

## Comprovação Experimental do Princípio de Arquimedes e Comprovação do Empuxo

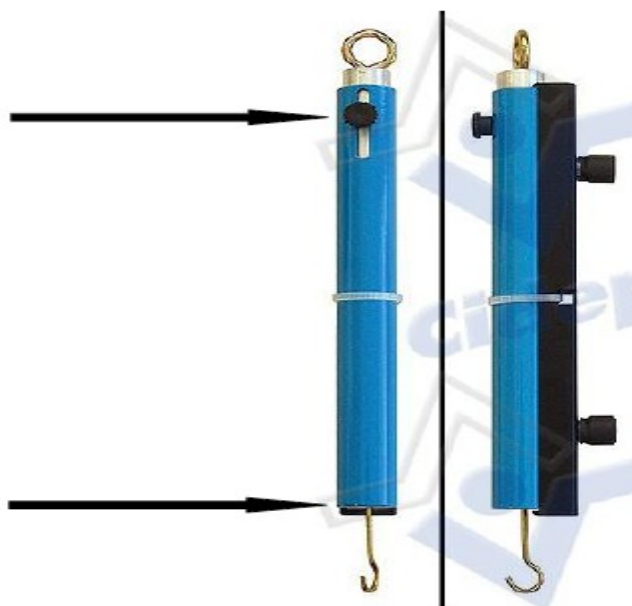
### 1 – Objetivos Gerais:

- Verificar a presença do empuxo em função da aparente diminuição da força peso de um corpo submerso num líquido;
- Verificar, experimentalmente a dependência do empuxo em função do volume do líquido deslocado e da densidade do líquido.

### 2 - Experimentos:

#### 2.1 - Zeramento inicial de um dinamômetro de Mola Helicoidal:

O dinamômetro é um medidor de forças que conforme o modelo, pode medi-la em qualquer direção. Neste experimento será usado um dinamômetro de mola helicoidal (Figura 1):



*Figura 1: Dinamômetro de mola helicoidal (Cidepe). Na Figura estão indicados o parafuso liberador da capa (extremidade superior) e o referencial (extremidade da capa); Na parte inferior sob a capa é possível ver a capacidade máxima de carga de cada dinamômetro.*

1. Verifique o “zero” do dinamômetro e, caso necessário execute a correção;

2. Faça o zeramento inicial (ajuste do zero) na posição em que o dinamômetro será utilizado (vertical, horizontal ou inclinado). Neste experimento ele será usado na posição vertical;
3. Solte o parafuso libertador da capa;
4. Movimente a capa para cima ou para baixo, **nivelando o primeiro traço da escala com a extremidade da capa** (nível de referência);
5. Como ler na escala do dinamômetro:
  - A escala dos dinamômetros (Cidepe) foi projetada com 100 divisões de 1 mm e cada divisão corresponde a 1/100 da capacidade da sua carga máxima;
  - Exemplo: Um dinamômetro de mola helicoidal de 2N de capacidade máxima de carga (será usado neste experimento), sob a ação de uma força, apresenta leitura de 20 pequenas divisões (ou 20 milímetros). Qual o módulo da força atuante?
  - $F = (2\text{N}/100 \text{ divisões}) \times (\text{no. de divisões}) = (0.02 \text{ N}) \times (20) = 0,40 \text{ N};$

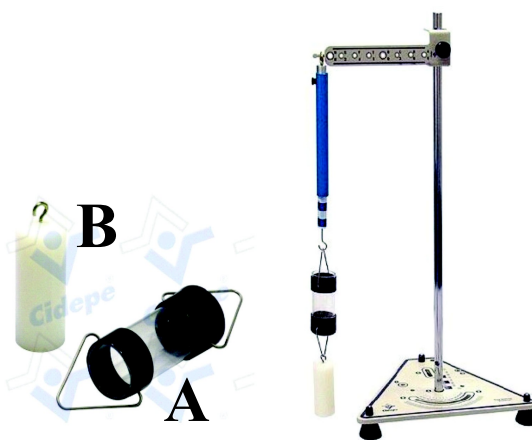
**Observação:** Podem ocorrer pequenas diferenças nas leituras realizadas por diferentes pessoas, devido à pequenas variações mecânicas.

