



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 36

Ozaías Rodrigues Cavalcante

**Sequência Didática sobre um Caso Limite do Empuxo de Arquimedes: O
Paradoxo Hidrostático de Galileu.**

Orientador: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva

Maceió - AL

Novembro de 2024

Ozaías Rodrigues Cavalcante

**Sequência Didática sobre um Caso Limite do Empuxo de Arquimedes: O
Paradoxo Hidrostático de Galileu.**

Dissertação apresentada ao Polo
36/UFAL do Programa de Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de
Física da Universidade Federal de
Alagoas (UFAL) como requisito
parcial à obtenção do título de Mestre
em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva.

Maceió - AL
Novembro de 2024

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale CRB4 - 661

C377s Cavalcante, Ozaías Rodrigues.

Sequência didática sobre um caso limite do empuxo de Arquimedes : o paradoxo hidrostático de Galileu / Ozaías Rodrigues Cavalcante. – 2024.
61 f. + (28 f. não numeradas) : il.

Orientador: Wagner Ferreira da Silva.

Dissertação (mestrado profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Alagoas. Polo 36/UFAL. Maceió, 2024.

Inclui bibliografia.

Apêndices: Produto educacional: O paradoxo hidrostático de Galileu : Experimento de baixo custo.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Empuxo. 3. Paradoxo hidrostático de Galileu.
4. Sequência didática. 5. Experimento de baixo custo. I. Título.

CDU: 53:37



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE FÍSICA
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 36 - UFAL
Campus A. C. Simões - Av. Lourival de Melo Mota, S/Nº.
Tabuleiro dos Martins - 57.072-970 - Maceió - AL - Brasil
Tels.: Direção: (82) 3214-1645; Coordenação Graduação: (82) 3214.1421;
Coordenação Pós-Graduação: (82) 3214-1423 / 3214 – 1267

Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física



**PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

“SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE UM CASO LIMITE DO EMPUXO DE ARQUIMEDES: O PARADOXO HIDROSTÁTICO DE GALILEU”.

por

Ozaías Rodrigues Cavalcante

A Banca Examinadora composta pelos professores, Dr. Wagner Ferreira da Silva (Orientador), do Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Dr. Marcelo Castanheira da Silva, do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre (UFAC) e Dr. Samuel Silva de Albuquerque, do Campus Arapiraca da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), consideram o candidato **aprovado**.

Maceió/AL, 25 de novembro de 2024.

Documento assinado digitalmente

WAGNER FERREIRA DA SILVA
Data: 27/11/2024 14:34:32-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva

Documento assinado digitalmente

MARCELO CASTANHEIRA DA SILVA
Data: 26/11/2024 15:43:52-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Castanheira da Silva

Documento assinado digitalmente

SAMUEL SILVA DE ALBUQUERQUE
Data: 26/11/2024 18:09:41-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. Samuel Silva de Albuquerque

Dedico esta dissertação a todos que direta, ou indiretamente, contribuíram para a possibilidade da sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Wagner Ferreira da Silva, pela dedicação e paciência com que me conduziu na orientação deste trabalho. Sou grato também ao professor Thiago Souto pela cessão de seus horários de aulas para a aplicação do produto educacional; ao professor Oberlan da Silva pelas críticas e sugestões; e ao professor Valdemir Mariano pela sua grandeza espiritual.

Sou grato ainda à secretária Valdjane Gomes Matias pelos encaminhamentos pertinentes, e a Eduardo Antônio de Araújo Santos pelo trabalho fotográfico.

Aos professores Marcelo Castanheira e Samuel Silva por terem aceitado participar da banca de avaliação deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

RESUMO

A ciência é dinâmica; a cada momento, paradigmas bem estabelecidos são quebrados. Além disso, os modelos desenvolvidos para explicar os fenômenos físicos, em geral, são limitados. Contudo, não é incomum encontrarmos livros didáticos que apresentam as teorias e os enunciados como se fossem definitivos, sem necessidade de atualizações, e que não abordam os casos-limite das teorias. Um exemplo disso é a flutuação dos corpos, em que muitos livros didáticos apresentam a lei do empuxo de uma maneira que gera contradições, como no caso em que um recipiente contém uma quantidade de líquido que pesa menos que um determinado objeto, e ainda assim o objeto consegue flutuar. Este é o caso do paradoxo hidrostático de Galileu. Assim, para despertar em professores e alunos a necessidade de uma postura reflexivo-crítica ao apresentar uma teoria física, desenvolvemos este trabalho, que consiste em uma sequência didática sobre o paradoxo hidrostático de Galileu, na qual propomos um experimento de baixo custo para ilustrar esta interessante situação física. A metodologia do trabalho foi baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco. O produto educacional desenvolvido foi aplicado em uma turma de um curso médio integrado de um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Como resultados, observamos uma redução no percentual de equívocos dos alunos nas questões sobre o problema da flutuação dos corpos após a aplicação da sequência didática. Além disso, os alunos relataram não conhecer o paradoxo hidrostático de Galileu e demonstraram grande interesse pela demonstração realizada. Eles afirmaram que a prática experimental desenvolvida contribuiu para uma melhor compreensão do conteúdo e aumentou sua motivação para participar das aulas. Assim, acreditamos que a sequência didática aqui desenvolvida pode ser uma importante ferramenta para os professores que desejam ensinar tanto a flutuação arquimediana quanto a galileana.

Palavras-chave: Ensino de Física; Empuxo; Paradoxo Hidrostático de Galileu; Sequência didática; Experimento de Baixo Custo.

Didactic Sequence on a Limiting Case of Archimedes' Buoyancy: Galileo's Hydrostatic Paradox

Ozaías Rodrigues Cavalcante

Supervisor: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva

Abstract of master's thesis submitted to Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF)-Polo 36-UFAL, in partial fulfillment of the requirements for the degree "Mestre em Ensino de Física".

ABSTRACT

Science is dynamic; at every moment, well-established paradigms are challenged. Furthermore, the models developed to explain physical phenomena are generally limited. However, it is not uncommon to encounter textbooks that present theories and statements as if they were definitive, without the need for updates, and that do not address the edge cases of these theories. An example of this is the buoyancy of bodies, where many textbooks present Archimedes' principle in a way that generates contradictions, such as in the case where a container holds a volume of liquid that weighs less than a specific object, and yet the object is able to float. This exemplifies Galileo's hydrostatic paradox. Therefore, to awaken in both teachers and students the need for a reflective-critical stance when presenting a physical theory, we developed this work, which consists of a didactic sequence about Galileo's hydrostatic paradox, in which we propose a low-cost experiment to illustrate this intriguing physical situation. The methodology of this work was based on the Three Pedagogical Moments (3PM) proposed by Delizoicov, Angotti, and Pernambuco. The developed educational product was applied in a class of a fully integrated high school at a Federal Institute of Education, Science, and Technology. As a result, we observed a reduction in the percentage of students' mistakes in questions about the problem of floating bodies after applying the didactic sequence. Additionally, students reported that they were unaware of Galileo's hydrostatic paradox and expressed great interest in the demonstration conducted. They stated that the experimental practice developed contributed to a better understanding of the content and increased their motivation to participate in classes. Thus, we believe that the didactic sequence developed here can be an important tool for teachers who wish to teach both Archimedean and Galileo's buoyancy.

Keywords: Teaching Physics; Buoyancy; Galileo's Hydrostatic Paradox; Didactic Sequence; Low-Cost Experiment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DO PROBLEMA.....	13
2.1 O caso limite da flutuação de Arquimedes	14
2.2 Como os livros didáticos abordam a Lei de Arquimedes para o empuxo ...	16
2.3 Abordando a flutuação dos corpos.....	19
2.4 Uso de experimentos no ensino da Física	21
3 REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO.....	24
3.1 Metodologias ativas.....	24
3.2 Os Três Momentos Pedagógicos (3MP) segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco.....	27
4 REVISÃO TEÓRICA SOBRE O EMPUXO	31
4.1 Grandezas físicas no estudo da flutuação.....	31
4.2 Lei de Stevin – Pressão hidrostática	34
4.3 Lei de Arquimedes – Empuxo	36
4.4 Explicando a flutuação de Galileu	37
4.5 Reescrevendo o enunciado da Lei de Arquimedes para o empuxo	38
5 O PRODUTO EDUCACIONAL E COMO ELE FOI APLICADO	40
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
APÊNDICE – PRODUTO EDUCACIONAL	62

1 INTRODUÇÃO

A Física é uma disciplina estritamente experimental; por mais elegante que uma teoria seja, ela necessita de validação experimental para ser aceita pela comunidade científica. Nesse sentido, é essencial que seja ensinada nas salas de aula utilizando, sempre que possível, recursos experimentais. Além disso, é importante que os alunos tenham noção de que toda teoria possui suas limitações e seus casos limites. Contudo, em geral, isso não é abordado nos livros didáticos. Um exemplo disso é a forma como a lei de Arquimedes, referente ao empuxo, é enunciada nos textos de Física, o que pode levar a uma contradição.

A maneira como os textos de Física apresenta a lei para corpos flutuantes resulta em uma contradição conhecida como "o paradoxo hidrostático de Galileu". Isso ocorre porque nem sempre o empuxo é igual ao peso do volume de líquido deslocado pelo corpo que flutua.

O problema da flutuação dos corpos é enfatizado na *flutuação de Galileu* (1564 -1642). Esse modelo de flutuação consiste na possibilidade de um corpo poder flutuar em um volume de líquido cujo peso total é inferior ao peso do corpo posto a flutuar. Porém, isso vai de encontro ao modelo da *flutuação de Arquimedes*, em geral, ensinado na maioria dos livros didáticos, que diz que o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo. Além disso, nos cursos básicos de Física o problema da flutuação dos corpos é costumeiramente tratado sem a preocupação de se analisar a complexidade da sua natureza.

Dizer que o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pode até ser uma condição suficiente, porém, não é condição necessária para que o corpo flutue, como iremos mostrar na fundamentação teórica deste trabalho.

A natureza complexa do empuxo pode ser justificada por meio de uma análise histórica do seu desenvolvimento. Este problema, da flutuação dos corpos, foi estudado pioneiramente por Arquimedes (287 a 212 a.C), na Grécia antiga, no sec. III, a.C. Contudo, ficou adormecido até o *Renascimento* no sec. XV, sendo posteriormente redescoberto na segunda metade do séc. XVI, por

Simon Stevin (1548 -1620). Particularmente, a limitação na validação da lei de Arquimedes, para o problema da flutuação, foi percebida por Galileu, no século XVII.

Com base no que foi exposto até aqui, nosso trabalho teve por objetivo desenvolver uma sequência didática com experimentos de baixo custo para comprovar o limite de validade do empuxo arquimediano. Ele foi planejado para ser aplicado em quatro aulas, não necessariamente consecutivas. Os experimentos propostos são relativamente simples de serem realizados, podendo ser feitos na própria sala de aula, sem a necessidade de levar os alunos a um laboratório de Física. Com essa proposta esperamos contribuir para tornar o estudo da flutuação dos corpos mais crítico por parte de alunos e professores.

É importante, contudo, enfatizar que a contradição não está na lei do empuxo de Arquimedes, mas no modo como os livros didáticos de Física, tanto do Ensino Médio quanto da Educação Superior, em geral, enunciam essa lei para os corpos flutuantes.

Para alcançarmos o nosso objetivo, de demonstrar experimentalmente a limitação na flutuação arquimediana, elaboramos uma sequência didática, a qual foi aplicada em uma turma diurna, com 32 alunos do III Módulo de um curso Médio Integrado de um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.

Embora haja uma grande variedade de aparelhos experimentais que podem ser utilizados no processo de ensino e aprendizagem sobre a flutuação dos corpos, muitos desses aparelhos são caros ou difíceis de confeccionar. Sendo assim, optamos por desenvolver um aparelho experimental que fosse barato e de manuseio simples, para que os alunos pudessem questionar experimentalmente a forma como a lei do empuxo é apresentada nos textos de Física.

A escolha do tema relacionado à flutuação dos corpos, com ênfase na flutuação de Galileu, foi feita porque, como já mencionado, a forma como os textos didáticos de Física enuncia a lei do empuxo arquimediano pode levar a uma contradição. Além disso, porque o fenômeno da flutuação dos corpos é um conteúdo de grande importância que, geralmente, desperta muita curiosidade nos alunos.

Para alcançar o objetivo apresentado, o trabalho está estruturado da seguinte forma: no Capítulo 2, faremos uma contextualização histórica do problema relacionado ao “paradoxo hidrostático de Galileu”, abordando alguns

casos-limite presentes na Física e a forma como os livros didáticos, tanto do Ensino Médio quanto da Educação Superior, apresentam a lei do empuxo de Arquimedes, além de discutir as razões pelas quais o “erro” se propagou. Ainda no Capítulo 2, será discutida a relevância do uso de experimentos no ensino da Física, especialmente na demonstração de alguns casos-limite das teorias físicas, como a flutuação galileana.

Em seguida, no Capítulo 3, apresentaremos o referencial teórico-metodológico do trabalho, onde trataremos dos *Três Momentos Pedagógicos (3MP)* segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco. No Capítulo 4, será abordada uma revisão teórica de alguns conceitos e leis físicas necessários ao estudo da flutuação dos corpos. Neste capítulo, também será apresentada uma explicação para a flutuação de Galileu e como a lei do empuxo pode ser enunciada sem gerar contradições. Após isso, no Capítulo 5, discutiremos o produto educacional desenvolvido e sua aplicação. Os resultados obtidos serão discutidos no Capítulo 6. Por fim, no Capítulo 7, faremos as considerações finais do trabalho.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DO PROBLEMA

A ciência, como um todo, e a Física, em particular, estão em permanente evolução. Parte relevante deste processo evolutivo da Física decorre da superação dos casos limites das teorias, ou seja, quando uma teoria já não consegue explicar todos os fenômenos que se propunha a explicar.

Muitos avanços significativos ocorreram quando as teorias físicas existentes falharam em explicar fenômenos observados, levando à formulação de novas teorias. Um exemplo clássico é o caso da mecânica clássica e a teoria da relatividade. A mecânica de Newton descrevia com precisão o movimento dos corpos em condições normais de velocidade e escala. No entanto, no final do século XIX, experimentos como o de Michelson-Morley mostraram que a velocidade da luz era constante independentemente do movimento do observador, um paradoxo para a mecânica clássica. Para resolver essa contradição, Albert Einstein formulou a teoria da relatividade restrita em 1905, que introduziu novos conceitos de espaço e tempo e mostrou que as leis da física são as mesmas para todos os observadores, independentemente de sua velocidade relativa.

Outro caso limite significativo ocorreu no início do século XX com a física quântica. A teoria clássica da eletrodinâmica, descrita pelas equações de Maxwell, falhava ao explicar fenômenos em escalas atômicas, como o espectro de emissão dos átomos e o efeito fotoelétrico. Esses paradoxos levaram ao desenvolvimento da teoria quântica, começando com a hipótese de quantização de Max Planck em 1900 e culminando com a formulação da mecânica quântica nos anos 1920 por cientistas como Niels Bohr, Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger. A mecânica quântica introduziu conceitos revolucionários, como a dualidade onda-partícula e o princípio da incerteza, que resolveram os paradoxos da teoria clássica e proporcionaram uma compreensão mais profunda do comportamento da matéria e da energia em escalas microscópicas.

Outro exemplo de caso limite ocorre entre o modelo da flutuação de Arquimedes e o modelo da flutuação de Galileu, tema central deste trabalho, já descrito na introdução. Posteriormente, aprofundaremos mais sobre esse tema. Por ora, queremos enfatizar que, em geral, na prática docente do Ensino Médio,

os casos limites das teorias físicas não são abordados em sala de aula. Contudo, quando os alunos têm a chance de entrar em contato com esse tipo de situação, geralmente ficam impactados com os resultados observados. Isso ocorreu, por exemplo, quando os alunos aos quais aplicamos este trabalho tiveram conhecimento da “flutuação de Galileu”, como detalharemos no capítulo dos resultados.

Discutir casos limites das teorias em sala de aula é importante para evitar situações em que, por exemplo, o aluno apresente, em seus cálculos, um valor de velocidade superior ao da luz, sem atentar para essa impossibilidade.

Na Educação Superior, os cursos de Física, em geral, oferecem em seus currículos uma disciplina que aborda, entre outros conteúdos, o tema de casos limites. Essas disciplinas são geralmente denominadas: “História das Ciências”, “História da Evolução da Física”, “História da Física”, entre outras nomeações afins.

Por outro lado, no Ensino Médio, geralmente os alunos não têm contato com essa temática. As razões para isso podem ser várias, desde a quantidade reduzida de horas de aula de Física no Ensino Médio, até o fato de que alguns professores acham que este tipo de abordagem não é relevante. Contudo, pedagogicamente isso não é bom, pois o aluno fica com a impressão de que o assunto abordado é, de fato, um “retrato fiel” da Natureza, e não apenas um “esboço rebuscado” da realidade.

A seguir, iremos detalhar um pouco mais sobre o caso limite da flutuação de Arquimedes.

2.1 O caso limite da flutuação de Arquimedes

Com o surgimento do conceito de pressão, criado por Stevin na segunda metade do século XVI, Galileu percebeu no século seguinte uma inconsistência no modelo flutuativo de Arquimedes. Nesse modelo, a lei do empuxo apresenta restrições e só é válida em duas situações:

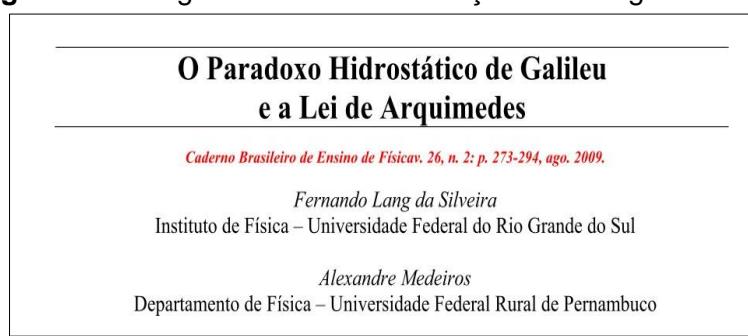
- quando o volume de líquido no recipiente é maior que volume do corpo mergulhado, ou
- quando o recipiente, independentemente de suas dimensões, está completamente cheio.

