser corretamente obtido em termos da Eq. (1). A Figura 5 também ilustra uma situação, provavelmente até mais próxima da realidade dos estudantes, em que um objeto, um suporte para pano de prato, está imerso num fluido (o ar atmosférico), no entanto, não recebe uma força de empuxo na vertical para cima. Quando fixado na parede, a força de empuxo sobre o suporte que, nesse caso, é devido à pressão atmosférica, possui uma componente horizontal não nula.

Figura 5: Suporte para pano de prato fixado por ventosa.



Fonte: os autores.

Importa enfatizar aqui o fato de Arquimedes considerar que o objeto está completamente rodeado por água num oceano infinito (Snir, 1991). Portanto, é razoável esperar que as situações apresentadas nas Figuras 3, 4 e 5 não estejam contempladas nas conclusões de seu tratado original, porque a influência das paredes do recipiente não pode ser ignorada nos casos discutidos ao longo dessa investigação. De todo modo, observou-se que as exceções que envolvem o sentido e a direção da força de empuxo também não foram consideradas em nenhuma das coleções aprovadas pelo PNLD 2021.

Finalmente, caso o professor deseje aprofundar as discussões a respeito da causa do empuxo, poderá notar que é o efeito do campo gravitacional que resulta, de fato, em uma pressão hidrostática (e, portanto, força hidrostática) não nula. Isso porque, se um fluido estiver em equilíbrio em relação à Terra, então um objeto em equilíbrio com este fluido estará sujeito à uma força dada pela Eq. 1 (se o nível do fluido não se alterar com a inserção do objeto) ou pela Eq. 2 (caso contrário), excluindo-se as situações mostradas nas Figuras 4 e 5. Porém, casos em que $g = 0$, resulta em pressão hidrostática e, portanto, força hidrostática nula. Tal situação pode ser observada, por exemplo, quando o ludião localizado no fundo de uma garrafa PET é liberado ao mesmo tempo em que a garrafa é colocada

em queda livre. Aqui, o interior da garrafa se comporta como um espaço livre de gravidade e, conseqüentemente, a água é incapaz de exercer pressão, implicando em um empuxo igual a zero. Assim, o habitual movimento ascendente do ludião não é observado durante a queda da garrafa (Slisko, 2020). Embora instrutivo, este caso também não foi discutido em nenhum dos livros analisados.

4. Considerações finais

Mediante as análises das coleções, observou-se, de forma geral, que os autores recorrem a exemplos do cotidiano para ilustrar a existência da força de empuxo. No entanto, apenas um exemplar, que pertence à coleção *Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar*, buscou esclarecer, de fato, o entendimento atual da origem da força de empuxo, obtendo, inclusive a sua expressão em termos mais fundamentais. Por outro lado, três das sete coleções aprovadas pelo PNLD 2021, optaram por apresentar a equação para o empuxo a partir do célebre enunciado do princípio de Arquimedes, considerando-o válido para qualquer situação. De fato, a ausência de um modelo explicativo e de sua respectiva consideração teórica identificado na maioria dos livros, impossibilita o reconhecimento dos limites explicativos para o fenômeno em questão e não gera oportunidades para que os estudantes possam compreender a dinâmica da construção do conhecimento científico. Tal situação colabora ainda para a disseminação de visões simplistas sobre Ciência.

Ademais, em nenhum dos textos analisados notou-se o estabelecimento de relações matemáticas entre os módulos das forças peso e empuxo, a fim de obter a condição de flutuação em termos das densidades do fluido e do objeto. Assim, o fato dos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2021 não tratarem do processo de construção/aplicação das equações envolvidas, reforça a ideia de uma visão dogmática do conhecimento científico.

Particularmente, na coleção *Conexões – Ciências da Natureza e suas Tecnologias*, os autores afirmam que a força de empuxo “aponta para a superfície” (LD5, p. 49) – do líquido. Contudo, isso não acontece quando o centro de empuxo do objeto que flutua estiver localizado acima da

superfície do líquido, conforme pode ser observado na Figura 1 do trabalho de Oliveira, Melo Filho e Afonso (2013). Além disso, no livro didático em questão, é importante observar que a atividade proposta envolvendo uma suposta analogia entre o movimento vertical de um submarino e o de um ludião, já tem sido alvo de críticas conceituais (Jesus; Marlasca; Tenório, 2007).

Finalmente, diante do enorme volume de novas informações e dos avanços científicos e tecnológicos, sem dúvida, a elaboração de livros didáticos nas primeiras décadas do século XXI consiste em uma tarefa bastante desafiadora, principalmente quando se tem um número bastante limitado de páginas, conforme previsto no edital de convocação para o processo de inscrição e avaliação de obras didáticas para o PNLD 2021 (Brasil, 2019). De todo modo, entende-se que a BNCC não traz um rol de conteúdos a serem abordados na educação básica, mas detalha sobre as competências e habilidades a serem alcançadas a partir da abordagem escolar. Nesse sentido, temas que se relacionam com as propriedades da matéria, dinâmica das transformações, aplicações do conhecimento científico, dentre outros, permeiam a proposta da BNCC e podem ser considerados aspectos aos quais os conceitos discutidos a partir do princípio de Arquimedes se relacionam. De todo modo, a BNCC considera importante “o reconhecimento dos limites explicativos das ciências, criando oportunidades para que os estudantes compreendam a dinâmica da construção do conhecimento científico” (Brasil, 2018, p. 550). Assim, este trabalho visa apresentar uma perspectiva que poderá colaborar com as discussões mais aprofundadas sobre o princípio de Arquimedes, bem como poderá contribuir para uma possível atualização das coleções ou como reflexão teórica e conceitual tanto para professores de Física da Educação Básica quanto de cursos de formação inicial de professores e autores de livros didáticos.

