



## DENSIDADE E EMPUXO

### 1. INTRODUÇÃO

O estudo dos fluidos, sejam eles líquidos ou gases, é fundamental para compreender uma vasta gama de fenômenos naturais e aplicações tecnológicas. Dentro desse campo, dois conceitos interligados e de grande importância são a **densidade** e o **empuxo**, este último magistralmente descrito pelo **Princípio de Arquimedes**. A compreensão dessas grandezas nos permite explicar por que alguns objetos flutuam enquanto outros afundam, como navios colossais conseguem navegar e como balões de ar quente se elevam aos céus (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

A **densidade**, ou **massa específica** ( $\rho$ ) de um corpo é uma propriedade fundamental que relaciona sua **massa** ( $m$ ) ao seu **volume**  $V$ , sendo expressa por:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Tabela 1: Densidade de algumas substâncias

Material	Densidade $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Cobre	8,93
Ferro	7,87
Aço	7,85
Alumínio	2,70
Água	1,00

Fonte: Halliday; Resnick; Walker (2016)

Essa grandeza nos permite entender o quão “compacta” é a matéria e é uma propriedade crucial para determinar o comportamento de um objeto quando imerso em um fluido.

De acordo com o *Princípio de Pascal*, quando imerso em um fluido, um corpo sofre a ação de pressões sobre sua superfície, maiores em sua parte inferior do que em sua parte superior. Como consequência, o corpo sofre ação de uma força vertical para cima, denominada **empuxo** (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

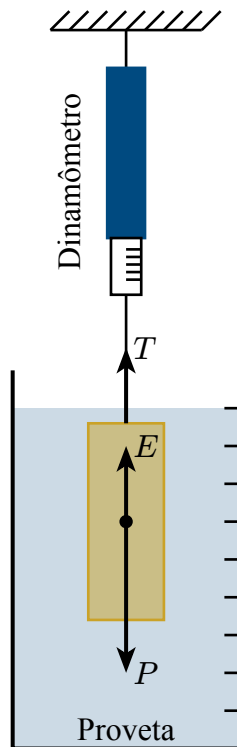
Esse fenômeno é governado pelo *Princípio de Arquimedes*, de acordo com o qual o empuxo sobre um corpo imerso num fluido é uma força cujo módulo ( $E$ ) é igual ao peso do volume de fluido deslocado pelo corpo no processo de imersão. Além disso, como dito acima, esta força tem direção vertical e sentido orientado para cima.

$$E = \rho_f g V_{des} \quad (2)$$

em que  $\rho_f$  é a densidade do fluido,  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  é a aceleração da gravidade local e  $V_{des}$  é o volume de fluido deslocado.

Para demonstrar esse fato, consideremos um corpo de massa  $m$ , volume  $V$  e densidade  $\rho = \frac{m}{V}$ , totalmente submerso em água e sustentado por um fio conectado a um dinamômetro.

Figura 1: Aparato experimental



Fonte: Labfis (2025)

Como ilustrado na Figura 1, sobre o corpo atuam três forças. Além da força de empuxo  $E$ , definida pela Equação 2, atuam a força peso  $P$  devido a atração gravitacional terrestre, cujo módulo é dado por

$$P = mg \quad (3)$$

e a tensão  $T$  no fio, cujo valor é registrado pelo dinamômetro. Dado que o corpo está em equilíbrio, podemos escrever:

$$\begin{aligned} T + E &= P \Rightarrow T + \rho_f g V_{des} = mg \\ \Rightarrow T + \rho_f g V &= (\rho V)g \\ \Rightarrow \rho &= \rho_f + \frac{T}{gV} \end{aligned} \quad (4)$$

Observe que no desenvolvimento acima, utilizamos a definição de densidade para substituir a massa  $m$  ( $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V$ ). Além disso, dado que o corpo está totalmente submerso, temos que o volume deslocado é igual ao volume do corpo ( $V_{des} = V$ ).

## 2. OBJETIVOS

- 2.1. Compreender os conceitos de densidade e empuxo;
- 2.2. Confirmar que o empuxo é igual ao peso do fluido deslocado;
- 2.3. Calcular a densidade de corpos de prova de materiais por métodos diferentes;

## 3. MATERIAL NECESSÁRIO

- Paquímetro ou régua milimetrada;
- Proveta graduada em mililitros;
- Água;
- Balança digital;
- Corpos de prova de materiais distintos.