Arquimedes formulou seu modelo para a flutuação dos corpos baseado na ideia de “oceanos infinitos”, enquanto Galileu desenvolveu seu modelo com base no conceito de pressão hidrostática, que não possui as mesmas restrições da flutuação arquimediana. Não há registros históricos de que Arquimedes tenha recorrido a experimentações para justificar seu modelo (Assis, 2008).

Assim como a Mecânica de Newton falha para velocidades próximas à da luz, a flutuação arquimediana falha quando as dimensões do recipiente são próximas às dimensões do corpo flutuante. Em tais condições, o empuxo deixa de ser igual ao peso do volume do líquido deslocado. Da mesma forma que a Mecânica de Newton é um caso restrito da Mecânica de Einstein, a “flutuação de Arquimedes” é um caso particular de um modelo de flutuação mais geral. Isso, contudo, não é apresentado, muito menos discutido, nas práticas docentes no Ensino Médio.

Quando pesquisamos informações sobre a flutuação arquimediana, que trata do empuxo como sendo igual ao peso do volume do líquido deslocado, encontramos uma vasta literatura. No entanto, ao buscar informações sobre a “flutuação de Galileu”, que aborda a possibilidade de um corpo flutuar em um volume de líquido cujo peso é inferior ao peso do corpo, o resultado foi escasso, com apenas um artigo relevante encontrado, publicado por Silveira e Medeiros (2009). A **Figura 2.1** mostra a imagem do cabeçalho deste referido artigo.

Figura 2.1: Imagem retratando o cabeçalho do artigo encontrado.



Fonte: Autor, 2023.

A seguir, iremos mostrar como alguns livros de Física, tanto do Ensino Médio quanto da Educação Superior, apresentam o enunciado da lei do empuxo arquimediano de modo bastante similar, sem fazer ressalvas para a possibilidade da “flutuação de Galileu”.

2.2 Como os livros didáticos abordam a Lei de Arquimedes para o empuxo.

O Quadro 2.1 mostra como os autores de textos didáticos de Física do Ensino Médio enunciam a lei de Arquimedes para o empuxo.

Quadro 2.1. Como os autores dos textos didáticos de Física do Ensino Médio enunciam a lei do empuxo.

Autores	Livro	Enunciado
Francisco Ramalho Junior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares.	Os fundamentos da FÍSICA; Vol.1; Editora Moderna; São Paulo; Ano: 2007; ed.: 9ª; Pág.: 437.	“Todo corpo sólido mergulhado num fluido em equilíbrio recebe uma força de direção vertical e sentido de baixo para cima cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado. ”
Ricardo Helou Doca, Gualter José Biscuola, Newton Villas Bôas.	Tópicos de Física; Vol.1; Editora Saraiva; São Paulo; Ano: 2012; ed.: 21ª; Pág.: 459	“Quando um corpo é imerso total ou parcialmente em um fluido em equilíbrio sob a ação da gravidade ele recebe do fluido uma força denominada empuxo ou (impulsão de Arquimedes). Tal força tem sempre direção vertical sentido de baixo para cima e intensidade igual à do peso do fluido deslocado pelo corpo ”.
Antônio Máximo; Beatriz Alvarenga.	FÍSICA; Vol.1; Editora Scipione; São Paulo; Ano: 2006; ed.:1ª; Pág.: 260	“o valor do empuxo que atua em um corpo é igual ao peso do líquido deslocado pelo corpo. ”
Caio Sérgio Calçada, José Luís Sampaio.	Física Clássica; Vol.1; Editora Atual; São Paulo; Ano: 2012; ed.: 1ª; Pág.: 518	“O empuxo exercido por um fluido sobre um corpo total ou parcialmente imerso no fluido tem módulo igual ao módulo do peso do fluido deslocado pelo corpo ”

Fonte: Autor, 2023.

No contexto dos livros usados na Educação Superior, o cenário não é diferente. Como se pode ver a partir do **Quadro 2.2**, os autores dos textos didáticos de Física da Educação Superior enunciam a lei do empuxo

arquimediano, afirmando essencialmente que "**o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo**", sem fazer restrições ou referências ao fato de que, nem sempre, isso é verdade.

Quadro 2.2. Como os autores dos textos didáticos de Física da Educação Superior enunciam a lei do empuxo.

Autores	Livro	Enunciado
Halliday & Resnick.	Fundamentos de FÍSICA; Vol.: 2; Editora: LTC; São Paulo; Ano: 2021; ed.: 9 ^a ; Pág.: 68.	"Quando um corpo está total ou parcialmente submerso em um fluido, uma força de empuxo F_e exercida pelo fluido age sobre o corpo. A força é dirigida para cima e tem um módulo igual ao peso mg do fluido deslocado pelo corpo. "
Paul A. Tipler; Gene Mosca.	FÍSICA PARA A CIENTISTAS E ENGENHEIROS; Volume: 1; Editora: LTC; São Paulo; Ano: 2009; ed.: 6 ^a ; Pág.: 440.	"Um corpo total ou parcialmente mergulhado em um fluido sofre um empuxo de baixo para cima igual ao peso do fluido por ele deslocado. "
H. Moysés Nussenzveig.	Curso de Física Básica; Vol. 2; Editora Blucher; São Paulo; Ano: 2014; ed.: 5 ^a ; Pág.: 22.	"Um corpo total ou parcialmente imerso num fluido recebe do fluido um empuxo igual e contrário à força peso da porção de fluido deslocada , aplicado no centro de gravidade dessa porção."

Fonte: Autor, 2023.

Perceba que, na essência, não há diferença na forma como os textos didáticos de Física, em qualquer nível – médio ou superior – enunciam a lei de Arquimedes para o empuxo. Sobre as semelhanças dos textos encontrados tanto nos livros de Física do Ensino Médio quanto da Educação Superior, Bachelard (1996, p. 30) afirma:

"Os textos de física, que há meio século são cuidadosamente copiados uns dos outros, fornecem aos alunos uma ciência socializada, imóvel, que, graças à estranha persistência do programa dos exames universitários, chega a passar como natural; mas não é; já não é natural."

É bastante curioso como um problema do século III a.C., redescoberto durante o Renascimento e que tanto influenciou Stevin e Galileu, ainda hoje seja tratado – e ensinado – sem a preocupação de discutir seus pressupostos e os limites que invalidam a forma como é enunciado. Sobre o “Paradoxo Hidrostático de Galileu”, Silveira & Medeiros (2009) destacam que ele provavelmente aparece

ainda hoje devido à forma como os livros apresentam o experimento da lei do empuxo:

"O mistério do Paradoxo Hidrostático de Galileu provém do fato de que comumente não nos apercebemos que a Lei de Arquimedes, da forma como costuma ser apresentada "experimentalmente" nos livros-texto, nos induz fatalmente a um erro de avaliação. A referida lei afirma que: "todo corpo mergulhado em um líquido sofre um empuxo de baixo para cima igual ao peso do fluido por ele deslocado". A principal peça de convencimento educacional comumente oferecida pelos livros didáticos de Física para que o aprendiz aceite a validade de tal afirmativa de Arquimedes é um "experimento" no qual um corpo é inicialmente colocado a flutuar em um vaso já repleto de água. No referido "experimento" – usualmente ilustrado nos livros – toda a água que extravasa do recipiente é recolhida e convenientemente pesada. O resultado mostra que o peso desta água deslocada é igual ao peso do corpo colocado a flutuar. O tal experimento parece convincente, a julgar pelo uso secular que os autores de livros didáticos de Física têm feito do mesmo, desde que Gravesande (1688- 1742) e Musschenbroek (1692-1761) o utilizaram de forma pioneira em seus livros ainda no início do século XVIII. Desde então, este tal experimento tem sido assumido como uma peça de evidência válida, convincente e inofismável da referida Lei de Arquimedes, sem que se leve em conta que a justeza deste argumento já houvesse sido criticada no século XVII por Galileu, dando origem ao seu célebre Paradoxo Hidrostático."

Segundo alguns registros históricos, o empuxo tem sido objeto de estudo desde a Grécia antiga, onde o primeiro modelo explicativo organizado sobre o problema básico da flutuação dos corpos é encontrado nos escritos de Arquimedes (Mach, 1989, pp. 106-150; Kemble, 1966, pp. 312-325; Taylor, 1959, pp. 91-109). Não há registros de que alguém tenha tratado deste assunto antes dele (Assis, 2008).

Devemos entender, contudo, que a teoria, como é hoje apresentada pelos textos de Física e pelos professores, contém significativas modificações em relação aos escritos originais de Arquimedes. Pode-se ver isso nos trabalhos de Stevin e Pascal. Isso ocorre porque os conhecimentos, quando repassados para a realidade do ensino, têm seus estatutos epistemológicos fortemente modificados, uma vez que se encontram deslocados dos problemas que lhes deram origem.

Segundo Astolfi (1990, pp. 48-49), há uma descontemporalização dos conceitos que são ensinados nas escolas:

"(...) a designação de um elemento do saber sábio como objeto do ensino modifica-lhe muito fortemente a natureza, na medida em que se encontram deslocadas as questões que ele permite resolver, bem como a rede relacional que mantém com os outros conceitos. Existe assim, uma 'epistemologia escolar' que pode ser distinguida da epistemologia em vigor nos saberes de referência.

Notar-se-á um único exemplo deste distanciamento, mas não o menor: o da despersonalização e da descontemporalização dos conceitos,

quando se tornam objetos do ensino. Em vez de estarem ligados por questões científicas precisas a serem resolvidas, tornam-se 'verdades da natureza', sinal de um certo juridismo próprio do ensino".

Em geral, a forma como esses conhecimentos são abordados nos livros de Física e, consequentemente, na sala de aula, passa a impressão de que são verdades absolutas sobre a natureza, e não modelos aproximados da realidade. Embora a discussão da relação existente entre a teoria física ensinada e a realidade seja importante no ensino da Física, essa não é a prática comumente adotada pelos professores. Em vez de levantarem os pressupostos que validam tais modelos, os professores passam a ideia de uma ciência pronta, que ainda possui um 'status' de verdade absoluta. Quando se trata especificamente do estudo da flutuação dos corpos, é comum que os pressupostos que validam o modelo ensinado não sejam discutidos. A seguir, vamos falar um pouco mais sobre os desafios por trás do ensino deste tópico.

2.3 Abordando a flutuação dos corpos

Segundo Bachelard (1996, p. 23):

“... o equilíbrio dos corpos flutuantes é objeto de uma intuição habitual que é um amontoado de erros.”

Para quem possui alguma iniciação em ciências e está habituado com as teorias físicas, as explicações concernentes ao fenômeno da flutuação dos corpos podem até parecer simples. No entanto, na maioria das vezes, são de difícil entendimento para o aluno. Entre os muitos fatores que poderiam justificar essa dificuldade, um, pelo menos, é particularmente central: o entrave cognitivo entre o que é aceito como modelo científico e a enorme diversidade de “*explicações alternativas*”¹, ou, “*conceitos intuitivos*”, que os alunos possuem e trazem para a sala de aula. Por exemplo, se perguntássemos a uma pessoa de senso comum – não científico – o motivo pelo qual um prego de ferro afunda na água, certamente ela responderia que é devido ao seu peso. Conforme

¹ A expressão, “*explicações alternativas*”, pode ser entendida como sendo um modelo explicativo intuitivo que nasce nas estruturas de pensamento do senso comum, criando expectativas no processo do ensino e da aprendizagem e que, muitas vezes, não condizem com as explicações da ciência.

Bachelard (1996, apud Bergson, 1934, p. 231), "Nosso espírito tem a tendência irresistível de considerar como mais clara a ideia que costuma utilizar com frequência".

Embora o conceito de peso, na forma como é entendido fisicamente, seja relevante em diversos modelos explicativos da mecânica, não é este o caso, uma vez que um navio pesa mais que um prego e, no entanto, pode flutuar. Essa forma própria que as pessoas têm para explicar as situações físicas que sabem, ou pensam que sabem, é muito comum e de difícil remoção. Conforme Bachelard (1996, p. 18), "É impossível anular, de um só golpe, todos os conhecimentos habituais". Contudo, é necessário que o aluno perceba as inconsistências de suas explicações e, a partir daí, procure removê-las para encontrar outra forma de explicação que seja convincente. Nas palavras de Bachelard (1996, p. 23):

"Os professores de ciências imaginam que (...). Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana."

A dificuldade que os alunos enfrentam em entender o processo físico da flutuação dos corpos é tão complexa que pesquisas em educação nas ciências frequentemente abordam esse tema (Driver, 1994, pp. 102-103; Abib, 1988). A flutuação dos corpos é um estudo que, ao longo dos séculos, sofreu diversas modificações em seus estatutos epistemológicos. Muitos modelos foram desenvolvidos e, posteriormente, abandonados em um processo de disputas entre visões diferentes a respeito dessa questão (Snir, 1991). Daí se vê que sua complexidade resulta de um processo histórico de refinamento. Não é um pensamento que surgiu em um instante ou em um estudo qualquer para uma situação particular. Ao contrário, é decorrente de todo um processo de reconstrução de uma episteme (saber) que remonta à Grécia antiga.

Com base no que foi exposto até aqui, é natural que o aluno tenha dificuldade em compreender o fenômeno da flutuação dos corpos. Segundo Bachelard (1996, p. 23), "Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não comprehenda".

Para que os alunos possam desconstruir certos pressupostos e para que o ensino se torne agradável, não é necessário simplificar ou esconder as

dificuldades de um determinado conteúdo. Pode-se, muitas vezes, criar um ambiente propício a um processo de ensino e aprendizagem onde o caráter complexo dos conteúdos possa ser abordado de forma lúdica ou “misteriosa”. É exatamente neste ponto que queremos chegar: utilizar o aspecto misterioso, no sentido de despertar a curiosidade do aluno, como ferramenta de abordagem no estudo e na aprendizagem do problema da flutuação dos corpos.

O modelo físico da flutuação é um exemplo adequado de um conteúdo repleto de situações inusitadas, misteriosas e paradoxais. Em vez de apresentar este conteúdo pronto e estático, com toda uma lógica prefixada pelo texto didático, seria mais produtivo o professor levantar os pressupostos e os aspectos problemáticos, evidenciando as dificuldades por meio dos paradoxos ou das soluções aparentemente óbvias. Neste ponto, o experimento pode revelar-se um recurso poderoso, desde que seja tratado com uma postura interativa. Ele pode ajudar os alunos entenderem melhor o limite de validade de uma teoria. Além disso, a experimentação pode ser uma importante aliada na fixação dos conceitos físicos. Devido a isso, abordaremos a seguir a importância do uso de experimentos no ensino de Física.

2.4 Uso de experimentos no ensino da Física

É consenso entre os professores que o uso de experimentos no ensino da Física desempenha um papel importante na compreensão dos conceitos científicos pelos alunos. Todavia, não é comum que os professores recorram a essa prática didática em suas aulas. Os motivos são diversos: falta de inserção em uma cultura pedagógica experimental; a maioria das escolas não dispõe de espaços físicos adequados para um laboratório; o custo financeiro pode ser alto, tempo curto das aulas de física, dentre outros.

Alguns dos motivos para a pouca quantidade de aulas experimentais no ensino de Física podem ser superados com relativa facilidade. Por exemplo, o professor pode incluir mais experimentos em suas aulas recorrendo a experimentos de baixo custo.

O uso de experimentos de baixo custo no ensino de física é uma abordagem eficaz para tornar a aprendizagem mais acessível e envolvente. Esses experimentos permitem que alunos de diversas realidades socioeconômicas tenham a oportunidade de vivenciar conceitos teóricos de forma prática, estimulando a curiosidade e o pensamento crítico. Além disso, eles oferecem aos professores ferramentas para ilustrar fenômenos físicos de maneira bastante prática, reforçando a compreensão dos alunos e promovendo um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e interativo. Muitas vezes, a simplicidade e a economia de recursos não comprometem a qualidade educativa; pelo contrário, incentivam a criatividade na resolução de problemas e a adaptação dos materiais disponíveis para fins pedagógicos.

Independentemente de serem experimentos de baixo custo ou não, o uso de experimentos nas aulas promove a interação entre o aluno e o professor e podem levar os alunos a participarem mais ativamente das aulas. Em geral, a curiosidade do aluno fica aguçada ao realizar experimentos, à medida que ele se envolve na busca por respostas. Além disso, os experimentos levam o aluno a uma compreensão mais aprofundada dos princípios físicos que são estudados, ajudando-o a visualizar o fenômeno discutido. Isso vai além da simples memorização dos conceitos.

Segundo Custódio (2011, p. 4), "(...) o experimento didático é uma ferramenta auxiliar do professor para direcionar seus alunos à construção de ideias, preparando-os para entender ou formular hipóteses sobre um determinado fenômeno." Por outro lado, não se trata de fazer experimentos apenas por fazer. O uso de experimentos deve ser programado e planejado pelo professor.

A importância de um planejamento cuidadoso para as aulas experimentais não pode ser subestimada, pois ele garante que os objetivos pedagógicos sejam alcançados de maneira eficaz e segura. Um planejamento detalhado permite que os professores antecipem e resolvam possíveis desafios, organizem recursos e materiais com antecedência e criem um ambiente de aprendizagem estruturado. Além disso, um plano bem elaborado assegura que os experimentos sejam conduzidos de forma a maximizar a compreensão dos conceitos científicos pelos alunos, promovendo uma abordagem mais reflexiva e crítica. A preparação adequada também facilita a gestão do tempo e a inclusão de todos os alunos

nas atividades, contribuindo para uma experiência educativa mais rica e produtiva.

Em particular, o ensino da flutuação dos corpos é um conceito fundamental (Abib, 1988) para ser ensinado nas escolas, o que se justifica pela quantidade de pesquisas relacionadas a este tema. Portanto, o ensino desse conceito merece uma atenção especial. Mas, qual é a melhor forma de abordar esse assunto? Não há um único modo de abordagem que prevaleça sobre os demais; a escolha depende de vários fatores, como o perfil do aluno, o material disponível e os propósitos desejados. No entanto, é praticamente consenso que o uso de experimentos no ensino da flutuação dos corpos não apenas reforça os conceitos teóricos envolvidos, mas também estimula a curiosidade e o pensamento crítico do aluno.