Referências

ASSIS, A. K. T. Sobre os corpos flutuantes, tradução comentada de um texto de Arquimedes. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 16, p. 69–80, 1996. Disponível em: <[https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Revista-SBHC-V16-p69-80\(1996\).pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Revista-SBHC-V16-p69-80(1996).pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2023.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_ve rsaofinal_site.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2023.

BRASIL. **Edital de Convocação Nº 03/2019 – CGPLI**. MEC/Secretaria de Educação Básica, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/programas-do-livro/consultas-editais/editais/edital-pnld-2021/EDITAL_PNLD_2021_CONSOLIDADO_13__RETIFICACAO_07.04.2021.pdf>. Acesso em: 07 de nov. 2023.

BRASIL. **Guia Digital PNLD 2021**. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2021. Disponível em: https://pnld.nees.ufal.br/assets-pnld/guias/Guia_pnld_2021_didatico_pnld-2021-obj2-ciencias-natureza-suas-tecnologias.pdf. Acesso em: 07 de nov. 2023.

COMPIANI, M. Comparações entre a BNCC atual e a versão da consulta ampla, item ciências da natureza. **Ciências em Foco**, Campinas, SP, v. 11, n. 1, p. 91-106, 2018. Disponível em: <<https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/cef/article/view/15027>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

FRONTALI, C. History of physical terms: ‘pressure’. **Physics Education**, v. 48, n. 4, p. 484-490, 2013. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/48/4/484>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

HIDALGO, J. M., QUEIRÓZ, D. M.; OLIVEIRA, M. C. J. A História da Ciência no PNLD 2018: o Princípio de Arquimedes como estudo de caso. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 2, p. 1251–1281, 2021.

Disponível em: <
<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/76199>>. Acesso em:
23 nov. 2023.

HEATH, T. L. **The Works of Archimedes**. Londres: Cambridge University Press, 1897. Disponível em: <
https://www.google.com.br/books/edition/The_Works_of_Archimedes/bTEPAAAAIAAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=The+Works+of+Archimedes.&printsec=frontcover>. Acesso em: 23 nov. 2023.

JESUS, V. L. B.; MARLASCA, C.; TENÓRIO, A. Ludião versus princípio do submarino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 599–603, 2007. Disponível em: <
<https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/070705.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

LEROY, B. Archimedes principle: a simple derivation. **European Journal of Physics**, v. 6, n.1, p. 56, 1985. Disponível em: <
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/6/1/107/pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

LIMA, F. M. S. Using surface integrals for checking Archimedes' law of buoyancy. **European Journal of Physics**, v. 33, n. 1, p. 101–113, 2012. Disponível em: <
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/33/1/009>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

LIMA, F. M. S.; VENCESLAU, G. M.; BRASIL, G. T. A downward buoyant force experiment. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, p. 2309, 2014. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/w7VfCBmYgN46Wm77ttMmQ7d/?format=html&lang=en>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

LUCIE, P. H. La bilancetta – a pequena balança ou a balança hidrostática. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 9, p. 105-107, 1986. Disponível em: <
<https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/1219>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens**

qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, R. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 2, p. 115-121, 2000. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6769>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

OLIVEIRA, B. M.; MELO FILHO, J. M.; AFONSO, J. C. A densidade e a evolução do densímetro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 1601, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/Y7KVH73Hs4fh8hsdmK3bK6r/>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

SILVEIRA, F. L.; MEDEIROS, A. O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 273-294, 2009. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Paradoxo_hidro_GALILEU.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2023.

SLISKO, J. A new role for the Cartesian diver: Showing free-fall weightlessness. **The Physics Teacher**, v. 58, n. 6, p. 446, 2020. Disponível em: <<https://pubs.aip.org/aapt/pte/article-abstract/58/6/446/279036/A-new-role-for-the-Cartesian-diver-Showing-free?redirectedFrom=fulltext>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

SNIR, J. Sink or Float-What Do the Experts Think?: The Historical Development of Explanations for Floatation. **Science Education**, v. 75, n. 5, p. 595-609, 1991. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sce.3730750508>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

SOBRINHO JÚNIOR, J. F.; MESQUITA, N. A. S. A evolução histórica da interação entre o leitor e o livro didático de ciências no Brasil. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 28, e22012, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/VVdt3zpwqscjj9yrSWytxDF/>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

Recebimento em: 31/08/2023.

Aceite em: 28/01/2024.