

## Atividade Prática de Sala de Aula

### APSA A-2.1: Coletor Solar

**Questão-problema:** Como obter água aquecida a partir da radiação solar?

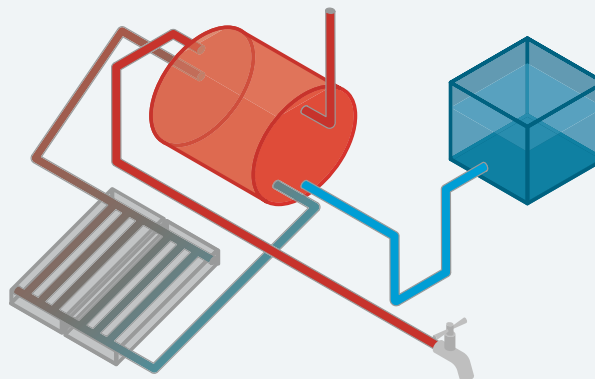
**Objetivo:** Exploração do funcionamento de um coletor solar, tendo em conta os conhecimentos de termodinâmica apreendidos.

**Recursos:**

- Papel/cartão

**Procedimento:**

1. Construa uma maquete de um coletor solar, identificando os principais constituintes e a sua função, tendo por base as informações seguintes.



O funcionamento de um coletor solar resume-se no seguinte: a radiação solar atinge as placas do coletor aquecendo-as e a um fluido, normalmente água e glicol, que circula no interior de tubos. A tampa do coletor é opaca à radiação IV, para reduzir as emissões dos tubos absorvedores, sendo a restante superfície do coletor coberta por material isolante. Este fluido percorre um circuito fechado, muitas vezes com a ajuda de um sistema de bombagem. O tubo que o constitui, em geral de cobre e coberto de negro, penetra num reservatório de água, aquecendo-a, por transferência de calor. O aquecimento do tubo de cobre, do fluido e da água é feito por condução.

## Atividade Prático-Laboratorial

### APL A-2.1: Balanço energético num sistema termodinâmico

**Questão-problema:** Como medir a quantidade de energia transferida quando se coloca gelo num copo com água?

**Objetivo:** Identificação da expressão  $Q = m L$  para determinar a quantidade de energia necessária à mudança de estado físico, onde  $m$  representa a massa e  $L$  o calor latente de fusão ou de ebulição característico de cada substância.

Aplicação da Lei da Conservação da Energia, para estabelecer o balanço energético.

#### Questões pré-laboratoriais:

1. Identifique a mudança de estado envolvida.

#### Recursos:

- Termómetro ou sensor de temperatura
- Gobelé
- Vareta
- Balança
- Cubos de gelo
- Água

#### Procedimento:

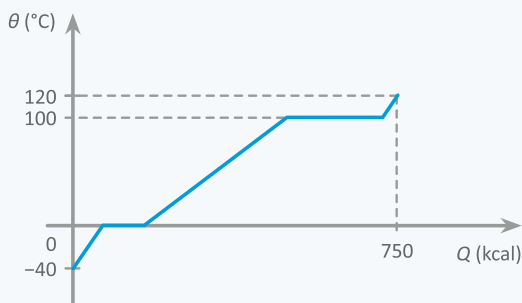
1. Meça 100 g de água.
2. Parta o gelo em pedaços pequenos com a massa de cerca de 20 g.
3. Meça a temperatura da água e junte o gelo.
4. Agite e quando o gelo tiver derretido meça a temperatura de equilíbrio térmico.

#### Questões pós-laboratoriais:

1. Estabeleça a expressão para o equilíbrio térmico, considerando 3 parcelas: a energia envolvida na mudança de estado, a energia que o gelo depois de fundido recebeu para atingir a temperatura de equilíbrio e a energia cedida pela água.
2. Determine a temperatura de equilíbrio térmico esperada, considerando  $L_{\text{fusão}}$  do gelo  $3,3 \times 10^5$  J/kg e  $c_{\text{água}} = 4,2 \times 10^3$  J·kg<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>.
3. Compare o valor obtido experimentalmente com o previsto e calcule a percentagem de erro.

## Questão Resolvida

1. A quantidade de calor que um bloco de gelo inicialmente a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  recebe para chegar a ser vapor a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  é mostrado no gráfico.