Com relação a este estudo – flutuação dos corpos – há uma considerável quantidade de aparatos experimentais disponíveis na literatura (GREF, 1990, pp. 241-245; Walpole, 1988, pp. 32-65). Contudo, muitos desses aparatoss são caros e, quase sempre, sua confecção não é fácil, pois requer uma linha de montagem que inclui processos de marcenaria, usinagem e hialotecnia, entre outros. Por outro lado, a maioria dos professores e das escolas não possuem esses materiais, e os custos de aquisição estão além de suas realidades, uma vez que tais aparatoss são, em sua maioria, fabricados por multinacionais, como, por exemplo, a Leybold e a Phywe.

Para fornecer um aparelho experimental mais acessível para professores optamos por construir um aparelho experimental de manuseio simples e de custo baixo. Como iremos detalhar em capítulos posteriores, a sua montagem é simples: partes, previamente dimensionadas, de cano de PVC² são encaixadas em luvas³, também de PVC, até que se obtenha uma estrutura tubular. Contudo, antes de detalharmos um pouco mais sobre o experimento, passaremos ao capítulo seguinte para discutir o referencial teórico e metodológico associado ao experimento e à sequência didática proposta neste trabalho.

² PVC é a denominação abreviada de **poli(cloreto de vinila)**.

³ As luvas servem para garantir a elisão entre as partes tubulares.

3 REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO

Neste capítulo, abordaremos as metodologias ativas e sua importância para um aprendizado mais eficaz dos conteúdos ensinados pelos professores. Além disso, discutiremos “Os Três Momentos Pedagógicos” de Delizoicov, Angotti e Pernambuco, que foram a base metodológica utilizada neste trabalho.

3.1 Metodologias ativas

Na última década do século XX, mais precisamente em 1991, surgiu a ideia de metodologias ativas com a publicação do livro *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom* ("Aprendizagem Ativa: Criando Emoção na Sala de Aula"), dos professores Charles Bonwell e James Eison (TOTVS, 2024). Essa ideia impactou profundamente o processo de ensino e aprendizagem.

Ao contrário das práticas tradicionais, que muitas vezes eram passivas e com pouca interação, as metodologias ativas estimulam a participação ativa do aluno, promovendo sua autonomia, colaboração e independência. Nesse contexto, o aluno não é apenas um receptor de informações, mas também um construtor ativo do próprio conhecimento. Atualmente as instituições de ensino apresentam treze modalidades de metodologias ativas (TOTVS, 2024):

1. Gamificação
2. Design thinking (pensamento de design)
3. Cultura maker
4. Aprendizado por problemas
5. Estudo de casos
6. Aprendizado por projetos
7. Sala de aula invertida
8. Seminários e discussões
9. Pesquisas de campo
10. Storytelling (conto contado)
11. Aprendizagem entre pares e times
12. Ensino híbrido
13. Rotação por estações

Essas metodologias podem seguir várias linhas de pensamento e aplicações. Dentre as treze metodologias citados, por brevidade, vamos detalhar aqui um pouco mais apenas duas delas. A primeira delas que iremos exemplificar aqui é a *cultura maker*. Esse modelo se baseia nos princípios do “do it yourself” ou “faça você mesmo”. Nesta abordagem, os alunos devem utilizar os conhecimentos aprendidos em sala de aula para criar soluções por si mesmos. Na prática, quando falamos da *cultura maker* na educação, estamos falando da apresentação de problemas e dos recursos necessários para resolvê-los.

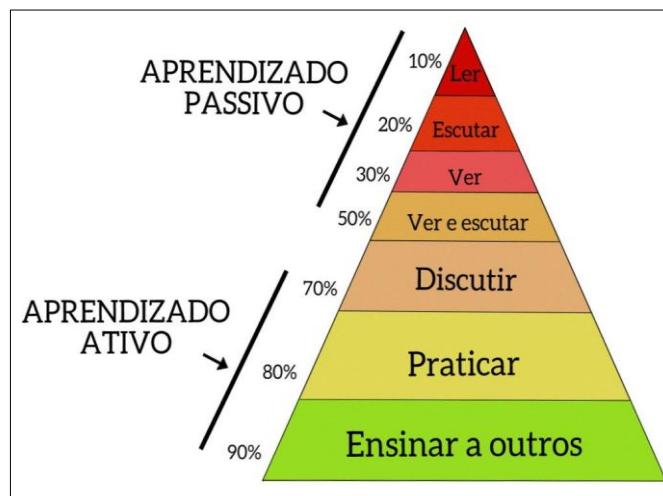
A segunda possibilidade de metodologia ativa é o chamado “storytelling” (ou contação de histórias). Ele pode ser entendido mais como um recurso do que como uma estratégia de aprendizagem ativa. Baseia-se na construção de histórias sobre os assuntos que os alunos estudam em sala de aula. Dessa forma, as narrativas folclóricas e religiosas — presentes em todas as culturas — podem ser utilizadas para contextualizar os assuntos abordados em sala de aula. Na prática, as histórias narradas podem (e devem) ser incorporadas a qualquer metodologia ativa.

Os experimentos desempenham um papel crucial nas metodologias ativas, servindo como uma ponte entre a teoria e a prática e fomentando um aprendizado mais envolvente e participativo. Ao inserir experimentos em práticas de metodologias ativas, os professores incentivam os alunos a assumirem um papel mais proativo na construção do conhecimento, promovendo a investigação, a experimentação e a reflexão crítica. Os alunos são desafiados a formular hipóteses, conduzir testes e analisar resultados, o que estimula habilidades de pensamento crítico e resolução de problemas. Além disso, a interação direta com os experimentos facilita a conexão entre conceitos abstratos e situações reais, tornando a aprendizagem mais relevante e aplicável. Em suma, a integração de experimentos nas metodologias ativas não apenas enriquece o processo educativo, mas também empodera os alunos a se tornarem agentes ativos em sua própria formação acadêmica.

A relevância das metodologias ativas, comparada a outras modalidades metodológicas, pode ser compreendida por meio da “Pirâmide” de William Glasser, conforme ilustrado na **Figura 3.1**. William Glasser (1925-2013), mestre em Psicologia Clínica e doutor em Psiquiatria, é o criador da teoria da Pirâmide

de Aprendizagem. Segundo ele, “O ser humano é um aprendiz nato, mas, para aprender, é preciso querer: o aprendizado deve se dar de dentro para fora”. De acordo com o que é apresentado na **Figura 3.1**, o aprendizado ativo é aquele que apresenta os maiores percentuais de assimilação do conteúdo, com alguns casos chegando a quase 90% quando os alunos ensinam uns aos outros o que foi aprendido, ou seja, quando há um aprendizado colaborativo.

Figura 3.1: Pirâmide de William Glasser retratando a relevância das aprendizagens ativas.



Fonte: ESTRATÉGIA CONCURSOS (2024).

As treze modalidades de metodologias ativas, descritas anteriormente, podem ser, essencialmente, resumidas em sete (TOTVS, 2024):

1. **Experimentos e Atividades Práticas:** Este modelo metodológico permite que o aluno observe fenômenos reais, aplique conceitos teóricos, e compreenda a relação entre teoria e prática.
2. **Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom):** Neste método, o aluno adquire o conhecimento teórico em casa, por meio de vídeos, leituras, e outros recursos. Durante as aulas presenciais, o foco é direcionado para discussões, resolução de problemas, e atividades práticas.
3. **Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP):** O aluno se depara com desafios, ou problemas relacionados ao tema que se pretende estudar. Em equipe, ele busca soluções para esses desafios aplicando os conceitos que aprendeu.
4. **Metodologia de Projetos:** O aluno se envolve em projetos relacionados ao tema abordado, os quais abrangem pesquisa, experimentação, e apresentação dos resultados.

5. **Discussões e Debates:** Promove-se debates em sala de aula, o pensamento crítico, e a troca de ideias. Além disso, discussões sobre questões científicas controversas, também podem ser utilizadas.
6. **Uso de Tecnologia:** Usam-se recursos como simuladores, aplicativos, vídeos, e plataformas online.
7. **Contextualização e Interdisciplinaridade:** Relaciona o conhecimento que se quer estudar a situações do dia a dia, e a outras áreas de estudo, conferindo maior relevância ao processo de aprendizagem.

Essas opções metodológicas não são excludentes. Portanto, pode-se aplicar uma combinação delas. No que diz respeito ao ensino da Física, a escolha de uma metodologia ou de uma combinação delas é essencial para promover uma aprendizagem que, além de significativa, seja também envolvente.

Cada metodologia, ou combinação delas, tem suas vantagens e desvantagens. Portanto, a melhor metodologia é aquela que se adequa às necessidades reais do aluno em seu contexto específico. Por exemplo: como optar pelo “Uso de Tecnologia” usando computadores se a realidade econômica da escola não permite a aquisição de computadores? Portanto, a escolha da melhor metodologia deve sempre levar em conta o contexto social tanto da escola quanto dos alunos.

As metodologias ativas possibilitam ao aluno desenvolver sua autonomia, independência e criticidade. Particularmente, o uso de situações-problema para abordar um determinado conteúdo é uma ferramenta pedagógica bastante útil. Um bom exemplo de ensino baseado na problematização é “Os Três Momentos Pedagógicos” (3MP) (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2011), fundamentado no ideário freiriano sobre a educação problematizadora, que iremos detalhar a seguir.

3.2 Os Três Momentos Pedagógicos (3MP) segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco

No esteio da concepção freiriana (1987) de educação baseada em problemas, os professores Demétrio Delizoicov Neto e José André Perez Angotti

(1990) propuseram um modelo dialógico de ensino onde o professor medeia a conectividade entre o que é estudado epistemologicamente pelo aluno, em sala de aula, e sua vida cotidiana. A proposta dos professores Delizoicov e Angotti foi reelaborada por eles e pela professora Marta Maria Pernambuco (2002) durante um curso de formação de professores na região da Guiné-Bissau, e foi dado o nome de “Os Três Momentos Pedagógicos (3MP)”. Eles são baseados nas ideias de Paulo Freire sobre a educação problematizadora e criam condições para que o aluno possa:

- questionar,
- compreender a realidade de forma crítica e coletiva, e
- participar ativamente do processo educativo.

O método baseado nos *Três Momentos Pedagógicos* é constituído de três etapas:

- Problematização Inicial,
- Organização do Conhecimento, e
- Aplicação do Conhecimento.

A seguir, iremos detalhar cada um deles.

1º Momento Pedagógico: Problematização Inicial

Para motivar o aluno a discutir uma situação, apresenta-se nesta etapa inicial um problema real que o aluno já conheça ou tenha vivenciado, mas que ele não consiga explicar satisfatoriamente. O professor não deve responder a nenhuma pergunta sobre a situação-problema apresentada, pois esta deve ser o verdadeiro motivo para explorar novos conhecimentos.

À medida que o aluno percebe que não consegue responder satisfatoriamente à situação-problema, ele sente a necessidade de sair da forma de conhecimento ingênuo — não científico — e passar para a forma de conhecimento epistemológico. De acordo com as palavras de Delizoicov & Angotti (1990a, p. 29):

“Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque, provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos.”

Com base na *problematização inicial* proposta por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2009, p. 200), pode-se identificar, no aluno, os conhecimentos prévios necessários à ancoragem do novo conteúdo a ser estudado.

2º Momento Pedagógico: Organização do Conhecimento

Esta é a etapa em que os conhecimentos selecionados necessários à compreensão do tema da problematização inicial são desenvolvidos sistematicamente pelo professor e utilizados por ele como base para uma compreensão científica da situação-problema. Como mostram os autores Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2009, p. 201), o professor deve desempenhar um papel preponderante no processo de organização do conhecimento.

Nesta etapa, o senso comum — conhecimento não científico — deve ser fortemente combatido, removido e substituído pelo conhecimento cientificamente formulado. O professor deve relacionar o conhecimento prévio adquirido pelo aluno com o problema inicial, relacionado ao conhecimento a ser transmitido. É importante ressaltar que, neste segundo momento, os alunos recebem orientações do professor para desenvolver atividades relacionadas ao tema abordado. Segundo Delizoicov & Angotti, (1990a, p. 30).

“Do ponto de vista metodológico, para o desenvolvimento desse momento, o professor é aconselhado a utilizar as mais diversas atividades, como: exposição, formulação de questões, texto para discussões, trabalho extraclasse, revisão e destaque dos aspectos fundamentais, experiências.”

3º Momento Pedagógico: Aplicação do Conhecimento

Segundo os autores Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2009, p. 202), nesta etapa o professor aplica as informações abordadas na etapa anterior. É nessa fase que se analisa e interpreta o conhecimento adquirido pelo aluno, tanto na situação-problema inicial quanto em outras que, mesmo não estando diretamente relacionadas, podem ser entendidas por meio de uma transposição

didática. Portanto, pode-se discutir a situação-problema e outras situações que igualmente exijam o conhecimento adquirido.

É interessante e desejável que as atividades propostas permitam o diálogo e a discussão, a fim de avaliar se os alunos aprenderam a raciocinar criticamente. É importante que, neste momento, o aluno seja livre para aplicar o conhecimento que adquiriu. Logo, deve-se considerar outras modalidades de avaliação além das convencionais para que o aluno transforme o conhecimento adquirido em conhecimento significativo. De acordo com Delizoicov & Angotti (1990a, p. 31), essa etapa tem a seguinte função:

“Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento. Desta forma, “pode-se evitar a excessiva dicotomização entre processo e produto, física de ‘quadro-negro’ e física da ‘vida’.”

Em síntese, a partir do que foi apresentado aqui, Os *Três Momentos Pedagógicos* buscam criar condições para despertar no aluno dúvidas, permitindo-lhe compreender a realidade de forma crítica e coletiva e se envolverativamente em seu processo de formação. Essas três etapas foram a base metodológica escolhida para este trabalho, com o objetivo de levar os alunos a questionarem a forma como os livros didáticos abordam a flutuação dos corpos, conforme já detalhado anteriormente.

No capítulo seguinte, faremos uma breve revisão teórica sobre os principais conceitos relacionados à Lei de Arquimedes, mais especificamente a questão da flutuação dos corpos em um líquido.

4 REVISÃO TEÓRICA SOBRE O EMPUXO

De modo geral, a matéria se apresenta na natureza de duas formas: sólida e fluida. As substâncias fluidas são compostas por líquidos e gases. Existe ainda um quarto estado da matéria, denominado plasma, constituído por um gás altamente ionizado, que não se enquadra nesta classificação.

Denomina-se fluido toda substância capaz de escoar com facilidade. Essa propriedade é típica dos líquidos e dos gases. Na natureza, os fluidos existentes apresentam sempre uma espécie de atrito interno — a viscosidade — que torna complexo o estudo do seu escoamento. Como estamos tratando de flutuações em líquidos em repouso, não haverá necessidade de considerar a viscosidade, pois ela só se manifesta quando o líquido está escoando. Neste trabalho, será dada maior ênfase à análise dos líquidos, por atender sobremaneira ao nosso propósito.

4.1 Grandezas físicas no estudo da flutuação

Nesta subseção apresentaremos as definições para as seguintes grandezas físicas: massa específica, densidade e pressão.

- Massa Específica ou densidade absoluta.

Considere um elemento de massa Δm , de uma substância pura. Sendo ΔV , o elemento de volume ocupado por essa massa elementar, define-se a massa específica (ρ), ou densidade absoluta da substância como sendo:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \left[\frac{\Delta m}{\Delta V} \right] = \frac{dm}{dV}. \quad (4.1)$$

Supondo que o limite dessa equação exista, e tenha o mesmo valor para todos os elementos de volume, então podemos escrever:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (4.2)$$

Na Equação (4.2) devemos tomar cuidado com a interpretação das variáveis presentes. Neste caso a variável m , é a massa da substância que se quer medir a massa específica. A variável V , é o volume ocupado por essa massa. Logo, se o corpo for descontínuo, o volume da parte oca será desconsiderado.

- Densidade de um corpo

Considere agora novamente um elemento de massa Δm de um corpo, e como ΔV o elemento de volume ocupado por essa massa elementar. Define-se a densidade do corpo (δ), como sendo:

$$\delta = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \left[\frac{\Delta m}{\Delta V} \right] = \frac{dm}{dV}. \quad (4.3)$$

Supondo que o limite dessa equação exista e tenha o mesmo valor para todos os elementos de volume, então podemos escrever:

$$\delta = \frac{m}{V_T}. \quad (4.4)$$

Embora as Equações (4.2) e (4.4) sejam parecidas, há uma diferença de significado no volume. O volume que aparece na definição de massa específica é o **volume ocupado** pela massa da substância que compõem o corpo, enquanto na definição de densidade, o volume que aparece é o **volume total** (V_T) do corpo incluindo-se, neste caso, o volume das partes descontínuas (partes ocas). Infere-se daí que, com determinada massa de uma substância pode-se construir corpos com diferentes densidades, porém, com a mesma massa específica.

Só quando o corpo é homogêneo é que o valor da sua densidade coincide com o valor da sua massa específica. Essa distinção tem que ser muito clara, caso contrário, a compreensão do fenômeno da flutuação ficará comprometida.

No caso das substâncias líquidas, não há descontinuidade em seus volumes, portanto, a sua densidade coincide com a sua massa específica que, a partir de agora neste trabalho, será representada por ρ . Logo para os líquidos, temos que $\delta = \rho$.