## 2.2 - Comprovação experimental do empuxo:

**Atenção! Toda medida direta deve ser anotada com a respectiva incerteza do equipamento**

$\sigma_{ap}$

6. Meça o diâmetro interno e a profundidade da cavidade cilíndrica **A**, e o diâmetro externo e a altura do corpo de prova **B**(êmbolo), mostrado na fig. 2. Calcule o volume do corpo de prova e o volume interno da cavidade cilíndrica, com suas respectivas incertezas;
7. Determine o peso do êmbolo fora do líquido:  
 $P_{EFL}$  usando o dinamômetro;
8. Determine o peso da cavidade cilíndrica  $P_{cav}$  usando o dinamômetro;
9. Execute a montagem conforme a Figura 2. Dependure o êmbolo na parte inferior do cilindro e ambos ao dinamômetro;



**\*Ajuste a sustentação de modo que o êmbolo, quando pendurado, não toque a mesa;**

Figura 2: Montagem experimental para comprovação do empuxo

10. Mergulhe o êmbolo no becker com água (líquido A) e anote o valor lido como  $P_{ACJDL}$  : peso aparente do conjunto com o êmbolo dentro do líquido A ;

**\*Ajuste a sustentação de modo que o êmbolo, quando imerso em água, não toque o fundo do Becker**

11. Justifique a **aparente** diminuição ocorrida no peso do conjunto (êmbolo + cilindro) ao submergir o êmbolo na água (conhecido como peso aparente);
12. Determine o peso aparente do êmbolo dentro do líquido A:  $P_{AEDL}$  ;
13. Determine o módulo da força que provocou a aparente diminuição sofrida pelo peso do corpo: **Empuxo**;
14. Quais são a direção e o sentido do **empuxo** ?
15. Justifique o motivo pelo qual usamos a expressão “aparente diminuição sofrida pelo peso do corpo” e não “diminuição do peso do corpo”;

**2.3 - Princípio de Arquimedes:**

16. Com o êmbolo fora da água, marcar o nível do líquido no becker;
17. Recolocar o êmbolo no líquido, segundo a montagem da fig. 3, mantendo-o completamente submerso (sem tocar no fundo do becker), e marque o novo nível do líquido no becker;
18. Mantendo, ainda, o êmbolo completamente submerso recolha, com a seringa, água do becker e encha o cilindro (Figura 3). **Cuide para que o êmbolo não toque no fundo do becker.** Ao fazê-lo observe a leitura do dinamômetro, anote o valor ( $P_{ACAE}$  : peso aparente da cavidade + água + êmbolo submerso) e descreva o ocorrido;
19. Use a proveta para determinar o volume ( $V_{LD}$ ) e a massa ( $M_{LD}$ ) do líquido contido na cavidade cilíndrica. **CUIDADO PARA NÃO DEIXAR CAIR ÁGUA NA BALANÇA;**
20. É correto afirmar que o volume deslocado pelo êmbolo, quando completamente submerso, é igual ao volume interno do cilindro? Justifique sua resposta;
21. Com base em suas respostas, determine o peso do volume de líquido deslocado pelo êmbolo,  $P_{VLD}$ , quando completamente submerso;

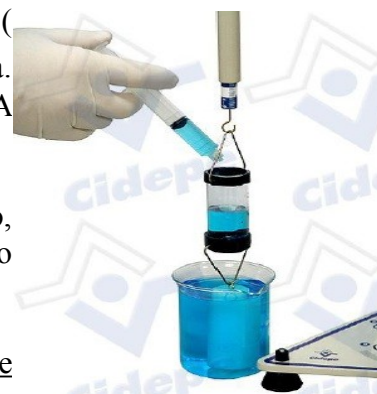


Figura 3: Enchendo o cilindro, enquanto o êmbolo esta submerso



22. Compare o peso do volume do líquido deslocado (pelo êmbolo submerso) com o valor do **empuxo**. O seu resultado satisfaz a afirmação: “todo corpo mergulhado em um fluido fica submetido à ação de uma força vertical, orientada de baixo para cima, denominada empuxo, cujo valor modular é igual ao peso do volume do fluido deslocado”;

**\*\*Antes de iniciar o item 23 seque o becker com o papel toalha para não misturar o líquido A (água) com o líquido B (glicerina).**

23. Determine o peso aparente do êmbolo dentro do líquido B,  $P_{AEDL(B)}$ , e em seguida o empuxo;
24. Repita os procedimentos descritos nos **itens 18, 19** acima usando o líquido B, de densidade desconhecida;
25. Determine a densidade do líquido B e sua incerteza, usando a equação para o Empuxo. Compare com o valor obtido usando  $\rho_B = \frac{M}{V}$ . **Não esqueça de medir o volume e a massa do líquido contido no cilindro de Arquimedes.**

### Tabelas: Experiência 3

**Tabela 1**

	Diâmetro (mm)	Altura/profundidade (mm)	Volume (mm <sup>3</sup> )
<b>Corpo de prova</b>			
<b>Cavidade cilíndrica</b>			

**Tabela 2**

Peso do êmbolo fora do líquido: $P_{EFL}$	
Peso da cavidade cilíndrica : $P_{cav}$	
Peso aparente do conjunto com êmbolo submerso: $P_{ACJDL}$	
Peso aparente do êmbolo dentro do líquido: $P_{AEDL}$	
Peso aparente da cavidade+água+êmbolo submerso: $P_{ACAE}$	
Volume de líquido na cavidade(deslocado): $V_{LD}$	
Massa de líquido na cavidade(deslocado): $M_{LD}$	
Peso aparente do êmbolo dentro líquido B: $P_{AEDL(B)}$	

### 3 – Introdução teórica:

Conta-se que na Grécia Antiga o Rei Hieron II de Siracusa apresentou um problema a Arquimedes, um sábio da época. O rei havia recebido a coroa de ouro, cuja confecção confiara a um ourives, mas estava desconfiado da honestidade do artesão. O ourives teria substituído parte do ouro que lhe foi entregue por prata.