Dados:

$$L_{f_{\text{gelo}}} = 80 \text{ cal/g}$$

$$L_{v_{\text{água}}} = 540 \text{ cal/g}$$

$$c_{\text{gelo}} = c_{\text{vapor}} = 0,50 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{água líquida}} = 1,0 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$$

Calcule a massa do bloco de gelo.

### Resolução:

1. O calor recebido inclui vários termos: enquanto gelo para atingir a temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o calor necessário para a fusão, o necessário para a água líquida atingir  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o calor necessário para a vaporização, e o necessário para o vapor atingir  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

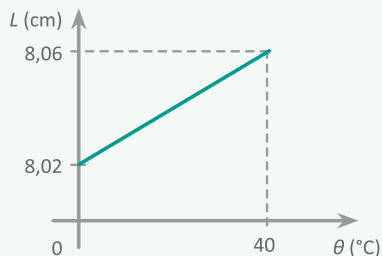
$$Q = Q_s + Q_f + Q_l + Q_v + Q_g$$

$$750 \times 10^3 = m (0,50 \times 40 + 80 + 1,0 \times 100 + 540 + 0,50 \times 20), \text{ logo } m = 1000 \text{ g.}$$

## Resumo

- Dilatação térmica é o aumento do volume de um corpo ocasionado pelo aumento da sua temperatura.
- A dilatação linear nos sólidos é expressa por  $\Delta L = \alpha L_0 \Delta \theta$ .
- A dilatação volumétrica é expressa por  $\Delta V = \gamma V_0 \Delta \theta$ .
- A água tem um comportamento de exceção, pois quando se aquece de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , diminui de volume.
- A capacidade térmica mássica de uma substância exprime a quantidade de energia que é necessário transferir por unidade de massa para variar a temperatura de  $1\text{ K}$  (ou de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- O calor transfere-se por condução ou convecção.
- A energia transferida, como calor, por unidade de tempo pode ser expressa por  $\frac{Q}{\Delta t} = k_T A \frac{T_2 - T_1}{L}$ .
- A Primeira Lei da Termodinâmica é expressa por  $\Delta E_i = Q + W + R$ .
- A Segunda Lei da Termodinâmica estabelece que os processos espontâneos, irreversíveis, evoluem no sentido em que há um aumento de entropia.
- As máquinas térmicas convertem calor em trabalho, com rendimento inferior a 100%.

## Questões para Resolver



1. O gráfico mostra como varia o comprimento de uma barra metálica em função da temperatura.

1.1. Determine o coeficiente de dilatação linear médio do metal, no intervalo de temperatura considerado.

1.2. Considerando que o material mantém as mesmas características para  $\theta > 40$  °C, calcule o comprimento da barra a 70 °C.

2. Uma barra de metal possui comprimento  $L$  a 20 °C. Quando esta barra é aquecida até 120 °C, o seu comprimento varia de  $10^{-3} L$ . Calcule o coeficiente de dilatação do metal.

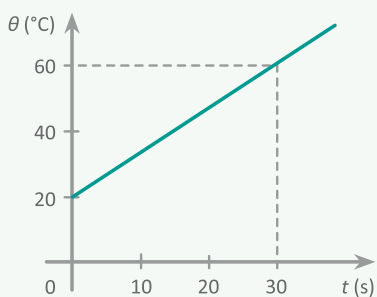
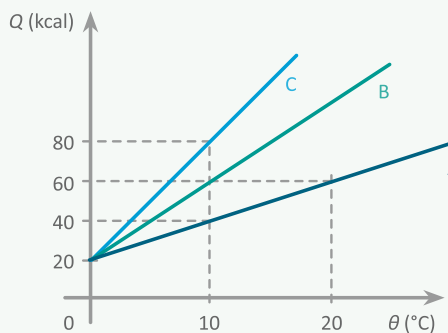
3. O coeficiente de dilatação volumétrica do azeite é de  $8,0 \times 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$ .

Determine, em  $\text{cm}^3$ , a variação de volume de 1 litro de azeite, quando este sofre um acréscimo de temperatura de 30 °C.

4. O gráfico mostra a quantidade de calor absorvida por três corpos A, B e C em função da temperatura.

Calcule, para cada um dos corpos, a capacidade térmica mássica das substâncias que os constituem.

Considere  $m_A = m_B = 20$  g,  $m_C = 10$  g e  $1 \text{ cal} = 4,18$  J.