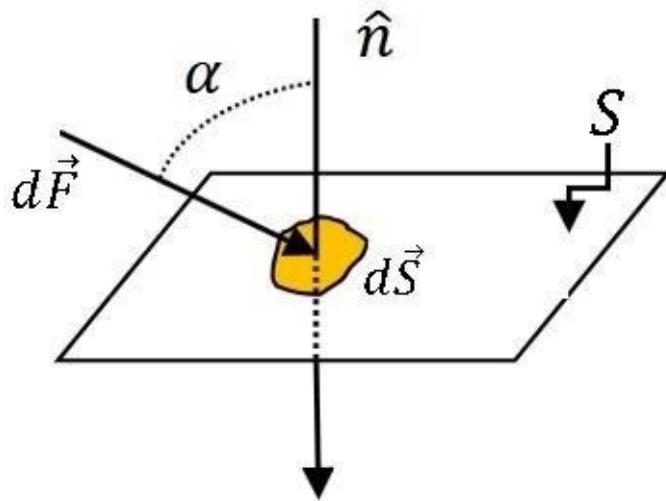
- Pressão

Uma das características das substâncias fluidas é a de não reagirem facilmente às forças tangenciais; as chamadas tensões de cisalhamento. Sendo assim, o conceito de força não se torna devidamente apropriado para o estudo da flutuação. Isto se dá porque, quando se aplica forças tangenciais a uma massa líquida, há um deslizamento de uma camada líquida sobre a outra devido à viscosidade.

Há, portanto, uma necessidade, ou melhor, uma conveniência de se usar um conceito novo para se fazer esse estudo. Este novo conceito chama-se *pressão*. Embora sejam fortemente confundidas, força e pressão são conceitos distintos, e a clara compreensão do significado físico de cada um desses conceitos é de importância fundamental para o estudo da flutuação.

Considere um elemento superficial dS , de uma superfície sob a ação de um elemento de força $d\vec{F}$, conforme a **Figura 4.1**. Nessa figura α é o ângulo entre o elemento de força $d\vec{F}$, e o vetor unitário \hat{n} que é perpendicular à superfície.

Figura 4.1: Pressão exercida por um elemento $d\vec{F}$ de uma força, sobre um elemento superficial dS de uma superfície. ($\hat{n}dS = dS'$)



Fonte: Autor, 2023

O elemento de força superficial $d\vec{F}$ sobre cada elemento de área dS corresponde à pressão p . Logo, $d\vec{F} = p\hat{n}dS$.

Se $\alpha = 0$, então $d\vec{F}$ é normal à superfície S , e a pressão p sobre dS , é tal que:

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta F}{\Delta S} \right| = \left| \frac{dF}{dS} \right| \quad (4.5)$$

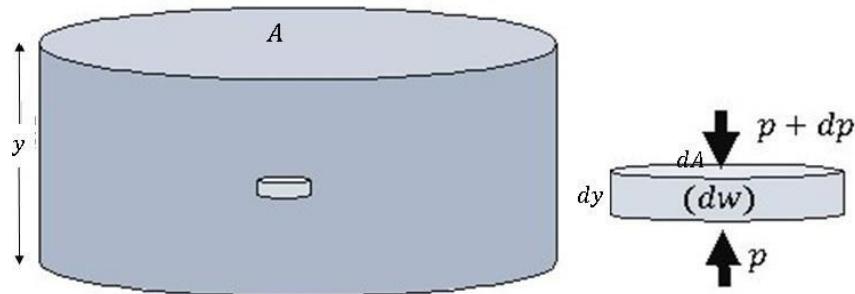
Supondo que o limite da Equação (4.5), exista e tenha o mesmo valor para todos os elementos superficiais, então podemos escrever:

$$p = \frac{F}{S} \quad (4.6)$$

4.2 Lei de Stevin – Pressão hidrostática

Considere uma porção cilíndrica de um líquido com as seguintes dimensões: altura y e área de topo A , conforme ilustrado na **Figura 4.2**. Se este líquido tem densidade ρ , então, uma porção elementar do líquido tem massa é $\rho dA dy$

Figura 4.1: Imagem de um líquido em equilíbrio, e ao lado, uma ampliação de uma pequena porção do próprio líquido.



Fonte: Autor, 2023.

Se a face inferior da porção suporta uma pressão p , e a face superior da porção suporta uma pressão $p + dp$, então, para que a porção fique em equilíbrio é preciso que a força na face inferior da porção seja igual ao peso (dw) da porção somado à força que o líquido acima da porção exerce sobre a face superior. Assim:

$$p \cdot A = (p + dp) \cdot A + dw \quad \Rightarrow \quad p \cdot A = p \cdot A + A \cdot dp + dw.$$

O que resulta em,

$$A \cdot dp = -dw$$

Usando agora o fato de que $dw = \rho A g dy$, teremos que,

$$\begin{aligned} Adp &= -dw = -\rho A g dy \\ dp &= -\rho g dy. \end{aligned}$$

Integrando agora ambos os lados desta última equação, obteremos que,

$$\int_{p_1}^{p_2} dp = -\rho g \int_{y_1}^{y_2} dy.$$

O que resulta em,

$$p_2 - p_1 = -\rho g (y_2 - y_1).$$

Se, y_2 for um ponto da superfície, então, p_2 será a pressão atmosférica. Por outro lado, considerando $y_2 - y_1 = h$, e p_1 , a pressão p em um ponto qualquer, então, a relação acima pode ser escrita da seguinte forma:

$$p = p_{atm} + \rho gh. \quad (4.5)$$

A quantidade p_{atm} representa a pressão atmosférica e, a parcela ρgh é a pressão exercida apenas pela camada do líquido, no caso, ela representa a pressão manométrica. A soma das duas partes representa a pressão efetiva. Com base nessa expressão que foi obtida, a lei de Stevin pode ser – entre outras formas – apresentada assim:

“A pressão em um ponto qualquer de um líquido em equilíbrio é igual à soma da pressão atmosférica com a pressão manométrica.”

Deve ser dito, contudo, que o modelo teórico acima é uma idealização que carrega os pressupostos de que nos cálculos consideramos que a aceleração da gravidade é constante e que o líquido é incompressível. Assim, não há variação da densidade do líquido com a profundidade, sendo esta considerada constante no processo de integração.

4.3 Lei de Arquimedes – Empuxo

O empuxo, ou impulsão de Arquimedes, é uma força de **direção** vertical, **sentido** de baixo para cima, e de **módulo** igual ao módulo do peso do volume do líquido deslocado. Essa força sempre se manifesta sobre todo e qualquer corpo que esteja, total ou parcialmente, mergulhado em um líquido.

A flutuação dos corpos (empuxo) tem sido objeto de investigação há muito tempo. Um dos primeiros modelos, de certa forma ainda muito utilizada atualmente, tem sua base explicativa nos escritos de Arquimedes. Segundo tal modelo, “um corpo, total ou parcialmente, mergulhado em um fluido fica sujeito à ação de uma força vertical para cima, denominada **empuxo**, cujo módulo, é igual ao módulo do peso do volume do fluido deslocado pelo corpo”.

A **Figura 4.2** mostra uma esfera de madeira parcialmente imersa em um líquido de densidade ρ , maior que a densidade da esfera. Estando esta esfera em equilíbrio podemos afirmar, com base na lei de Arquimedes, que o seu peso P é igual ao empuxo E , que nela atua. Assim temos: $E = P$.

Figura 4.2: Esfera de madeira flutuando em um líquido em equilíbrio.



Fonte: Autor, 2023.

Perceba que, quando um corpo é imerso em um líquido, o volume submerso V_s , do corpo é igual ao volume do líquido deslocado V_d . Se esse líquido tem massa específica ρ , então, o peso do volume deslocado é $\rho V_d g$, e o empuxo E , vale:

$$E = \rho \cdot g \cdot V_d. \quad (4.6)$$

O modelo descrito pela Equação (4.6), guarda os pressupostos de que, tanto a densidade do líquido quanto a aceleração da gravidade, não variam com a profundidade. Todavia, por trás da simplicidade matemática dessa

fórmula do empuxo arquimediano, escondem-se muitas complexidades. Uma delas, por exemplo, é a possibilidade de um corpo poder flutuar em um o volume de líquido, cujo peso total, é inferior ao peso do corpo que flutua, o que leva o volume deslocado a pesar menos ainda. Esta possibilidade de flutuação é conhecida como “*flutuação de Galileu*”.

Devemos considerar, ainda, que este modelo só pode ser aplicado a recipientes cujo volume do líquido é significativamente maior que o volume do corpo flutuante, ou quando o recipiente, independentemente de suas dimensões, está completamente cheio.

4.4 Explicando a flutuação de Galileu

Imagine que se tenha um recipiente cilíndrico com diâmetro interno não muito superior ao diâmetro externo de um cilindro de madeira, tal como se observa na **Figura 4.3**. Esta diferença entre os diâmetros não deve ser extremamente pequena nem muito grande. Uma diferença de diâmetros entre 5 mm e 7 mm é suficiente ao nosso propósito.

Figura 4.3: Cilindro de madeira flutuando em um líquido, cujo volume, tem peso inferior ao peso do cilindro.



Fonte: Autor, 2023.

Suponha que em seguida colocássemos no recipiente um volume de líquido cujo peso fosse um pouco inferior ao peso do cilindro de madeira. Nestas circunstâncias, se abandonássemos o cilindro no interior do recipiente, o que se poderia dizer com respeito à possibilidade de flutuação do cilindro? Ele flutuaria, ou não? Uma possível resposta – de certa forma intuitiva – seria dizer que não, uma vez que, o volume de líquido no recipiente pesa menos que o corpo e, por

consequente, o volume deslocado pesará menos ainda. Todavia, contrariando o modo conforme a lei do empuxo é enunciada na maioria dos livros didáticos, como já tratado na introdução deste trabalho, o cilindro de madeira vai flutuar! Essa situação corresponde a um caso limite da lei do empuxo arquimediano.

O que ocorre é o seguinte: como o líquido no recipiente não tem como se “espalhar”, forma-se, então, entre a parede externa do cilindro, e a parede interna do recipiente, uma coluna de líquido que no nível da base do cilindro, causa uma pressão hidrostática p , que segundo a lei de Stevin, vale $p = \rho gh$, onde, ρ é a densidade do líquido, g é a aceleração da gravidade e h é a altura da coluna de líquido a partir do nível da base do cilindro. Essa pressão multiplicada pela área da base do cilindro produz uma força capaz de equilibrar o seu peso, sem que seja necessário que o volume deslocado pese tanto quanto ele.

Uma dedução matemática detalhada dessa explicação pode ser encontrada no artigo publicado por Silveira & Medeiros (2009). Às vezes, aquilo que parece óbvio em uma primeira análise, ou em uma análise superficial, pode revelar-se bastante complexo quando analisado cuidadosamente. O problema da flutuação dos corpos é um caso assim. E neste caso, a experimentação é um importante aliado para uma compreensão correta de uma determinada teoria. Nas palavras de Bachelard (1996, pp. 13 e 14):

“... uma hipótese científica que não esbarra em nenhuma contradição tem tudo para ser uma hipótese inútil. Do mesmo modo, a experiência que não retifica nenhum erro, que é monotonamente verdadeira, sem discussão, para que serve?”

Na subseção a seguir, abordaremos como enunciar a lei de Arquimedes de maneira que evite contradições e ressalte os limites de sua aplicação.

4.5 Reescrevendo o enunciado da Lei de Arquimedes para o empuxo

A Lei de Arquimedes não está incorreta. O que está incorreto, muitas vezes, é a forma como ela é enunciada nos livros de Física, como falado na

introdução deste trabalho. Como, então, enunciar o Princípio de Arquimedes de modo a torná-lo sem a contradição aparente discutida anteriormente? Uma forma de enunciar a lei de Arquimedes sem cair em contradição seria (Silveira e Medeiros, 2009):

“Todo corpo mergulhado em um líquido sofre um empuxo de baixo para cima igual ao peso do fluido contido em um volume idêntico ao volume submerso do corpo no fluido.”

Enunciando a lei de Arquimedes dessa forma, a lei fica universalmente contemplada, sem restrições. Em resumo, qual é a diferença entre a flutuação de Arquimedes e a flutuação de Galileu? A “flutuação de Arquimedes”, como geralmente é enunciada nos livros didáticos, só é válida quando:

- O volume de líquido no recipiente é maior que o volume do corpo mergulhado, ou
- O recipiente, independentemente de suas dimensões, está completamente cheio.

5 O PRODUTO EDUCACIONAL E COMO ELE FOI APLICADO

Neste capítulo, discutiremos o produto educacional desenvolvido e a metodologia utilizada em sua elaboração. Exploraremos como a metodologia escolhida foi aplicada para atingir os objetivos educacionais, e como o produto foi estruturado para facilitar o aprendizado dos conceitos abordados.

O Produto Educacional, detalhado no Apêndice, consiste em uma sequência didática elaborada para demonstrar as limitações do modelo de flutuação apresentado por Arquimedes, especificamente a ocorrência do fenômeno conhecido como “flutuação de Galileu”. Este fenômeno ocorre quando um corpo flutua em um líquido cujo peso é inferior ao do corpo flutuante. A sequência foi planejada com base nos Três Momentos Pedagógicos (3MP), propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco.

Foram utilizados os seguintes recursos:

- Questionários impressos em folha de papel,
- Aparato experimental descrito no Apêndice (Capítulo 6).

O Produto Educacional desenvolvido é uma sequência didática planejada para quatro aulas, não necessariamente consecutivas, e foi aplicada em uma turma diurna de 32 alunos do III Módulo de um curso Médio Integrado de um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, nos dias 18 e 25 de abril de 2023, conforme especificado no **Quadro 5.1**.

Quadro 5.1: Calendário com as datas da aplicação do Produto Educacional.

DIA	AULA	DURAÇÃO
18/04/2023	Primeira aula	45 min
25/04/2023	Segunda aula	45 min
	Terceira aula	45 min
	Quarta aula	45 min

Fonte: Autor, 2023.

A fundamentação metodológica da aplicação desta Sequência Didática está baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2007):

- (1º MP) Primeiro Momento Pedagógico - Problematização inicial.
- (2º MP) Segundo Momento Pedagógico - Organização do conhecimento.
- (3º MP) Terceiro Momento Pedagógico - Aplicação do conhecimento.

O **Quadro 5.2** sumariza a aplicação que foi feita do Produto Educacional baseado nestes três momentos.

Quadro 5.2: Quadro com as três etapas correspondentes aos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2007).

Momentos Pedagógicos	Etapas	Atividades
Problematização inicial	Etapa 1 1 Aula	Aplicar um questionário para identificar os conhecimentos prévios do aluno. (Disponível no Capítulo 4 do Apêndice).
Organização do conhecimento	Etapa 2 2 Aulas	Demonstrar experimentalmente o empuxo arquimediano. (Flutuação de Arquimedes – Disponível no Capítulo 6 do Apêndice).
		Demonstrar experimentalmente o empuxo galileano. (Flutuação de Galileu – Disponível no Capítulo 6 do Apêndice).
Aplicação do conhecimento	Etapa 3 1Aula	Aplicar um questionário para verificar os conhecimentos adquiridos do aluno. (Disponível no Capítulo 5 do Apêndice)
(3MP)	3 Etapas	Atividades.

Fonte: Autor, 2023.

ETAPA 1. Uma Aula – Aplicação do questionário 1 para investigar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema.

Nesta etapa, constituída de apenas uma aula, aplicamos um questionário (Capítulo 4 do Apêndice) composto por quatro perguntas: duas sobre o empuxo arquimediano e duas sobre o empuxo de Galileu. Os alunos responderam ao questionário individualmente. A **Figura 5.1** mostra os alunos desenvolvendo essa atividade.

Figura 5.1: Imagens dos alunos realizando o teste de avaliação dos conhecimentos prévios sobre o empuxo.



Fonte: Autor, 2023.

ETAPA 2. 1^a Aula - Demonstração experimental do empuxo arquimediano

A Etapa 2 consistiu em duas aulas. Na primeira, fizemos a demonstração experimental da “flutuação de Arquimedes”, e na segunda, da “flutuação de Galileu”. Utilizamos para isso o aparato experimental descrito detalhadamente no Capítulo 6 do Apêndice, que basicamente consistiu em uma cuba, dois recipientes de PET, um cilindro de madeira e um suporte construído com canos de PVC, utilizado como balança. A **Figura 5.2** apresenta uma foto desses itens.

Figura 5.2: Imagem do aparato experimental utilizado para demostrar a “flutuação de Arquimedes” e a “flutuação de Galileu”, exibindo uma cuba, dois recipientes de PET, um cilindro de madeira e uma estrutura feita com canos para servir como balança.



Fonte: Autor, 2023.

Para realização do experimento, os passos utilizados foram os seguintes:

Passo 1: Colocamos na cuba um dos recipientes de PET e o preenchemos completamente com água até o limiar do transbordamento, conforme a **Figura 5.3**.

Figura 5.3: foto mostrando um dos recipientes de PET sendo completamente preenchido com água.



Fonte: Autor, 2023.

Passo 2: Abandonamos lentamente o cilindro de madeira no recipiente de PET e a cuba serviu para armazenar todo o líquido que transbordou, conforme a **Figura 5.4**.

Figura 5.4: Cilindro de madeira sendo abandonado no líquido que transbordou e foi coletado na cuba.



Fonte: Autor, 2023.

Passo 3: Colocamos no outro recipiente de PET o líquido que transbordou e foi coletado na cuba, conforme **Figura 5.5**. Nessa etapa tivemos o cuidado para não derramar nenhuma água fora do recipiente de PET.

Figura 5.5: Líquido que transbordou do recipiente de PET sendo coletado na cuba e transferido para o segundo recipiente de PET utilizado no experimento.



Fonte: Autor, 2023.

Passo 4: Penduramos em um dos braços da balança o recipiente de PET com o líquido transbordado e no outro braço penduramos o outro recipiente de PET, com o cilindro de madeira dentro dele, conforme a **Figura 5.6**. O objetivo dessa parte foi mostrar aos alunos que o peso do líquido deslocado era igual ao peso do cilindro de madeira. Sendo assim, constatou-se que “*o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado*”.

Figura 5.6: Foto mostrando os dois cilindros de PET que foram pendurados na “balança”: um com o cilindro de madeira e o outro com o líquido transbordado.



Fonte: Autor ,2023.