## 4. PROCEDIMENTOS

### 4.1. PRIMEIRA PARTE

Nesta etapa o aluno deverá determinar a densidade de diferentes materiais utilizando a definição desta grandeza dada pela Equação 1.

- 4.1.1. Ordene os corpos de prova conforme suas características visuais.
- 4.1.2. Com a balança digital, meça as massas de cada corpo de prova. Anote os resultados na Tabela 2.
- 4.1.3. Adicione água na proveta até a marcação de  $V_i = 70$  ml.
- 4.1.4. Cuidadosamente, mergulhe completamente cada um dos corpos de prova e verifique a marcação  $V_f$  na proveta.

#### Atenção

Cada “traço” na escala da proveta equivale a 1 ml.  
Conversão:  $1 \text{ ml} \equiv 1 \text{ cm}^3$

- 4.1.5. Calcule o volume dos corpos de prova  $V = V_f - V_i$ . Converta o resultado de mililitros (ml) para centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ ).

#### 4.1.6. Usando a Equação 1, calcule a densidade de cada um dos corpos de prova.

Tabela 2: Coleta de dados - Primeira Parte

	$m(\text{g})$	$V_i(\text{ml})$	$V_f(\text{ml})$	$V(\text{cm}^3)$	$\rho(\text{g/cm}^3)$
1					
2					
3					

## 4.2. SEGUNTA PARTE

Nesta etapa o aluno deverá determinar a densidade de diferentes materiais utilizando o Princípio de Arquimedes e a Equação 4.

- 4.2.1.** Execute os passos seguintes com os corpos de prova na mesma ordem da Primeira Parte.
- 4.2.2.** Cuidadosamente, conecte o primeiro corpo de prova ao dinamômetro.
- 4.2.3.** Ajuste a altura do sistema até que o corpo de prova fique completamente submerso na água.

### Atenção

- Faça a leitura da força de tensão na escala em **Newton**;
- Cada “traço” na escala do dinamômetro equivale a 0,02N. Por exemplo, se a leitura indica o terceiro traço após 1N, o valor da força de tensão será:

$$1 + 3 \cdot 0,02 = 1,06\text{N}$$

- 4.2.4.** Faça a leitura da força de tensão  $T$  mascarada no dinamômetro. Anote o resultado na
- 4.2.5.** Colete o volume  $V$  de cada corpo de prova obtido na Tabela 2. Converta a unidade de ml para  $\text{m}^3$  e anote no campo correspondente da Tabela 3.
- 4.2.6.** Utilizando a Equação 4, deduzida a partir do Princípio de Arquimedes, calcule a densidade de cada corpo de prova.
- 4.2.7.** Converta o valor encontrado para a densidade de cada corpo de prova de  $\text{kg/m}^3$  para  $\text{g/cm}^3$  (Lembre-se que  $1\text{kg/m}^3 \equiv 10^{-3}\text{g/cm}^3$ ).

Tabela 3: Coleta de dados - Segunda Parte

	$T(\text{N})$	$V(\text{m}^3)$	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$\rho(\text{g/cm}^3)$
1				
2				
3				

## 5. ANÁLISE DE DADOS

Nesta seção, consideraremos os valores de densidade encontrados na Primeira Parte como *valores esperados* para a densidade de cada corpo de prova, representando-os por  $\rho_{esp}$ . Em contrapartida, os valores encontrados na Segunda Parte serão nossos *valores experimentais*, representados por  $\rho_{exp}$ .

Vamos avaliar a qualidade do experimento, calculando o erro percentual por meio da fórmula:

$$\text{erro } (\%) = \frac{|\rho_{esp} - \rho_{exp}|}{\rho_{esp}} \cdot 100\% \quad (5)$$

- 5.1.** Colete os valores da densidade de cada corpo de prova na Primeira Parte e anote no campo correspondente da Tabela 4. Repita com os dados de densidade da Segunda Parte.
- 5.2.** Usando a Equação 5, calcule o erro percentual erro (%) na determinação da densidade de cada corpo de prova.
- 5.3.** Você é capaz de determinar o material de que cada corpo de prova é feito? Discuta os resultados.

Tabela 4: Análise do erro experimental

	Primeira Parte $\rho_{esp}(\text{g/cm}^3)$	Segunda Parte $\rho_{exp}(\text{g/cm}^3)$	erro (%)	Material
1				
2				
3				

## REFERÊNCIAS

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 2