5. Um corpo de massa 200 g é aquecido por uma fonte de potência constante e igual a 800 J/s. O gráfico mostra como varia, no tempo, a temperatura do corpo. Determine a capacidade térmica mássica, no SI, da substância que constitui o corpo.

6. Uma peça de prata de massa 20 g a 160 °C é colocada em 28 g de água inicialmente a 30 °C.

Calcule a temperatura de equilíbrio térmico, admitindo apenas trocas de calor entre a prata e a água.

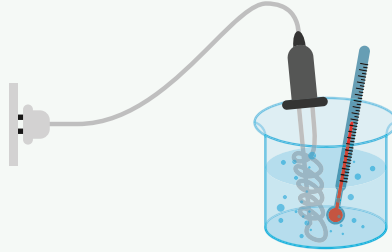
Considere:

Capacidade térmica mássica da prata =  $0,235 \text{ J/g} \cdot \text{°C}$ .

Capacidade térmica mássica da água =  $4,2 \text{ J/g} \cdot \text{°C}$ .



7. Aqueceu-se 100 mL de água, inicialmente a 15 °C, utilizando uma resistência de 600 W durante 30 s. Admitindo que não houve perdas de energia, determine a temperatura final da água. Considere  $\rho_{H_2O} = 1,0 \text{ g/cm}^3$  e  $c_{H_2O} = 4,2 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .



8. Num dado instante, duas varas, uma de alumínio e outra de ferro com a mesma espessura e comprimento possuem a mesma diferença de temperatura entre os respectivos extremos. Compare a quantidade de energia transferida, por unidade de tempo, de um extremo ao outro de cada uma das varas. Considere  $k_{T \text{ alumínio}} = 237 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  e  $k_{T \text{ ferro}} = 80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

9. Sobre um sistema, realiza-se um trabalho de 3000 J e, em resposta, ele fornece 1000 cal de calor durante o mesmo intervalo de tempo. Considerando que a energia interna do sistema não variou, calcule a radiação transferida e indique o sentido dessa transferência.

Considere  $1,0 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ .

10. Numa máquina térmica são fornecidos 3 kJ de calor pela fonte quente para o início do ciclo e 780 J passam para a fonte fria.

10.1. Calcule o trabalho realizado pela máquina, se considerarmos que toda a energia que não é transformada em calor passa a realizar trabalho.

10.2. Determine o rendimento da máquina térmica.

11. Numa instalação solar de aquecimento de água para consumo doméstico, os coletores solares ocupam uma área total de 4,0 m<sup>2</sup>. Em condições atmosféricas adequadas, a radiação solar absorvida por estes coletores é, em média, 800 W/m<sup>2</sup>. Considere um depósito, devidamente isolado, que contém 150 kg de água.

Verifica-se que, ao fim de 12 horas, durante as quais não se retirou água para consumo, a temperatura da água do depósito aumentou 30 °C.

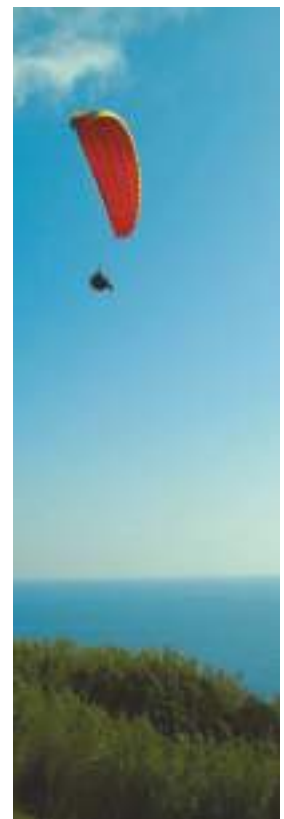
Calcule o rendimento associado a este sistema solar térmico.

Apresente todas as etapas de resolução.

Considere  $c_{H_2O} = 4,2 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$ .

## O B J E T I V O S

- Explicar o conceito de pressão.
- Caracterizar a grandeza vetorial impulsão.
- Aplicar as leis da Hidrostática a aparelhos hidráulicos.
- Interpretar o equilíbrio de corpos flutuantes.
- Aplicar a Equação da Continuidade a situações do dia a dia.
- Interpretar situações do dia a dia, com base na Equação de Bernoulli.