ETAPA 2. 2ª Aula: Demonstração experimental do empuxo galileano

Nesta segunda aula da Etapa 2, foi realizada a demonstração do empuxo galileano. Para isso, reduzimos um pouco o volume de líquido contido no recipiente à esquerda, mostrado na **Figura 5.6**, e perguntamos aos alunos se seria possível que o cilindro de madeira voltasse a flutuar no volume de líquido restante. Unanimemente os alunos disseram que “*Não!*”. Quando foi perguntado o porquê, a resposta comum, entre os que se pronunciaram, foi dizer que o cilindro não flutuaria porque o volume do líquido pesava menos que o corpo. Portanto, ninguém concordou com a possibilidade de um corpo poder flutuar em um volume de líquido cujo peso fosse inferior ao seu. Isso é, ninguém concordou com a ocorrência da *flutuação de Galileu*.

Após o momento de discussão relatado no parágrafo anterior, inserimos o cilindro de madeira no recipiente que continha o líquido, conforme mostrado na **Figura 5.7**, cujo peso era inferior ao do cilindro, e como se vê, o cilindro flutuou. Inicialmente, os alunos não acreditaram no que estavam vendo e pensaram que se tratava de algum “truque” ou que a experiência estava errada. Para eles, não era possível que o empuxo não fosse igual ao peso do volume de líquido

deslocado, como, em geral, está nos livros de física. Isso evidencia a grande influência dos livros didáticos na opinião dos alunos e os cuidados que se deve ter relacionados a isso no aprendizado deles, conforme já comentado na introdução deste trabalho.

Figura 5.7: Imagem do cilindro de madeira flutuando em um líquido que pesa menos do que ele.



Fonte: Autor, 2023.

O aparato experimental que foi desenvolvido em nosso trabalho serve para comprovar tanto o empuxo arquimédiano quanto o empuxo galileano, como mostramos anteriormente. A **Figura 5.8**, mostra os alunos manipulando o aparato experimental.

Figura 5.8: Imagens dos alunos manipulando o aparato experimental usado para comprovar tanto o empuxo arquimédiano quanto o empuxo galileano.



Fonte: Autor, 2023.

ETAPA 3. 4^a Aula: Aplicação do questionário 2, após a realização do experimento.

Assim como na Etapa 1 (Problematização inicial), a 4^a aula (Etapa 3) se consistiu de apenas uma aula de 45 minutos, tal como as outras. Nesta aula

aplicamos o Questionário 2, que se encontra no Capítulo 5 do Apêndice, para verificar a aprendizagem dos alunos em relação ao que foi demonstrado na Etapa 2 sobre a “flutuação de Arquimedes” e a “flutuação de Galileu”. Este segundo questionário é dividido em duas partes: a primeira com quatro perguntas subdivididas, duas sobre o empuxo arquimediano e duas sobre o empuxo galileano; e a segunda parte com perguntas sobre a opinião dos alunos em relação à disciplina de Física e o uso de experimentos nas aulas (5 questões); e sobre a atividade experimental realizada (6 questões). A **Figura 5.9** mostra os alunos participando desta atividade.

Figura 5.9: Fotos dos alunos respondendo ao segundo questionário, aplicado após a realização da experiência sobre a flutuação galileana.



Fonte: Autor, 2023.

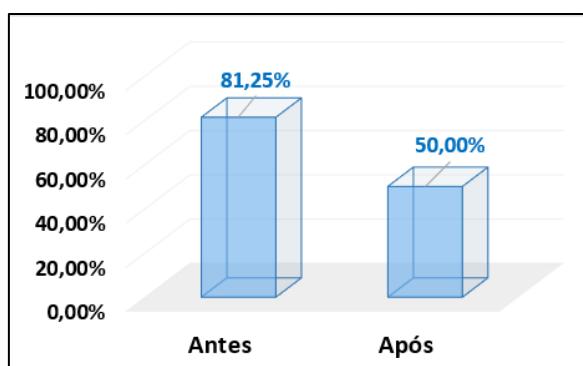
Como será analisado em mais detalhes no próximo capítulo, agora que os alunos estavam cientes do paradoxo hidrostático de Galileu e entendiam em que ele consistia, observaram-se maiores percentuais de acerto nas questões relacionadas a esse tema. Além disso, um dos principais objetivos do trabalho, que entendemos que foi alcançado, foi informar aos alunos que o empuxo arquimediano é um modelo de flutuação com limites de validade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentaremos os resultados obtidos com a aplicação do produto educacional. Inicialmente, investigamos o conhecimento dos alunos sobre o empuxo arquimediano. Para isso, tanto no questionário aplicado antes quanto no aplicado após a realização do experimento (conforme Apêndice, Capítulos 4 e 5), havia duas questões iguais sobre esse tema. Na **Figura 6.1**, apresentamos um comparativo no percentual de erros dos alunos referente à primeira pergunta do questionário. Nessa pergunta, eram apresentadas três esferas: uma totalmente imersa na água e outras duas parcialmente imersas, e os alunos deveriam identificar qual delas sofria maior força de empuxo. Os resultados indicam que, antes da realização do experimento, 81,25% dos alunos erraram a resposta. Após o experimento, o percentual de equívocos caiu para 50%, ou seja, houve uma redução de 31,25% nos equívocos.

O fato de que, mesmo após a realização do experimento, ainda houve um percentual relativamente alto de equívocos (50%) está de acordo com o que foi constatado por outros pesquisadores. Por exemplo, no trabalho de Alfad (2020), discute-se a dificuldade que os alunos enfrentam para entender o conceito de "flutuação de Arquimedes".

Figura 6.1: Percentual de equívocos nas respostas dos alunos à pergunta 1 do questionário, que tratava sobre o empuxo arquimediano, antes e após a realização do experimento.

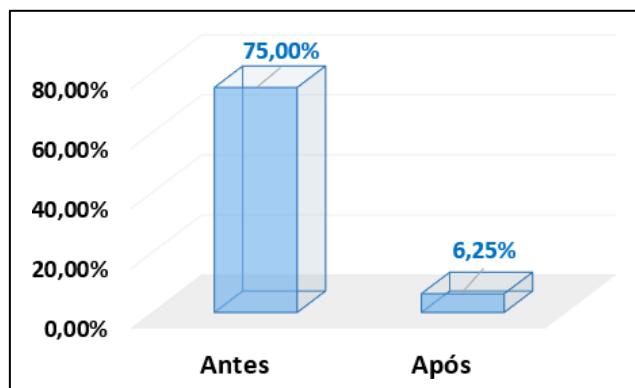


Fonte: Autor, 2023.

A segunda pergunta do questionário consistia em duas esferas metálicas de mesmo volume e massas diferentes, ambas totalmente imersas na água. Os alunos foram questionados se a intensidade do empuxo nessas esferas era

maior em alguma delas ou se era a mesma em ambas. Conforme ilustrado na **Figura 6.2**, o percentual de equívocos foi de 75% antes da realização do experimento em sala, um valor próximo ao observado na primeira questão. No entanto, após a realização do experimento, o percentual de equívocos caiu para apenas 6,25%, ou seja, praticamente todos os alunos acertaram essa pergunta. Isso demonstra que a realização do experimento teve um impacto significativo no entendimento desse tipo de problema.

Figura 6.2: Percentual de equívocos nas respostas dos alunos à pergunta 2 do questionário, que tratava sobre o empuxo arquimediano, antes e após a realização do experimento.



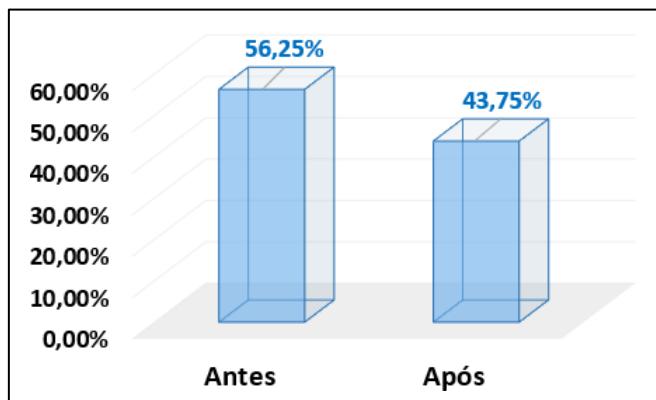
Fonte: Autor, 2023.

As outras duas questões dos questionários, que eram idênticas no questionário aplicado antes e após a realização do experimento, referiam-se ao empuxo galileano. A terceira pergunta do questionário apresentava duas formas de enunciar a lei do empuxo: uma delas era a forma usualmente encontrada nos livros de Física, e a outra era a forma abordada nesta dissertação, que evita contradições em situações em que, por exemplo, há pouco líquido num recipiente. A partir da **Figura 6.3**, observamos que o percentual de equívocos foi muito próximo nos dois momentos; antes da realização do experimento, 56,25% dos alunos erraram a resposta, e após o experimento, esse percentual foi de 43,75%. Esta dificuldade do entendimento da *flutuação de Galileu* está coerente com a dificuldade que foi constatada em outras pesquisas, como, por exemplo, no trabalho de Silva (2019).

A partir dos resultados apresentados na **Figura 6.3**, observamos que uma parte considerável dos alunos ainda não conseguiu perceber com clareza a

diferença entre as duas formas de enunciar a lei do empuxo que haviam sido apresentadas. Embora a redução nos equívocos tenha sido pequena, de aproximadamente 12,5%, o experimento parece ter tido algum impacto nesse aspecto. No entanto, para que possamos afirmar isso com maior certeza, é necessário aplicar o estudo a um número maior de alunos, a fim de obter uma amostragem mais significativa.

Figura 6.3: Percentual de equívocos nas respostas dos alunos à pergunta 3 do questionário, que tratava sobre o empuxo galileano, antes e após a realização do experimento.



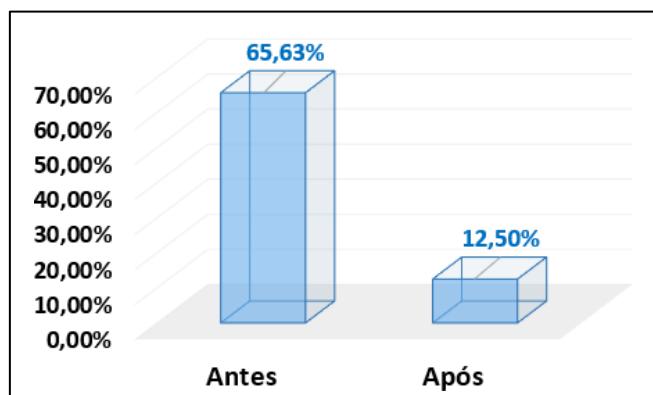
Fonte: Autor, 2023.

A quarta pergunta do questionário, relacionada ao empuxo galileano, apresentava um recipiente com um certo volume de líquido que pesava menos que um cilindro de madeira. Os alunos foram questionados se, nessa situação, um objeto (o cilindro de madeira) que pesava mais do que o líquido do recipiente poderia flutuar. Essa situação era semelhante àquela observada pelos alunos no experimento descrito no roteiro experimental do Produto Educacional desta dissertação (Apêndice, Capítulo 6). Os resultados apresentados na **Figura 6.4** mostram que a realização do experimento teve um grande impacto no nível de acertos dos alunos nesse tipo de situação. Antes do experimento, 65,63% deles erraram a resposta; entretanto, após a realização do experimento, apenas 12,50% cometem o mesmo erro.

Com base no desempenho dos alunos nas quatro primeiras questões do questionário, constatamos que a realização da sequência didática proposta neste trabalho teve um grande impacto na redução de equívocos, tanto em questões relacionadas ao empuxo arquimédiano quanto, especialmente, no caso

do empuxo galileano. Uma possível melhoria na metodologia deste trabalho, no que diz respeito ao questionário, seria a inclusão de um número maior de perguntas. Além disso, seria interessante utilizar questões que sejam similares, mas não exatamente iguais. Talvez seja proveitoso também aplicar essas questões em mais de uma aula, para verificar se o conhecimento adquirido pelos alunos foi realmente consolidado ao longo do tempo.

Figura 6.4: Percentual de equívocos nas respostas dos alunos à pergunta 4 do questionário, que tratava sobre o empuxo galileano, antes e após a realização do experimento.



Fonte: Autor, 2023.

Ainda sobre a flutuação galileana, quando foi perguntado aos alunos (antes da realização do experimento em sala de aula) se seria possível um corpo flutuar em um volume de líquido cujo peso fosse inferior ao do corpo, 100% deles responderam que não era possível. Como o livro didático é a principal fonte de informação dos alunos e os textos didáticos de Física geralmente não abordam essa possibilidade — a flutuação galileana — os alunos obviamente desconheciam tal possibilidade. No entanto, após a experiência, eles acharam o fenômeno tão interessante que pediram permissão para divulgá-lo em suas redes sociais.

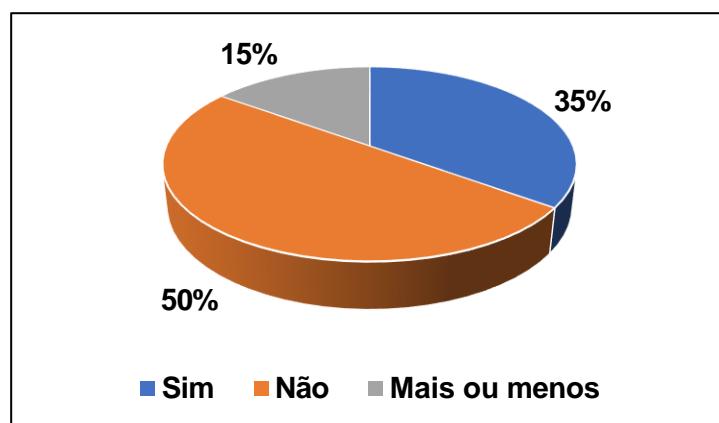
Embora tenhamos destacado o desconhecimento dos alunos em relação à possibilidade do empuxo galileano, parece-nos que esse desconhecimento também ocorre entre muitos professores, tanto do Ensino Médio quanto da Educação Superior. Deste modo, um desdobramento interessante deste trabalho seria a realização de uma investigação sobre esse tema junto à professores tanto do Ensino Médio quanto da Educação Superior. E caso este cenário de

desconhecimento se confirme, isso poderá ser motivo de preocupação, pois, se os professores afirmarem para seus alunos que "o empuxo é igual ao peso do volume de líquido deslocado", poderão se encontrar em uma situação semelhante à descrita na história do "homem de Platão e o galo implume de Diógenes"⁴. Em outras palavras, um aluno poderia surpreender seu professor ao reproduzir o experimento descrito nesta sequência didática e ele provavelmente não saberia o que responder ao seu aluno.

A segunda parte do questionário, aplicada após a realização do experimento em sala de aula, abordou questões relacionadas à disciplina de Física. Foram exploradas as opiniões dos alunos sobre o uso de experimentos nas aulas, se achavam o conteúdo sobre hidrostática interessante, entre outros aspectos.

A **Figura 6.5** mostra o percentual de respostas dos alunos quando perguntados se gostam de Física. Os resultados indicam que apenas 35% disseram gostar da disciplina, enquanto 50% afirmaram não gostar, e outros 15% responderam que gostam "mais ou menos".

Figura 6.5: Percentual de respostas dos alunos referente a pergunta: "Você gosta da disciplina de Física?".



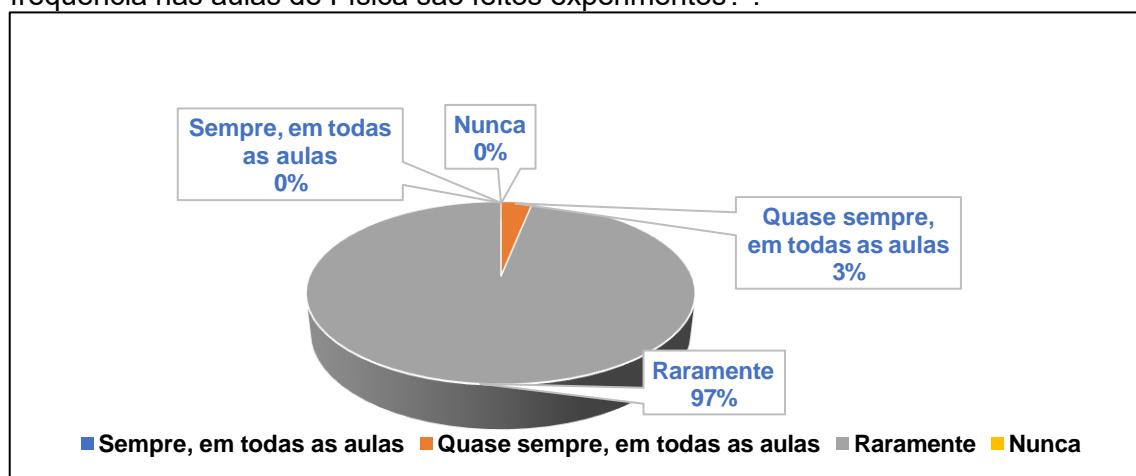
Fonte: Autor, 2023.

Também foi investigado se os alunos participavam habitualmente de aulas experimentais nas aulas de Física, os resultados estão apresentados na **Figura**

⁴ Conta-se que, certa vez, Diógenes estava ouvindo Platão falar quando um dos discípulos perguntou: Mestre! o que é o homem? E Platão teria respondido: "o homem é um bípede implume". No dia seguinte Diógenes chegou com um galo depenado e, soltando-o diante de todos, teria dito: "eis aí, o homem de Platão!"

6.6. Conforme se vê nos resultados desta figura, praticamente todos os alunos (97%) afirmaram que não há experimentos nas aulas de Física na turma onde este Produto Educacional foi aplicado. As razões para isso podem ser diversas, como discutido na introdução deste trabalho, incluindo a limitação no número de aulas de Física na maioria das escolas. Assim, acreditamos que a realização deste experimento na turma teve um impacto significativo, permitindo que os alunos percebessem que a Física vai além do ensino tradicional baseado apenas no uso de fórmulas para resolver problemas.

Figura 6.6: Percentual de respostas dos alunos referente a pergunta: “Com que frequência nas aulas de Física são feitos experimentos?”.



Fonte: Autor, 2023.