Arquimedes foi encarregado de descobrir uma prova irrefutável do roubo. A lenda conta que o sábio teria descoberto o método de medir a densidade dos sólidos por imersão em água quando se banhava. Ele notou que o nível da água aumentou quando ele entrou na tina. Logo associou a quantidade de água deslocada com o volume da parte imersa do seu corpo.

Assim, comparando o efeito provocado pelo volume da coroa com o do volume de igual peso de ouro puro, ele poderia determinar a pureza da coroa. Nesse instante, pelo que consta historicamente, Arquimedes teria saído subitamente do banho e, ainda nu, teria corrido pelas ruas da cidade gritando "*eureka*, eu descobri!".

Arquimedes descobriu, enquanto tomava banho, que um corpo imerso na água se torna mais leve devido a uma força, exercida pelo líquido sobre o corpo, vertical e para cima, que alivia o peso do corpo. Essa força, do líquido sobre o corpo, é denominada **empuxo** ( $\vec{E}$ )

Pode-se afirmar que:

**Todo corpo mergulhado num fluido (líquido ou gás) sofre, por parte do fluido, uma força vertical para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.**

Portanto, num corpo que se encontra imerso em um líquido, agem duas forças: a força peso ( $\vec{P}$ ), devida à interação com o campo gravitacional terrestre, e a força de empuxo ( $\vec{E}$ ), devida à sua interação com o líquido.

Supondo um fluido com densidade  $\rho_f$ , em equilíbrio hidrostático no interior de um recipiente. Destacando uma porção do mesmo com volume  $V_f$ , como mostra a Figura 1.

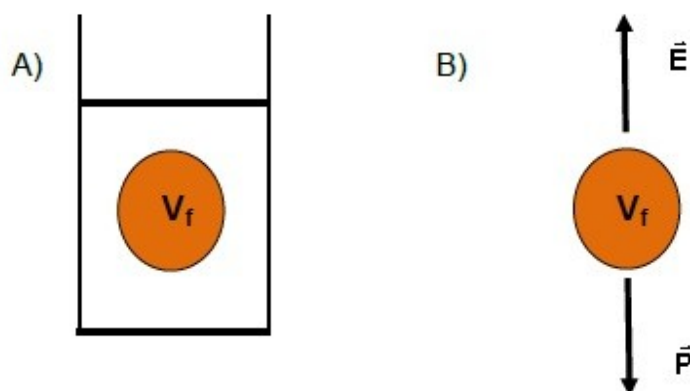


Figura 4: Representação das forças que atuam sobre um corpo submerso no interior de um líquido



Seja  $V_f$  o volume de fluido deslocado pelo corpo. Então a massa do fluido deslocado é dada por:

$$m_f = \rho_f V_f \quad (1)$$

A intensidade do empuxo é igual à do peso dessa massa deslocada:

$$E = m_f g = \rho_f V_f g \quad (2)$$

Para corpos totalmente imersos, o volume de fluido deslocado é igual ao próprio volume do corpo. Neste caso, a intensidade do peso do corpo e do empuxo são dadas por:

$$P = \rho_c V_c g \quad e \quad E = \rho_f V_c g \quad (3)$$

No caso do volume  $V_f$ , estar preenchido por outro corpo com densidade  $\rho_c$  diferente daquela do líquido  $\rho_f$  o empuxo não será alterado. Isto porque o será sempre o peso do fluido de densidade  $\rho_f$  deslocado pelo corpo de densidade  $\rho_c$  que foi introduzido no seu interior.

Conclui-se que:

- a) se  $\rho_f < \rho_c$ , tem-se  $E < P$ : neste caso, o corpo afundará no líquido.
- b) se  $\rho_f = \rho_c$ , tem-se  $E = P$ : neste caso, o corpo ficará em equilíbrio quando estiver totalmente mergulhado no líquido.
- c) se  $\rho_f > \rho_c$ , tem-se  $E > P$  e, neste caso, o corpo permanecerá boiando na superfície do líquido.

#### 4. Bibliografia

1. Livro de Atividades Experimentais – Física Experimental: Mecânica dos Fluidos – Conjunto hidrostático – EQ033A (Cidepe).
2. Robert Resnick, David Halliday & Kenneth S. Krane: Física II, 5a. edição. Editora LTC.