## Unidade Temática B | Os Fluidos na Terra

B-0 Interações em Fluidos

B-1 Hidrostática

B-2 Hidrodinâmica

*«Eureka! Eureka!»* Arquimedes

## Unidade Temática B | Os Fluidos na Terra

Esta unidade compreende duas grandes áreas: a Hidrostática e a Hidrodinâmica. Inicia-se no estudo da Hidrostática, isto é, na análise de fluidos em equilíbrio estático, seguindo-se o estudo de fluidos em movimento, Hidrodinâmica.

Para o estudo dos fluidos é fundamental recordar as noções de densidade relativa, massa volúmica, pressão e impulsão.

### B-0 Interações em Fluidos

#### 1 Densidade ou massa volúmica

##### O que é a densidade?

A densidade ou massa volúmica,  $\rho$ , de uma substância é uma grandeza física cujo valor se determina pelo quociente da massa de uma porção de substância pelo seu volume,

$$\rho = \frac{m}{V}$$

onde  $m$  é a massa da substância e  $V$  o seu volume. A densidade vem expressa em quilograma por metro cúbico,  $\text{kg}/\text{m}^3$ , no Sistema Internacional de Unidades. Habitualmente, a densidade é também expressa em gramas por centímetro cúbico,  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

Cada substância tem um valor característico para a densidade, a determinada temperatura, que permite identificá-la. Na tabela 7 estão indicadas as densidades de alguns materiais.

Sólidos		Líquidos		Gases	
Material	$\rho$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Material	$\rho$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Material	$\rho$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )
Alumínio	$2,7 \times 10^3$	Água (a 4 °C)	$1,03 \times 10^3$	Ar	1,293
Chumbo	$11,3 \times 10^3$	Álcool etílico	$0,79 \times 10^3$	Azoto	1,250
Cortiça	$0,24 \times 10^3$	Azeite	$0,92 \times 10^3$	Hélio	0,179
Ferro	$7,9 \times 10^3$	Mercúrio	$13,6 \times 10^3$	Hidrogénio	0,090
Gelo	$0,92 \times 10^3$			Oxigénio	1,429
Ouro	$19,3 \times 10^3$			Vapor de água	0,807

Tabela 7 – Massa volúmica de alguns materiais à temperatura de 0 °C e à pressão normal.

Define-se também a densidade relativa de um material,  $d$ , como a razão entre a massa volúmica do material e a massa volúmica de um material padrão,

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{padrão}}}$$

Este valor permite indicar se um material é mais ou menos denso do que o material tomado como padrão.

No caso de sólidos e líquidos usa-se como padrão a densidade da água. A 4 °C e à pressão atmosférica normal, o valor é 1,03 g/cm<sup>3</sup>, e à temperatura de 25 °C, é 1,00 g/cm<sup>3</sup>. Nos gases, o padrão é o ar nas mesmas condições de pressão e temperatura do gás. Nas condições normais de temperatura e pressão (PTN, temperatura de 0 °C e pressão atmosférica 101325 Pa) a densidade do ar é 1,293 kg/m<sup>3</sup>.

A densidade de uma substância composta ou de uma mistura, é a média ponderada das densidades dos componentes da mistura.

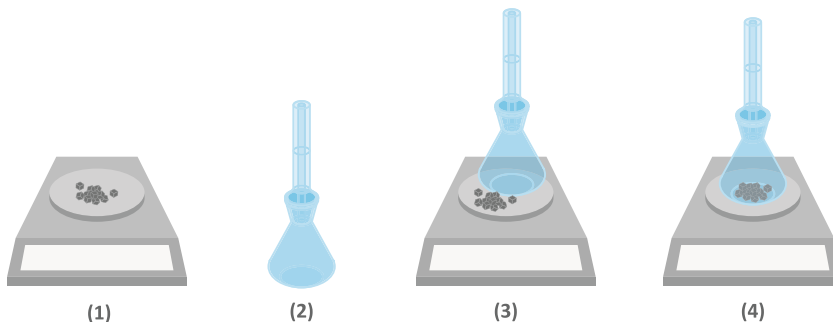
A densidade permite explicar a flutuação dos corpos. Na água, os corpos flutuam quando são constituídos por materiais menos densos do que a água. Por outro lado, vão ao fundo quando são constituídos por materiais mais densos do que a água.