Quando os alunos foram questionados se gostavam de ver experimentos nas aulas de Física, todos afirmaram que sim. Algumas das justificativas dadas pelos alunos foram:

- **Aluno 01:** “Pois fica mais divertido as aulas e melhor de entender”.
- **Aluno 02:** “Além de tornar mais didáticos os assuntos abordados tornam as aulas mais lúdicas e divertidas para mim, aluno”.
- **Aluno 03:** “Me ajuda a entender mais que só gráficos e slides”.
- **Aluno 04:** “Dá uma ajuda muito boa para entender”.
- **Aluno 05:** “Por que além de facilitar o entendimento e aprendizagem deixa a aula mais dinâmica e incentiva o aluno, faz com que ele goste um pouco mais.”

Baseado nessas respostas, podemos perceber que, na opinião dos alunos, o uso de experimentos torna o estudo dos fenômenos físicos mais divertido e contribui para uma melhor aprendizagem do conteúdo. Especificamente sobre o conteúdo de hidrostática, os alunos também foram questionados se o achavam interessante. Aproximadamente 94% responderam que sim, enquanto apenas 6% disseram que não. Provavelmente, os alunos se identificam com esse conteúdo porque, em nosso dia a dia, muitos fenômenos físicos estão diretamente ligados à hidrostática, como a flutuação de objetos na água. O fato de que, ao colocar um objeto na água, como um barco ou uma bola, ele flutua ou afunda dependendo de seu peso e forma, sem dúvida desperta muita curiosidade nos alunos.

Figura 6.7: Percentual de respostas dos alunos referente a pergunta: "Você acha interessante o conteúdo de hidrostática?".



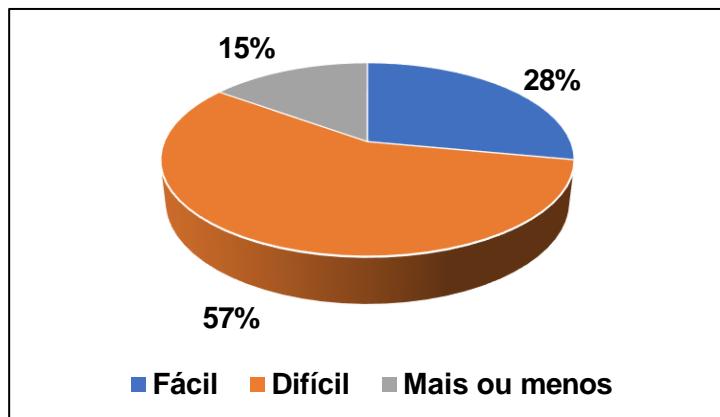
Fonte: Autor, 2023.

Quando questionados se achavam o conteúdo de hidrostática fácil ou difícil, a grande maioria (57%) disse considerar esse conteúdo difícil de entender, como vemos na **Figura 6.8**. Além disso, apenas 28% o acharam fácil, e 15% o classificaram como "mais ou menos". O questionário, entretanto, não investigou as razões para essa percepção de dificuldade em relação ao conteúdo de hidrostática. Sugere-se, portanto, que futuras aplicações do Produto Educacional incluam a possibilidade de os alunos justificarem suas respostas, a fim de permitir uma análise mais aprofundada.

A terceira parte do questionário abordou especificamente a sequência didática aplicada aos alunos, focando no "paradoxo hidrostático de Galileu". Quando perguntados se já haviam ouvido falar desse paradoxo, todos

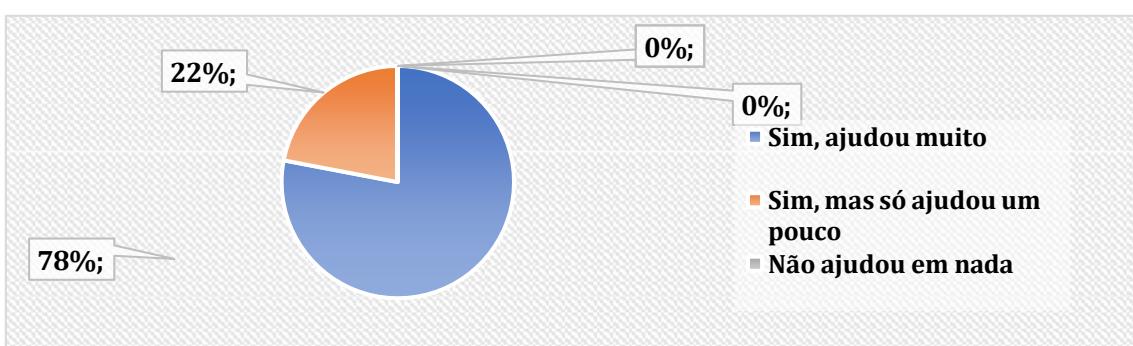
responderam que não. Esse resultado era esperado, considerando que, como mencionado ao longo deste trabalho, os livros didáticos geralmente não abordam esse tema, especialmente nos livros do Ensino Médio.

Figura 6.8: Percentual de respostas dos alunos referente a pergunta: “Você acha o conteúdo Hidrostática fácil, difícil ou mais ou menos?”.



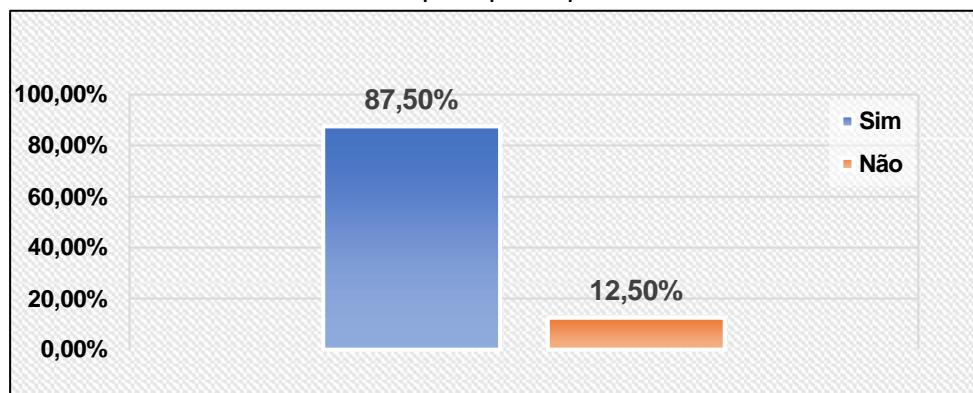
Em seguida, no questionário perguntamos aos alunos se o experimento havia ajudado a entender melhor o conteúdo ministrado na sequência didática. Conforme mostrado na **Figura 2.9**, todos responderam que o experimento contribuiu para o entendimento, com 78% afirmando que ajudou muito e 22% dizendo que ajudou apenas um pouco. No entanto, nenhum aluno disse que o experimento não ajudou ou que dificultou o entendimento, ou seja, nenhum deles achou que a aula teria sido melhor sem o experimento. Isso reforça a ideia de que, em geral, os alunos preferem aulas de Física que vão além do uso de quadro e lápis, especialmente aquelas que envolvem experimentos.

Figura 6.9: Percentual de respostas dos alunos referente a pergunta: “Você acha que o experimento ajudou você a entender melhor o conteúdo ministrado?”.



Quando questionados se o experimento os havia motivado a participar mais das aulas de Física, 87,5% dos alunos responderam que sim, enquanto apenas 12,5% (correspondendo a 4 alunos) disseram que não, conforme mostrado na **Figura 6.10**. Esses resultados reforçam a importância do uso de aulas experimentais em Física, indicando que, em geral, os alunos gostam de participar de atividades como essa. Dessa forma, essa sequência didática não só contribuiu para uma melhor compreensão do empuxo arquimediano e galileano, mas também ajudou a aumentar a motivação dos alunos para participar das aulas. Sem dúvida, isso tem um impacto positivo no processo de ensino-aprendizagem.

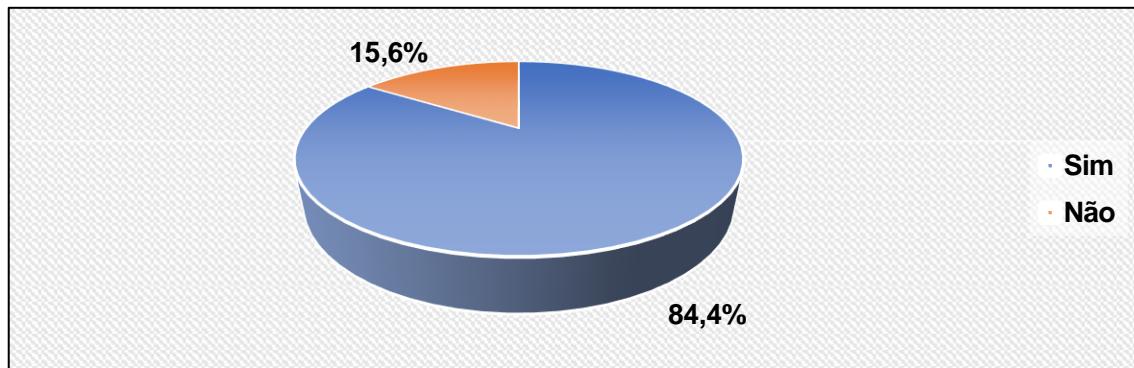
Figura 6.10: Percentual de respostas dos alunos referente a pergunta: “O experimento lhe deixou mais motivado para participar das aulas de Física?”.



Fonte: Autor, 2023.

Também foi perguntado aos alunos se consideravam que o roteiro experimental estava bem elaborado. Neste caso, 84,4% afirmaram que sim, dizendo que conseguiram realizar o experimento seguindo o roteiro, enquanto 15,6% disseram que precisaram da ajuda do professor para executar corretamente o experimento, conforme mostrado na **Figura 6.11**. Não identificamos qual parte do roteiro gerou esse problema de entendimento. No entanto, como o percentual dos que precisaram de ajuda foi pequeno (15,6%), é possível que tenha sido apenas uma questão de leitura do roteiro, ou seja, o roteiro estava claro, mas, por alguma outra razão, como distração durante a leitura, isso ocorreu. Apenas a aplicação dessa sequência didática a um número maior de alunos poderá confirmar essa hipótese.

Figura 6.11: Percentual de respostas dos alunos referente a pergunta: “O roteiro experimental estava bem elaborado?”.



Fonte: Autor, 2023.

Com base nos dados apresentados, observamos que os resultados foram bastante satisfatórios, com uma redução significativa no número de equívocos dos alunos no questionário aplicado após a realização do experimento, além de uma maior motivação para participar da aula. A seguir, serão apresentadas as considerações finais deste trabalho.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, podemos afirmar que o objetivo foi alcançado: promover nos alunos a percepção crítica em relação à forma como os livros didáticos geralmente enunciam a lei de Arquimedes, além de fornecer uma definição mais precisa para essa importante lei da hidrostática.

Em relação ao uso do experimento, os resultados oferecem evidências de que, quando aplicado em sala de aula para o ensino do empuxo, ele contribui significativamente tanto para a compreensão do conteúdo quanto para a motivação dos alunos em participar das aulas. No que se refere à *flutuação de Galileu*, ficou claro que este é um tema desconhecido pelos alunos. Assim, a introdução desse modelo de flutuação foi um resultado relevante deste trabalho.

Os resultados indicaram uma redução considerável no percentual de equívocos nas perguntas do questionário relacionadas ao empuxo, após a aplicação da sequência didática proposta, tanto nas questões sobre o empuxo arquimediano quanto sobre o galileano. Além disso, observou-se que os alunos acharam o experimento tão interessante que expressaram o desejo de compartilhar os resultados observados em suas redes sociais.

Em relação às perguntas do questionário sobre a disciplina de Física e o uso de experimentos nas aulas, constatou-se que praticamente metade da turma declarou não gostar da disciplina, e quase todos afirmaram que raramente há experimentos de física nas aulas. Embora tenham essa percepção sobre a Física, é interessante notar que a maioria dos alunos considerou o conteúdo de hidrostática interessante, apesar de o classificar como difícil. Quanto à realização do experimento, a grande maioria relatou que os experimentos os motivaram a participar mais ativamente da aula e contribuíram para uma melhor compreensão do conteúdo. Os resultados também indicaram que os alunos consideraram o roteiro experimental bem elaborado.

Outra contribuição deste trabalho é o incentivo aos professores para adotarem, em suas práticas de ensino, uma postura crítico-reflexiva em relação aos conteúdos estudados, chamando a atenção dos alunos para os casos-limite das teorias físicas. Além disso, o trabalho sugere a reflexão sobre a inclusão, nos livros didáticos, de breves notas explicativas que destaque as limitações de determinadas teorias e enunciados, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico-reflexivo nos alunos. Isso ajudaria a reforçar a compreensão de que o conhecimento científico é dinâmico, e que a ciência está sempre aberta à revisão de conceitos e modelos.

Por fim, é importante ressaltar que o pequeno número de alunos entrevistados torna necessárias cautelas nas conclusões. Entretanto, apesar dessa limitação nos dados, os resultados parecem ser bastante promissores em relação à adoção desta sequência didática em aulas sobre hidrostática, especialmente no que se refere ao empuxo. Esperamos, assim, que essa sequência se torne uma ferramenta didática importante para os professores ao ensinarem hidrostática, contribuindo para aulas mais dinâmicas e um aprendizado mais efetivo deste conteúdo fundamental da Física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIB, Maria L. V. S. Uma abordagem piagetiana para o ensino de flutuação dos corpos. São Paulo-SP: USP/Faculdade de Educação, 1988.

ALFAD, H. Identification of students' misconceptions in static fluid. Tarbiyah: Jurnal Ilmiah Kependidikan, v. 9, n. 1, p. 12-18, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18592/tarbiyah.v9i1.3233>. Acesso em: 20 ago. 2024.

ASSIS, A.K.T. Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca. 1. ed. Montreal: C. Roy Keys Inc., 2008. p. 26-28.

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, Rio de Janeiro – RJ, p. 69-80, 1996.

ASTOLFI, J. P.; DEVELAY, M. A didática das ciências. 1. ed. Campinas: Papirus, 1990. p. 48-49.

BACHELARD, G. A formação do espírito científico. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

CUSTÓDIO, M.E.S. A construção do conhecimento no ensino de física através de múltiplas linguagens: uma proposta metodológica. In: Atas – Seminário Ensinar com Pesquisa (Ensinar, Pesquisar e Aprender), ano IV, São Paulo - SP, p. 2-6, 2011.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. Ensino de ciências: fundamentos e métodos. 2. ed. São Paulo - SP: Cortez, 2007.

DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P.; WOOD-ROBINSON, V. Making sense of secondary science. 1. ed. London: Routledge, 1994.

ESTRATÉGIA CONCURSOS. Saiba o que é a pirâmide da aprendizagem e como usá-la em seu favor! Estratégia Concursos Blog. Disponível em: <https://www.estategiaconcursos.com.br/blog/saiba-piramide-aprendizagem/>. Acesso em: 06 ago. 2024.

GREF - GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. Física mecânica 1. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

KEMBLE, E.C. Physical science: its structure and development. Massachusetts: The MIT Press, 1966.

MACH, E. The science of mechanics. Illinois: The Open Court Publishing Company, 1989.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro "Física". Ciência & Educação, v. 20, n. 3, Bauru - SP, p. 201-214, 2014.

SILVA, E. S. Revista Prática Docente, v. 4, n. 1, Confresa-MT, p. 185-190, jan./jun. 2019.

SILVEIRA, F. L. da; MEDEIROS, A. O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 2, Florianópolis - SC, p. 273-294, ago. 2009.

SNIR, J. Sink or float - what do the experts think? The historical development of explanations for flotation. Science Education, v. 75, n. 5, p. 595-609, 1991.

TAYLOR, L.W. Physics: the pioneer science. v. 1. New York, Dover Publications, 1959.

TOTVS. Metodologias ativas de aprendizagem: o que são e 13 tipos. TOTVS Blog. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/instituicao-de-ensino/metodologias-ativas-de-aprendizagem/>. Acesso em: 06 ago. 2024.

WALPOLE, B. Fun with science. Hong Kong: Kingfisher Books Ltd, 1988.

APÊNDICE – PRODUTO EDUCACIONAL

O PARADOXO HIDROSTÁTICO DE GALILEU – Experimento de baixo custo.



Aluno: Ozaías Rodrigues Cavalcante
Orientador: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 36

Ozaías Rodrigues Cavalcante

PRODUTO EDUCACIONAL

O PARADOXO HIDROSTÁTICO DE GALILEU – Experimento de baixo custo.

Maceió - AL
2024

Ozaías Rodrigues Cavalcante

O PARADOXO HIDROSTÁTICO DE GALILEU – Experimento de baixo custo.

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: “Sequência Didática sobre um Caso Limite do Empuxo de Arquimedes: O Paradoxo Hidrostático de Galileu”, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 36 – UFAL Maceió-AL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva

Maceió - AL
2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Wagner Ferreira da Silva, pela dedicação e paciência com que me conduziu na orientação deste trabalho. Sou grato também ao professor Thiago Souto pela cessão de seus horários de aulas para a aplicação do produto educacional; ao professor Oberlan da Silva pelas críticas e sugestões; e ao professor Valdemir Mariano pela sua grandeza espiritual.

Sou grato ainda à secretária Valdjane Gomes Matias pelos encaminhamentos pertinentes, e a Eduardo Antônio de Araújo Santos pelo trabalho fotográfico.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Sumário

1.	Apresentação do produto educacional.....	1
2.	Fundamentação teórica	2
2.1.	A Lei de Arquimedes.....	2
2.2.	Explicando a “flutuação de Galileu”	3
2.3.	Enunciando a Lei de Arquimedes para o empuxo	5
3.	A sequência didática para aplicação do experimento	6
4.	Questionário – Antes do experimento	9
5.	Questionário – Após a aplicação do experimento	11
6.	Roteiro experimental.....	14
7.	Considerações finais	21
	Referências	22

1. Apresentação do produto educacional

A Física é uma disciplina estritamente experimental; por mais elegante que uma teoria seja, ela necessita de validação experimental para ser aceita pela comunidade científica. Nesse sentido, é essencial que seja ensinada nas salas de aula utilizando, sempre que possível, recursos experimentais. Além disso, é importante que os alunos tenham noção de que toda teoria possui suas limitações e seus casos limites. Contudo, em geral, isso não é abordado nos livros didáticos. Um exemplo disso é a forma como a lei de Arquimedes, referente ao empuxo, é enunciada nos textos de Física, o que pode levar a uma contradição. A maneira como os textos de Física apresentam a lei para corpos flutuantes resulta em uma contradição conhecida como "o paradoxo hidrostático de Galileu". Isso ocorre porque nem sempre o empuxo é igual ao peso do volume de líquido deslocado pelo corpo que flutua. Assim, nosso trabalho tem por objetivo desenvolver uma sequência didática com experimentos de baixo custo para comprovar o limite de validade do empuxo arquimediano. Ele foi planejado para ser aplicado em quatro aulas, não necessariamente consecutivas. Os experimentos propostos são relativamente simples de serem realizados, podendo ser feitos na própria sala de aula, sem a necessidade de levar os alunos a um laboratório de Física. Finalizamos desejando que este produto educacional possa despertar nos alunos o interesse pela experimentação na Física, bem como ser um importante auxílio didático para os professores que buscam, a cada dia, inserir a experimentação em suas aulas.

2. Fundamentação teórica

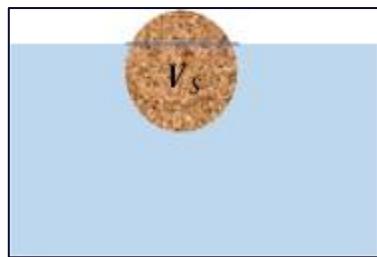
Segundo Arquimedes, “todo corpo total ou parcialmente mergulhado em um líquido fica sujeito a uma força vertical para cima chamada empuxo, cujo módulo é igual ao módulo do peso do volume do líquido deslocado pelo corpo”. Este modelo de flutuação é conhecido como flutuação de Arquimedes. Porém, nem sempre, o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado. Isso ocorre porque existe a possibilidade de um corpo flutuar em um líquido, mesmo que todo o volume do líquido contido no recipiente pese menos do que ele. Este modelo de flutuação é conhecido como flutuação de Galileu. A finalidade deste produto educacional é comprovar esse fato. Mas, antes de falar mais sobre o produto educacional, vamos revisar a Lei de Arquimedes e, em seguida, explicar a “flutuação de Galileu”.

2.1. *A Lei de Arquimedes*

Segundo a Lei de Arquimedes, o empuxo é uma força de direção vertical, com sentido de baixo para cima, e de módulo igual ao módulo do peso do volume do líquido deslocado. Essa força sempre se manifesta sobre todo e qualquer corpo que esteja total ou parcialmente mergulhado em um líquido.

A flutuação dos corpos (empuxo) tem sido objeto de investigação há muito tempo. Um dos primeiros modelos, de certa forma ainda muito utilizado atualmente, tem sua base explicativa nos escritos de Arquimedes. Segundo esse modelo, “*um corpo, total ou parcialmente mergulhado em um fluido, fica sujeito à ação de uma força vertical para cima, denominada empuxo, cujo módulo é igual ao módulo do peso do volume do fluido deslocado pelo corpo*”. A Figura 2.1 mostra uma esfera de madeira parcialmente imersa em um líquido de densidade ρ maior que a densidade da esfera.

Figura 2.1: Esfera de madeira flutuando em um líquido de densidade ρ maior que a densidade da esfera.



Fonte: Autor, 2024.

A esfera mostrada na Figura 2.1 está em equilíbrio. Logo, podemos afirmar, com base na lei de Arquimedes, que seu peso P , é igual ao empuxo E , que nela atua. Assim temos que:

$$E = P. \quad (2.1)$$

Perceba que, neste caso, quando um corpo é imerso em um líquido, o volume submerso V_s , do corpo é igual ao volume do líquido deslocado V_d . Se esse líquido tem massa específica ρ , então, o peso do volume deslocado é $\rho \cdot V_d \cdot g$, e o empuxo E , valerá então:

$$E = \rho \cdot g \cdot V_d. \quad (2.2)$$

Um ponto importante é que essa expressão pressupõe que tanto a densidade do líquido quanto a aceleração da gravidade (g) não variam com a profundidade. Devemos considerar, ainda, que este modelo só pode ser aplicado a recipientes cujo volume de líquido contido é bem maior que o volume do corpo flutuante, ou quando o recipiente, independentemente de suas dimensões, está completamente cheio.

Todavia, por trás da simplicidade matemática da fórmula do empuxo arquimediano, escondem-se muitas complexidades. Uma delas é a possibilidade de um corpo flutuar em um volume de líquido cujo peso total é inferior ao peso do corpo que flutua, o que faz com que o volume deslocado pese ainda menos. Essa possibilidade de flutuação é conhecida como “flutuação de Galileu”.

2.2. *Explicando a “flutuação de Galileu”*

Vamos agora tratar do caso da “flutuação de Galileu”. Imagine um recipiente cilíndrico com diâmetro interno não muito superior ao diâmetro externo de um cilindro de madeira, como

mostrado na **Figura 2.2**. Essa diferença entre os diâmetros não deve ser extremamente pequena nem muito grande. Uma diferença de diâmetros entre 5 mm e 7 mm é suficiente para o nosso propósito.

Suponha que, em seguida, colocássemos no recipiente um volume de líquido cujo peso fosse um pouco inferior ao peso do cilindro de madeira. Nessas circunstâncias, se abandonássemos o cilindro no interior do recipiente, o que poderíamos dizer a respeito da possibilidade de flutuação do cilindro? Ele flutuaria ou não? Uma possível resposta, de certa forma lógica, seria dizer que não, uma vez que o volume de líquido no recipiente pesa menos que o corpo e, por conseguinte, o volume deslocado pesaria ainda menos. Todavia, contrariando a forma como a lei do empuxo é enunciada, o cilindro de madeira vai flutuar! Essa situação corresponde a um caso limite da lei do empuxo arquimediano.

Figura 2.2: Cilindro de madeira flutuando em um líquido, cujo volume, tem peso inferior ao peso do cilindro.



Fonte: Autor, 2024.

A explicação para o fato de que o cilindro irá flutuar na situação descrita anteriormente é a seguinte: como o líquido no recipiente não tem como se "espalhar", forma-se, então, entre a parede externa do cilindro e a parede interna do recipiente, uma coluna de líquido que, no nível da base do cilindro, causa uma pressão hidrostática p . Segundo Stevin, essa pressão vale $p = \rho gh$, onde ρ é a densidade do líquido, g é a aceleração da gravidade e h é a altura da coluna de líquido a partir do nível da base do cilindro. Essa pressão, multiplicada pela área da base do cilindro, produz uma força capaz de equilibrar o seu peso, sem que seja necessário que o volume deslocado pese tanto quanto ele.

Às vezes, aquilo que parece óbvio em uma primeira análise, ou em uma análise superficial, pode revelar-se bastante complexo quando analisado cuidadosamente. O problema

da flutuação dos corpos é um caso assim. Uma dedução matemática detalhada pode ser encontrada no artigo de Silveira e Medeiros (2009), referenciado no final deste trabalho.

Para estudar os casos limites das teorias com os alunos, uma abordagem importante, sem dúvida, é o uso de experimentos. Nas palavras de Bachelard (pp. 13 e 14, 1996): "... uma hipótese científica que não esbarra em nenhuma contradição tem tudo para ser uma hipótese inútil. Do mesmo modo, a experiência que não retifica nenhum erro, que é monotonamente verdadeira, sem discussão, para que serve?".

2.3. *Enunciando a Lei de Arquimedes para o empuxo*

A Lei de Arquimedes não está incorreta. O que está incorreto, muitas vezes, é a forma como ela é enunciada nos livros de Física. Como, então, enunciar o Princípio de Arquimedes de modo a torná-lo sem a contradição aparente discutida anteriormente? Uma forma de enunciar a lei de Arquimedes sem cair em contradição seria (Silveira e Medeiros, 2009):

"Todo corpo mergulhado em um líquido sofre um empuxo de baixo para cima igual ao peso do fluido contido em um volume idêntico ao volume submerso do corpo no fluido."

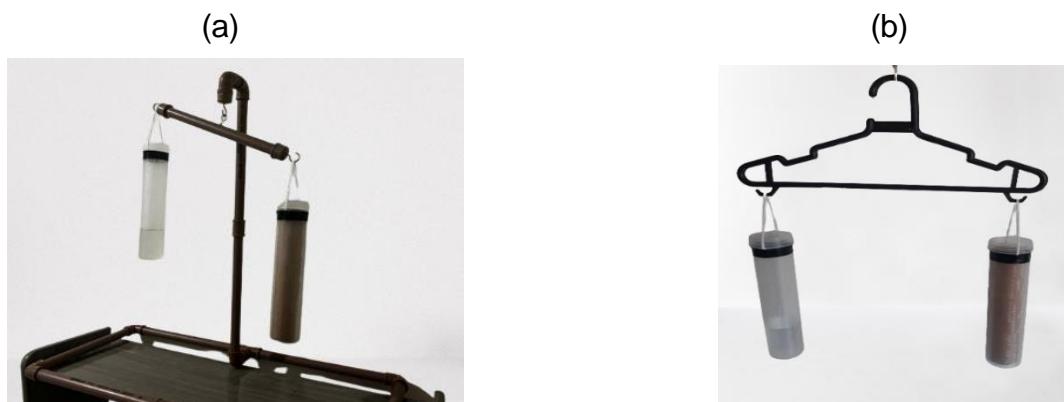
Enunciando a lei de Arquimedes dessa forma, a lei fica universalmente contemplada, sem restrições. Em resumo, qual é a diferença entre a flutuação de Arquimedes e a flutuação de Galileu? A "flutuação de Arquimedes", como geralmente é enunciada nos livros didáticos, só é válida quando:

- O volume de líquido no recipiente é maior que o volume do corpo mergulhado, ou
- O recipiente, independentemente de suas dimensões, está completamente cheio.

3. A sequência didática para aplicação do experimento

Este Produto Educacional é uma sequência didática planejada com base nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco. O propósito pedagógico da sequência didática é comprovar, por meio de um experimento de baixo custo, o limite de validade do empuxo arquimediano, utilizando o aparato experimental retratado na Figura 3.1a, que é basicamente uma balança de braços iguais. Na ausência de um aparato tubular, como o mostrado na Figura 3.1a, pode-se improvisar um aparato com um cabide, como na Figura 3.1b.

Figura 3.1: (a) Aparato experimental proposto neste produto educacional e (b) um aparato alternativo com um cabide, que também pode ser utilizado.



A sequência didática aqui proposta é para ser aplicada em quatro aulas, não necessariamente consecutivas. O Capítulo 4 contém o questionário de avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos, que deve ser aplicado na primeira aula. Já o questionário para avaliar o conhecimento dos alunos após a realização das aulas, que deve ser aplicado na quarta aula, encontra-se no Capítulo 5. A seguir, nos Quadros de 3.1 a 3.4, apresentamos uma sugestão de como as quatro aulas podem ser conduzidas pelo professor que desejar aplicar este produto educacional.

Quadro 3.1: Primeira aula da Sequência Didática.

AULA 01
Disciplina: Física.
Duração: 1h / aula (45min).
Conteúdo: Empuxo.
Objetivo da aula: Testar os conhecimentos prévios do aluno com respeito ao assunto empuxo.
Recursos Utilizados: Teste individual impresso em folha de papel.
Metodologia: Cada aluno deverá responder, individualmente, o teste para verificação do conhecimento prévio.
Descrição da atividade: O professor deverá aplicar o teste e acompanhar o desenvolvimento da aplicação até o seu final.
Avaliação: Não se aplica.

Quadro 3.2: Segunda aula da Sequência Didática.

AULA 02
Disciplina: Física.
Duração: 1h / aula (45min).
Conteúdo: Empuxo arquimediano.
Objetivo da aula: Investigar a veracidade, ou não, da afirmação: “O empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo”.
Recursos Utilizados: Roteiro Experimental que se encontra no Capítulo 6.
Metodologia: Exposição do conteúdo e demonstração experimental.
Descrição da atividade: O professor deverá mostrar experimentalmente que o volume deslocado pesa tanto quanto o corpo.
Avaliação: O professor deverá ficar atento à interação entre os alunos, bem como, fazer perguntas para avaliar o entendimento dos alunos.

Quadro 3.3: Terceira aula da Sequência Didática.

AULA 03
Disciplina: Física.
Duração: 1h / aula (45min).
Conteúdo: Empuxo galileano.
Objetivo da aula: Comprovar os limites de validade do princípio de Arquimedes sobre o empuxo, na forma como ele é, em geral, enunciado pelos livros didáticos do ensino médio.
Recursos Utilizados: Roteiro Experimental que se encontra no Capítulo 6.
Metodologia: Exposição do conteúdo e demonstração experimental.
Descrição da atividade: O professor deverá mostrar experimentalmente que o empuxo, nem sempre, é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo.
Avaliação: O professor deverá ficar atento à interação entre os alunos, bem como, fazer perguntas para avaliar o entendimento dos alunos.

Quadro 3.4: Quarta aula da Sequência Didática.

AULA 04
Disciplina: Física.
Duração: 1h / aula (45min).
Conteúdo: Empuxo.
Objetivo da aula: Verificação da aprendizagem por meio de uma avaliação impressa em papel para avaliar o aprendizado dos alunos após a realização do experimento.
Recursos Utilizados: Teste individual impresso em folha de papel (Capítulo 5).
Metodologia: Cada aluno deverá responder individualmente o teste de verificação do entendimento do que foi ensinado.
Descrição da atividade: O professor deverá aplicar o teste e acompanhar o desenvolvimento da aplicação até o seu final.
Avaliação: Não se aplica.

A fundamentação metodológica da aplicação desta Sequência Didática está baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2007), ou seja:

- 1. Primeiro Momento Pedagógico (1º MP)** - Problematização inicial.
- 2. Segundo Momento Pedagógico (2º MP)** - Organização do conhecimento.
- 3. Terceiro Momento Pedagógico (3º MP)** - Aplicação do conhecimento.

O **Quadro 3.5** sumariza nossa sugestão de aplicação do produto baseado nestes três momentos.

Quadro 3.5: Quadro com as três etapas correspondentes aos Três Momentos Pedagógicos (3MP).

Momentos Pedagógicos	Etapas	Atividades
Problematização inicial	Etapa 1 1 Aula	Aplicar um questionário para identificar os conhecimentos prévios do aluno. (Disponível no Capítulo 4).
Organização do conhecimento	Etapa 2 2 Aulas	Demonstrar experimentalmente o empuxo arquimediano.(Flutuação de Arquimedes – Capítulo 6).
		Demonstrar experimentalmente o empuxo galileano. (Flutuação de Galileu – Capítulo 6).
Aplicação do conhecimento	Etapa 3 1Aula	Aplicar um questionário para verificar os conhecimentos adquiridos do aluno. (Disponível no Capítulo 5)
(3MP)	3 Etapas	Atividades.

Fonte: Autor, 2023.

A seguir, encontram-se os questionários e o roteiro experimental para a aplicação desta sequência didática.

4. Questionário – Antes do experimento



**Universidade Federal de Alagoas
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Instituto de Física – Polo 36**



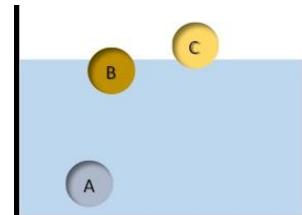
Professor:

Data da aplicação: ____ / ____ / ____

QUESTIONÁRIO SOBRE EMPUXO – PRÉ-TESTE

1) A figura ao lado mostra três esferas de volumes idênticos flutuando em um líquido homogêneo. Qual delas está sofrendo maior força de empuxo? Marque um “X” na alternativa correta.

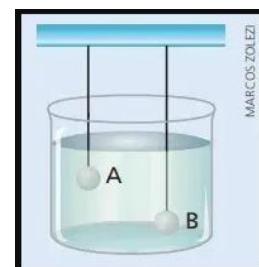
- a) A esfera A.
- b) A esfera B.
- c) A esfera C.



Justifique a sua resposta: _____

2) (PUC-RS) Duas esferas metálicas, A e B, de mesmo volume e massas diferentes, estão totalmente imersas na água, conforme figura ao lado. Analisando essa situação, é possível afirmar que a intensidade do empuxo que a água exerce nas esferas:

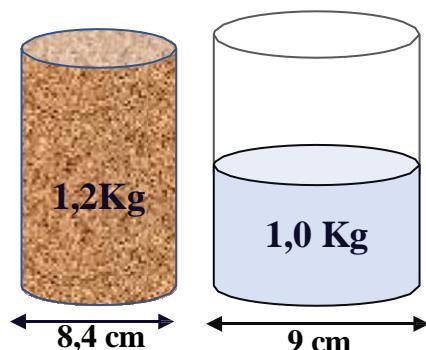
- a) É maior na esfera A.
- b) É maior na esfera B.
- c) O empuxo nas esferas A e B são iguais.



Justifique a sua resposta: _____

3) Quando um corpo está total, ou parcialmente mergulhado em um líquido, ele fica sujeito a uma força orientada de baixo para cima chamada empuxo. Qual das afirmativas abaixo é correta:

- a) O empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo, em qualquer situação, independentemente do tamanho do recipiente ou da quantidade de líquido dentro dele.
- b) O empuxo só será igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo se as dimensões do recipiente forem muito maiores do que a do corpo que deslocou o líquido, ou se o recipiente estiver completamente cheio.
- 4) Suponha que você tenha um recipiente com certo volume de líquido pesando menos que um cilindro de madeira, cuja medida do diâmetro vale 8,4 cm, e é próxima da medida do diâmetro do recipiente (que vale 9 cm), conforme figura abaixo. Marque um “X” na alternativa correta. (Massa do cilindro de madeira = 1,2 Kg. Massa do volume do líquido no recipiente = 1,0 Kg).
- a) O cilindro de madeira irá **afundar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.
- b) O cilindro de madeira irá **flutuar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.