### Como determinar o valor da densidade de um sólido? E de um líquido?

Na determinação da densidade de alguns materiais podem ser utilizados diferentes processos:

#### A – Picnómetro para sólidos

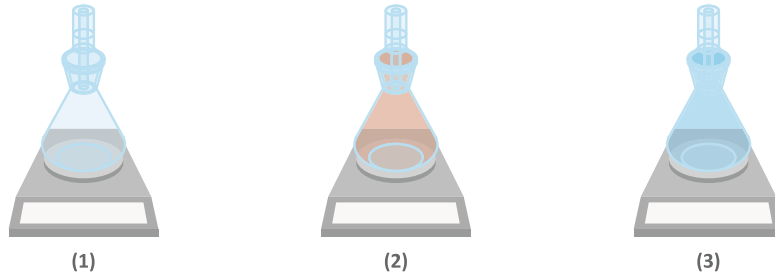
- Mede-se a massa  $m$  do sólido (1).
- Enche-se o picnómetro com água até ao traço de referência (2).
- Determina-se a massa  $M$ , do picnómetro cheio de água mais o corpo sólido ao lado (3).
- Introduce-se o sólido no picnómetro e corrige-se o nível de água se necessário.
- Determina-se a massa,  $M'$ , do conjunto (4).



A densidade relativa do material de que é feito o sólido, é obtida a partir da expressão  $d = \frac{m}{M - M'}$ .

#### B – Picnómetros para líquidos

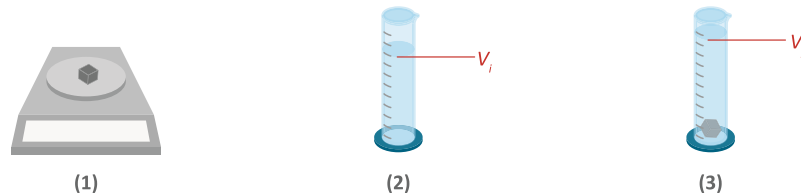
- Determina-se a massa do picnómetro vazio,  $m$  (1).
- Enche-se o picnómetro com o líquido cuja densidade se pretende determinar.
- Determina-se a massa,  $M$ , do picnómetro com o líquido (2).
- Enche-se o picnómetro com água.
- Determina-se a massa,  $M'$ , do picnómetro com água (3).



A densidade relativa do líquido é obtida através da expressão  $d = \frac{M - m}{M' - m}$ .

### C – Deslocamento de água

- Determina-se a massa,  $m$ , do sólido (1).
- Coloca-se na proveta um volume,  $V_i$ , de água (2).
- Introduz-se o sólido na proveta e regista-se o volume,  $V_f$ , da água na proveta (3).
- Determina-se o volume do sólido,  $V = V_f - V_i$ .

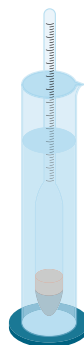


O valor da densidade do material de que é feito o sólido é obtido através da expressão  $\rho = \frac{m}{V}$ .

### D – Densímetro

Os densímetros são instrumentos que determinam diretamente a densidade de líquidos.

São constituídos por um tubo estreito e graduado na parte superior e mais largo na parte inferior, no fundo do qual existe uma bola de metal.



Funcionam de forma muito simples. Introduz-se o densímetro no líquido que mergulha tanto mais quanto menos denso for esse líquido. O valor da densidade é lido diretamente na escala.

## Questão Resolvida

1. Um anel tem a massa de 8,0 g e o seu volume é de 0,57 cm<sup>3</sup>.

1.1. Calcule a densidade do material de que é feito o anel.

1.2. O anel será de ouro puro? Justifique.

### Resolução:

1.1.  $m = 8,0 \text{ g} = 8,0 \times 10^{-3} \text{ kg}$  e  $V = 0,57 \text{ cm}^3 = 0,57 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ .

A densidade ou massa volúmica do anel é  $\rho = \frac{m}{V}$ , e substituindo,

$$\rho = \frac{8,0 \times 10^{-3}}{0,57 \times 10^{-6}} = 14 \times 10^3 \text{ kg/m}^3.$$

1.2. O anel é feito de um material cuja densidade é  $14 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Não é de ouro puro, pois a densidade do ouro é  $19,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , de acordo com a tabela 7.

## 2 Pressão e força de pressão

A pressão está presente no nosso dia a dia: nos mapas de pressão atmosférica, quando se verifica a pressão dos pneus dos motociclos, a pressão sentida durante um mergulho no mar, a pressão sentida nos tímpanos após alteração abrupta de altitude, etc.

### O que é a pressão?

A pressão é uma grandeza escalar que relaciona a intensidade das forças exercidas e a área das superfícies onde essas forças atuam. O valor da pressão é dado pelo quociente entre o módulo da força perpendicular à superfície,  $|\vec{F}| = F$ , e a área da superfície,  $A$ .

$$P = \frac{F}{A}$$

Assim, para a mesma força, a pressão será tanto maior quanto menor for a área da superfície de contacto. Para a mesma área da superfície de contacto, será tanto maior quanto maior for a intensidade da força exercida.

A unidade de pressão, no Sistema Internacional de Unidades, é o newton por metro quadrado, N/m<sup>2</sup>, designado por pascal, Pa. Além do pascal, são comuns outras unidades como a atmosfera, o bar, e o milímetro de mercúrio.

A tabela 8 indica a relação destas unidades com o pascal.

Unidade	Símbolo	Valor
bar	bar	1 bar = $10^5$ Pa
atmosfera	atm	1 atm = $1,013 \times 10^5$ Pa
milímetro de mercúrio	mm Hg (ou torr)	1 mm Hg = 133,322 Pa
centímetro de mercúrio	cm Hg	1 cm Hg = 1333,22 Pa

Tabela 8 – Conversão de unidades de pressão.

#### A saber:

*Quando se aumenta a pressão e se comprime um fluido, a sua densidade varia, pois o volume a ocupar pela mesma massa é menor. Para os gases, esta variação é grande, mas é pequena em muitos líquidos.*

Quando se altera abruptamente a altitude, durante a aterragem de um avião, ou se pratica mergulho, a pressão que o fluido exerce sobre os tímpanos varia, causando uma sensação de desconforto. A compressão nos tímpanos é devida à força de pressão.

A **força de pressão**,  $\vec{F}$ , é sempre perpendicular à superfície, e a sua intensidade é  $F = p A$ .

### Questão Resolvida

1. Uma piscina com 3,0 metros de comprimento e 2,0 metros de largura contém  $8,0 \times 10^3$  litros de água. Determine a pressão hidrostática exercida pela água, no fundo do tanque. Use  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

#### Resolução:

1. Usando  $\rho_{\text{água}} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  e  $V = 8,0 \times 10^3 \text{ dm}^3 = 8,0 \text{ m}^3$ ,

$$F = P = m g = \rho_{\text{água}} V g = 1,00 \times 10^3 \times 8,0 \times 10 = 8,0 \times 10^4 \text{ N.}$$

$$A = 3,0 \times 2,0 = 6,0 \text{ m}^2.$$

Assim,

$$P = \frac{F}{A} = 13,3 \times 10^3 \text{ Pa.}$$



### 3 Impulsão

Quando se mergulha um objeto em água, tem-se a sensação de que se torna mais leve. Parece que algo empurra o corpo para cima, contrariando o seu peso.

#### Qual a origem desta força?

Um corpo total ou parcialmente imerso num fluido está sujeito, em cada ponto da sua superfície, a forças de pressão perpendiculares a esta. A resultante de todas estas forças chama-se impulsão e consiste na força que atua contra a força da gravidade, sobre um corpo imerso num fluido. É assim, uma força vertical, dirigida de baixo para cima.

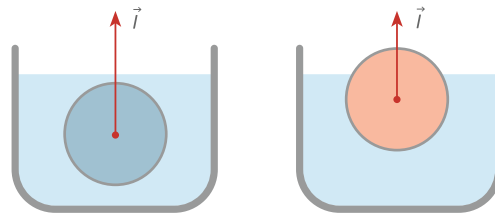


Figura 35 – Um corpo total ou parcialmente submerso sofre impulsão.

O valor da impulsão pode ser determinado experimentalmente. Com o auxílio de um dinamómetro mede-se o peso do corpo no ar, que é o peso real, e o peso do corpo imerso num fluido, que é o peso aparente.