Justifique a sua resposta:

5. Questionário – Após a aplicação do experimento



**Universidade Federal de Alagoas
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Instituto de Física – Polo 36**



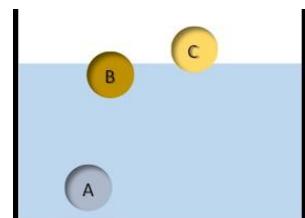
Professor:

Data da aplicação: ____ / ____ / ____

QUESTIONÁRIO SOBRE EMPUXO – PÓS-TESTE

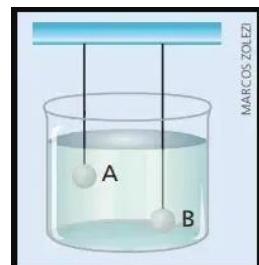
1) A figura ao lado mostra três esferas de volumes idênticos flutuando em um líquido homogêneo. Qual delas está sofrendo maior força de empuxo? Marque um “X” na alternativa correta.

- a) A esfera A.
- b) A esfera B.
- c) A esfera C.



Justifique a sua resposta:_____

2) (PUC-RS) Duas esferas metálicas, A e B, de mesmo volume e massas diferentes, estão totalmente imersas na água, conforme figura ao lado. Analisando essa situação, é possível afirmar que a intensidade do empuxo que a água exerce nas esferas:



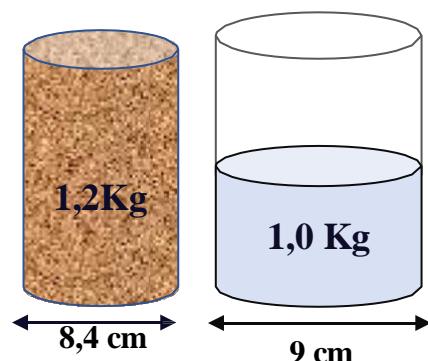
- a) É maior na esfera A.
- b) É maior na esfera B.
- c) O empuxo nas esferas A e B são iguais.

Justifique a sua resposta:_____

3) Quando um corpo está total, ou parcialmente mergulhado em um líquido, ele fica sujeito a uma força orientada de baixo para cima chamada empuxo. Qual das afirmativas abaixo é correta:

- a) O empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo, em qualquer situação, independentemente do tamanho do recipiente ou da quantidade de líquido dentro dele.

- b) O empuxo só será igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo se as dimensões do recipiente forem muito maiores do que a do corpo que deslocou o líquido, ou se o recipiente estiver completamente cheio.
- 4) Suponha que você tenha um recipiente com certo volume de líquido pesando menos que um cilindro de madeira, cuja medida do diâmetro vale 8,4 cm, e é próxima da medida do diâmetro do recipiente (que vale 9 cm), conforme figura abaixo. Marque um "X" na alternativa correta. (Massa do cilindro de madeira = 1,2 Kg. Massa do volume do líquido no recipiente = 1,0 Kg).
- a) O cilindro de madeira irá **afundar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.
- b) O cilindro de madeira irá **flutuar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.



Justifique a sua resposta: _____

QUESTÕES SOBRE A OPINIÃO DOS ALUNOS COM RELAÇÃO A DISCIPLINA DE FÍSICA

5) Você gosta da disciplina de Física?

- () Sim.
() Não.

Por que você pensa isso sobre a Física? Sua resposta: _____

6) Com que frequência, nas aulas de Física, são feitos experimentos?

- () Sempre, em todas as aulas.
() Quase sempre em todas as aulas.
() Raramente.
() Nunca.

7) Você gosta de ver experimentos nas aulas de Física?

- () Sim () Não

Por quê? _____

8) Você acha interessante o conteúdo de **hidrostática**?

() Sim () Não

Por quê? _____

9) Você acha o conteúdo **Hidrostática** fácil ou difícil?

() Fácil () Difícil?

Por quê? _____

QUESTÕES RELACIONADAS AO EXPERIMENTO REALIZADO

10) O “**paradoxo hidrostático de Galileu**” trata da possibilidade de um corpo poder flutuar em um líquido cujo volume pesa menos que o corpo, o que vai de encontro ao enunciado do que é encontrando na maioria dos livros ao afirmarem que: “*o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado*”. Você já tinha conhecimento da existência do “**paradoxo hidrostático de Galileu**”?

() Sim () Não

11) Você acha que o experimento ajudou você a entender melhor o conteúdo ministrado?

() Sim, ajudou muito.
() Sim, mas só ajudou um pouco.
() Não ajudou em nada.
() Dificultou, eu preferia a aula sem o experimento.

12) O experimento lhe deixou mais motivado para participar das aulas de Física?

() Sim () Não

13) O roteiro experimental estava bem elaborado?

() Sim, conseguimos executar o experimento sem dificuldades.
() Não, foi necessária a ajuda do professor.

14) No experimento realizado sobre o “paradoxo hidrostático de Galileu” o volume de líquido deslocado foi igual ao peso do cilindro?

() Sim () Não

15) Caso deseje fazer algum comentário ou, sugestão, escreva aqui:

6. Roteiro experimental.



**Universidade Federal de Alagoas
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Instituto de Física – Polo 36**



Mestrando: Ozaías Rodrigues Cavalcante.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva.

I. O EMPUXO COMO O PESO DO VOLUME DO LÍQUIDO DESLOCADO.

1. Objetivo: Investigar a veracidade, ou não, de que o “*empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo*”.

2. Materiais Utilizados:

Material	Quantidade
• Pedaço de cano de PVC ¹ de meia polegada com 27 cm de comprimento.	09
• Pedaço de cano de PVC de meia polegada com 4 cm de comprimento.	02
• Pedaço de cano de PVC de meia polegada com 2 cm de comprimento.	01
• Gancho “pitão” pequeno tipo soberbo.	04
• Conexão “T” de meia polegada.	01
• Conexão “joelho” de meia polegada.	07
• Conexão “luva” de meia polegada.	02
• Tampão de meia polegada.	03
• Recipiente cilíndrico de PET ² com 24,5 cm de altura x 5,0 cm de diâmetro.	02
• Cilindro de madeira untado com 22,0 cm de comprimento x 4,5 cm de diâmetro.	01
• Pedaço de barbante fino ou, fio de nylon (25 cm).	02
• Estilete ou tesoura.	01
• Cuba.	01

3. Fundamentação Teórica:

No século III A.C., o filósofo, matemático e físico Arquimedes, idealizou um modo de encontrar o valor da força de empuxo que atua em corpos mergulhados em líquidos. Suas conclusões podem ser expressas através do enunciado: “*Todo corpo totalmente, ou parcialmente, mergulhado em um líquido recebe um empuxo vertical para cima igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo*”. É este princípio que permite que alguns corpos flutuem, como mostrado na **Figura 6.1**. Nesta figura, como o corpo está em repouso no líquido, o empuxo está sendo igual ao peso do corpo.

¹ PVC é a denominação abreviada de poli(cloreto de vinila).

² PET é a sigla utilizada para Polietileno Tereftalato.

Figura 6.1: Corpo flutuando em um líquido em repouso.

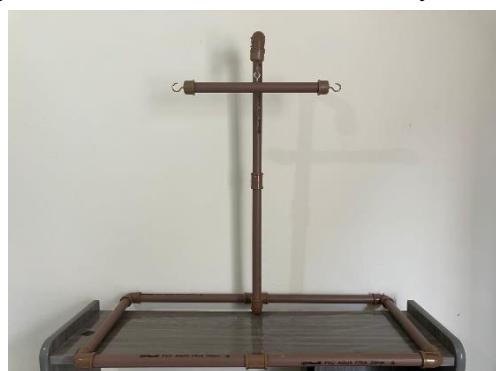


Fonte: Autor, 2023.

4. Procedimentos Experimentais:

1. Utilizando o material descrito no tópico 2 (Materiais Utilizados), encaixar as partes e, montar o arranjo experimental conforme o esquema da **Figura 6.2**.

Figura 6.2: Foto mostrando o arranjo montado.



Fonte: Autor, 2023.

A **Figura 6.3** mostra o arranjo completo: cuba, cilindro de madeira e dois recipientes de PET pendurados.

Figura 6.3: Foto mostrando os dois recipientes de PET colocados na estrutura.



Fonte: Autor, 2023.

2. Colocar, na cuba, um dos recipientes de PET; preenchê-lo completamente de líquido até o limiar do transbordamento, conforme a Figura 6.4.

Figura 6.4: Foto mostrando um dos recipientes de PET completamente cheio, até o limiar do transbordamento.



Fonte: Autor, 2023.

3. Depositar, lentamente, o cilindro de madeira no recipiente de PET até que o cilindro fique flutuando. A cuba servirá para armazenar todo o líquido que transbordar, conforme a Figura 6.5.

Figura 6.5: Foto mostrando o líquido transbordado na cuba.



Fonte: Autor, 2023.

4. Colocar em um dos recipientes de PET o líquido que foi transbordado na cuba, conforme a Figura 6.6. Cuidado para não derramar nenhuma água fora do recipiente PET.

Figura 6.6: Foto mostrando o recipiente de PET sendo enchido com o líquido presente na cuba.



Fonte: Autor, 2023.

5. Pendurar, em um dos braços da balança, o recipiente de PET com o líquido transbordado e, no outro braço pendurar o outro recipiente PET com o cilindro de madeira dentro dele, conforme a **Figura 6.7**.

Figura 6.7: Foto mostrando os recipientes de PET pendurados, um cheio do líquido transbordado e, o outro recipiente com o cilindro de madeira.



Fonte: Autor, 2023.

6. Observar se o recipiente que contém o líquido transbordado está em equilíbrio com o outro recipiente de PET, que contém o cilindro de madeira.

QUESTÕES

1) O recipiente que contém o líquido transbordado está em equilíbrio com o outro recipiente de PET que contém o cilindro de madeira?

2) Em vista do resultado obtido, pode-se afirmar, ou não, que o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado?

II. EMPUXO – PARADOXO HIDROSTÁTICO DE GALILEU

1. **Objetivo:** Investigar a possibilidade da flutuação, ou não, de um corpo em um líquido, cujo volume, tem peso inferior ao peso do corpo, para investigar a afirmação: “*O empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo*”.

2. Fundamentação Teórica:

O estudo da força de empuxo foi pioneiramente apresentado por Arquimedes no século III A.C. Não há registro de que alguém, antes dele, tenha tratado deste assunto. Os textos didáticos de física, em geral, tanto do ensino médio como do ensino superior, enunciam a lei do empuxo de Arquimedes dizendo que: “*Todo corpo, total ou, parcialmente mergulhado em um líquido sofre uma força vertical para cima, chamada empuxo, cujo módulo é igual ao módulo*

do peso do volume do líquido deslocado pelo corpo". Contudo, se o volume de líquido contido no recipiente pesar menos que o corpo, o que irá ocorrer? O propósito deste experimento é responder a esta pergunta.

Uma possível resposta – de certa forma até esperada – seria dizer que não é possível que o corpo flutue, uma vez que, o volume de líquido no recipiente, pesa menos que o cilindro de madeira e, por isto, o volume deslocado pesará menos ainda. Todavia, contrariando o que geralmente aprendemos sobre o empuxo, o cilindro irá flutuar. Esta situação corresponde a um caso limite da lei do empuxo. O que ocorre é o seguinte: como o líquido no recipiente não tem como se “espalhar”, forma-se, então, entre a parede externa do cilindro e, a parede interna do recipiente, uma coluna de líquido que, no nível da base do cilindro, causa uma pressão hidrostática (manométrica) p que, segundo Stevin, vale $p = \mu gh$, em que μ é a densidade do líquido, g a aceleração gravitacional e h a altura do líquido deslocado. Essa pressão multiplicada pela área da base do cilindro produz uma força capaz de equilibrar o seu peso, sem que seja necessário que o volume deslocado pese tanto quanto ele. Lembre-se que, no recipiente, o volume de líquido pesa menos que o cilindro, logo, o volume deslocado pesa menos ainda.

Maiores detalhes, inclusive a dedução matemática mostrando este caso limite da lei do empuxo, podem ser encontrados no trabalho publicado por Silveira e colaboradores (2009), cuja referência se encontra na seção final deste trabalho.

3. Procedimentos experimentais:

1. Recolocar na cuba a água que estava no recipiente PET (feito na primeira parte deste experimento).
2. Pendurar os recipientes de PET nos ganchos situados nas extremidades do braço da balança, conforme a **Figura 6.8**.

Figura 6.8: Foto mostrando os dois recipientes cilíndricos de PET colocados na estrutura.



Fonte: Autor, 2023.

3. Colocar o cilindro de madeira em um dos recipientes de PET, e no outro recipiente colocar **apenas uma parte da água** que está na cuba. O importante desta parte é que o volume de líquido colocado no recipiente de PET tenha um peso **inferior** ao do cilindro de madeira, ou seja, que a “balança fique desnivelada”, como mostrado na **Figura 6.9**.

Figura 6.9: Foto mostrando o cilindro de madeira em um dos recipientes de PET e, no outro recipiente, um volume de líquido de peso inferior ao peso do cilindro de madeira.



Fonte: Autor, 2023.

4. Retirar dos braços da balança, tanto o recipiente de PET que contém a água, como o que contém o cilindro de madeira, conforme a **Figura 6.10**.

Figura 6.10: Foto mostrando os dois recipientes de PET que foram retirados da montagem.



Fonte: Autor, 2023.

5. Colocar o cilindro de madeira no recipiente de PET que contém o líquido, conforme a **Figura 6.11**.

Figura 6.11: Foto mostrando o cilindro de madeira colocado no líquido, cujo peso é inferior ao do cilindro.



Fonte: Autor, 2023.

6. Observar se o cilindro de madeira afundou ou flutuou no líquido.

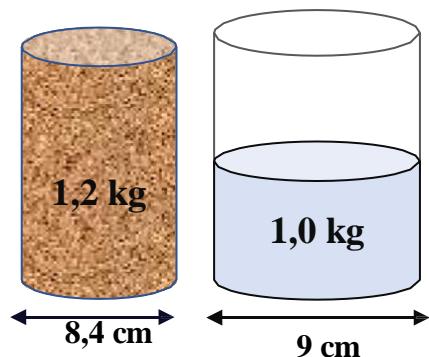
Questionário

1) O peso do volume de líquido deslocado foi igual ao peso do cilindro?

- () Sim.
() Não.

2) Suponha que você tenha um recipiente com certo volume de líquido pesando menos que um cilindro de madeira, cuja medida do diâmetro vale 8,4 cm, e é próxima da medida do diâmetro do recipiente (que vale 9 cm), conforme figura abaixo. Marque um “X” na alternativa correta.

- () O cilindro de madeira irá **afundar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.
() O cilindro de madeira irá **flutuar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.



Massa do cilindro de madeira: **1,2 kg**.
Massa do volume do líquido no recipiente:
1,0 kg.

Justifique a sua resposta:

Referências Bibliográficas do roteiro experimental:

KELLER, F., Física Vol. 1., ed. 1^a, São Paulo, Pearson Makron Books, 2004.

AZEHEB | Laboratórios Educacionais., Manual de Experimentos AZEHEB, Curitiba-PR, E-mail: azeheb@azeheb.com.br

SILVEIRA, Fernando Lang da; MEDEIROS, Alexandre. O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 273-294, ago. 2009.

7. Considerações finais

O desenvolvimento deste produto educacional teve como premissa fundamental a importância da experimentação no ensino de Física, destacando que as teorias, por mais elegantes que sejam, necessitam de validação experimental. Nossa foco foi a lei de Arquimedes e o paradoxo hidrostático de Galileu, utilizando experimentos de baixo custo para demonstrar o limite de validade do empuxo arquimediano.

Esperamos que este produto educacional desperte nos alunos um interesse renovado pela experimentação em Física, permitindo-lhes ver a teoria em ação e compreendendo suas limitações. A sequência didática foi projetada para ser aplicada em quatro aulas, proporcionando tempo suficiente para que os alunos realizem os experimentos, analisem os resultados e discutam suas conclusões.

Antes de aplicar os experimentos, recomendamos que os professores revisem o material didático e realizem os experimentos por conta própria. Isso garantirá familiaridade com o processo e a possibilidade de antecipar dúvidas ou problemas que possam surgir. Além disso, embora os experimentos tenham sido projetados para serem realizados em sala de aula, os professores devem considerar o contexto específico de sua escola. Se houver a possibilidade, os experimentos podem ser adaptados para serem realizados em um laboratório de Física, o que pode enriquecer ainda mais a experiência dos alunos.

Este produto educacional pode ser utilizado de diversas formas, além do contexto de sala de aula inicialmente proposto aqui. Por exemplo, os experimentos aqui propostos são excelentes candidatos para serem apresentados em feiras de ciências, o que possibilitará aos alunos desenvolverem habilidades de comunicação científica. Além disso, a flexibilidade dos experimentos propostos permite que sejam utilizados em diferentes níveis de ensino, ajustando a complexidade das discussões de acordo com o conhecimento prévio dos alunos.

Reforçamos também que é crucial que, após a realização dos experimentos, haja um momento dedicado à discussão e reflexão. Os professores que utilizarem este Produto Educacional devem incentivar os alunos a compartilharem suas observações e conclusões, e ajudá-los a relacionar os resultados experimentais com os conceitos teóricos discutidos em aula.

Por fim, esperamos que este trabalho se torne uma valiosa contribuição para o ensino de Física, incentivando a prática experimental e o pensamento crítico entre os alunos. Ao explorar os limites das teorias e encorajar a investigação ativa, estamos não apenas ensinando Física, mas também formando pensadores científicos capazes de questionar, investigar e compreender o mundo ao seu redor.

Referências

AZEHEB | Laboratórios Educacionais., Manual de Experimentos AZEHEB, Curitiba-PR, E-mail: azeheb@azeheb.com.br.

BACHELARD, G., “A formação do espírito científico”, 1^a ed., R. de Janeiro, Contraponto, 1996.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A., PERNAMBUCO, M. M., “Ensino de Ciências: fundamentos e métodos”, 2^a ed., São Paulo, Cortez, 2007.

KELLER, F., Física Vol. 1., ed. 1^a, São Paulo, Pearson Makron Books, 2004.

SILVEIRA, Fernando Lang da; MEDEIROS, Alexandre. O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 273-294, ago. 2009.