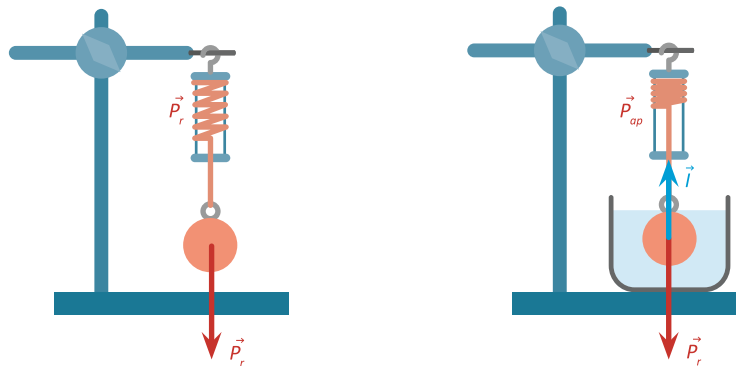
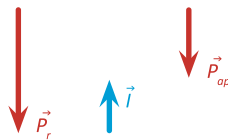


Figura 36 – Como calcular a impulsão.

O peso aparente,  $P_{ap}$ , é a resultante de duas forças com sentidos opostos, o peso real,  $P_r$ , e a impulsão,  $I$ ,



pelo que,

Peso aparente = Peso real – Impulsão

$$P_{ap} = P_r - I$$

Experimentalmente, pode-se ainda verificar que a impulsão depende da densidade do fluido. Mergulhando um mesmo corpo, em água salgada e em água destilada, sofre impulsões diferentes. Verifica-se que na água salgada, que é mais densa, a impulsão é maior.

## Questão Resolvida

1. Introduziu-se um corpo com o peso de 1,6 N, suspenso de um dinamómetro, num recipiente com um fluido, como se mostra na figura. Recolhe-se o líquido deslocado numa proveta graduada. Use  $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

1.1. Indique o peso real do corpo.

1.2. Determine a intensidade da impulsão que o fluido exerce sobre o corpo.

1.3. Calcule a densidade do material de que é feito o corpo.

### Resolução:

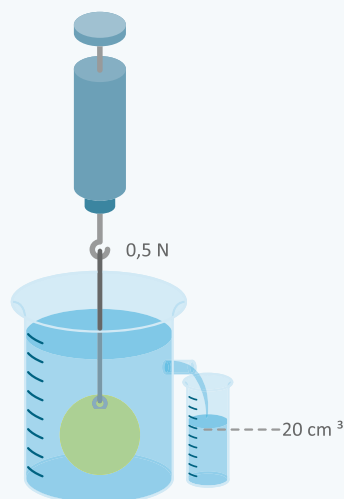
1.1. 1,6 N.

1.2. Impulsão = Peso real – Peso aparente = 1,6 – 0,5 = 1,1 N.

1.3. O volume do corpo é igual ao volume de fluido deslocado, ou seja  $V = 20 \text{ cm}^3$ . A sua massa é

$$m = \frac{P}{g}, \text{ logo } m = 0,16 \text{ kg} = 160 \text{ g.}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{160}{20}, \rho = 8,0 \text{ g/cm}^3.$$



## Resumo

- A densidade ou massa volúmica de um material é determinada pelo quociente da massa de uma porção de material pelo seu volume,  $\rho = \frac{m}{V}$ .
- As substâncias têm valores característicos para a densidade, que permite identificá-las.
- A densidade explica a flutuação dos corpos, num fluido.
- A pressão é dada pelo quociente entre o módulo da força perpendicular à superfície e a área da superfície  $p = \frac{F}{A}$ .
- A impulsão é uma força vertical, com sentido de baixo para cima, exercida em todos os corpos pelos líquidos ou pelos gases em que se encontram.
- O valor da impulsão depende do volume dos corpos imersos em fluidos e da densidade do fluido, líquido ou gás, em que os corpos se encontram.

## Questões para Resolver

1. Sabendo que a densidade absoluta do ferro é  $7,80 \text{ g/cm}^3$ , determine a massa de uma chapa de ferro de volume  $650 \text{ cm}^3$ .
2. A Fátima, com uma massa de  $52 \text{ kg}$  exerceu uma força perpendicular sobre o pé do Simão. Sabendo que o salto do sapato da Fátima tem  $2,0 \text{ mm}^2$ , determine a pressão que o salto exerce sobre o pé do Simão.
3. Um corpo pesa  $0,25 \text{ N}$ . Quando colocado dentro de água, suspenso de um dinamômetro, este marca  $0,10 \text{ N}$ .
  - 3.1. Caracterize o vetor impulsão.
  - 3.2. Calcule a massa do corpo.
4. Nos submarinos os tanques de lastro permitem submergir e emergir. Quando estão cheios de água os submarinos afundam. Para subir, a água é bombeada para o exterior, ficando os lastros cheios de ar. Tendo em conta o peso real, peso aparente e impulsão, explique o funcionamento dos submarinos.
5. Considere um anel de ouro com uma pedra de quartzo de massa total igual a  $2,0 \text{ g}$  e de densidade relativa igual a  $8,0$ . Sabendo que as densidades relativas do ouro e do quartzo são, respetivamente iguais a  $20,0$  e  $4,0$ , determine a massa de quartzo contida no anel.

## B-1 Hidrostática

### 1 Noção de fluido

O sangue, o mar, a atmosfera, são fluidos essenciais à nossa existência.

#### O que é um fluido?

A designação genérica de fluido aplica-se às substâncias que, em condições normais de pressão e temperatura, se encontram no estado líquido ou gasoso.

#### Nota:

*O que distingue os líquidos dos gases é essencialmente as interações entre as respetivas moléculas, que depende da distância média entre elas. Esta interação é mais fraca nos gases que nos líquidos, por isso os primeiros são mais facilmente compressíveis.*

### 2 Lei Fundamental da Hidrostática

Considere-se um líquido homogéneo, de massa volúmica constante,  $\rho$ , em equilíbrio hidrostático. Neste fluido isola-se uma porção com forma de um cilindro de altura  $h$  e área da base  $A$ , como se mostra na figura 37.

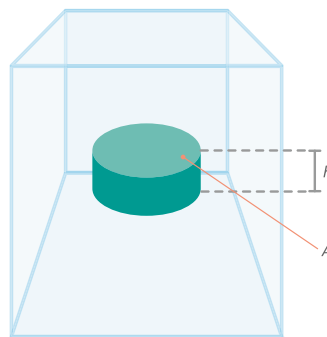


Figura 37 – Líquido homogéneo, no qual se destaca um cilindro.

Como o fluido se encontra em repouso, pela Lei da Inércia, a resultante de todas as forças aplicadas sobre a porção de fluido é zero.

A análise das forças aplicadas sobre a porção de fluido selecionada mostra que esta fica sujeita ao peso e às forças de pressão.

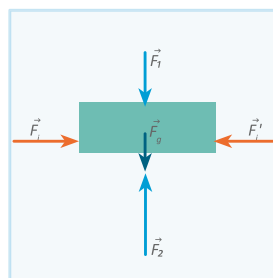


Figura 38 – Forças que atuam sobre a porção do fluido:  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  – forças de pressão verticais;  $\vec{F}_l$  e  $\vec{F}_l'$  – forças de pressão laterais;  $\vec{F}_g$  – força da gravidade.

A resultante das forças é nula, isto é, o somatório das forças é igual a zero.

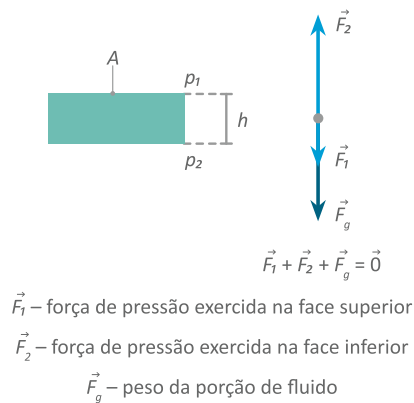
$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_i + \vec{F}_i' + \vec{F}_g = \vec{0}$$

Então,

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_i' - F_i = 0 \\ -F_1 + F_2 - F_g = 0 \end{cases}$$

Segundo a horizontal as forças de pressão anulam-se. Mas segundo a vertical, as forças de pressão não se anulam e têm de compensar o peso da porção de líquido.

Tendo em conta que a pressão,  $p$ , num ponto é o quociente entre o módulo da força  $F$  perpendicular a uma superfície muito pequena em torno desse ponto e a área dessa superfície  $A$ , as forças de pressão são  $F_1 = p_1 A$  e  $F_2 = p_2 A$ .



$$F_2 - F_1 = F_g \Leftrightarrow p_2 A - p_1 A = m g$$

Como  $m = \rho V = \rho A h$ , temos  $p_2 A - p_1 A = \rho A h g$  ou seja

$$p_2 - p_1 = \rho g h$$

onde  $p_2$  é a pressão na face inferior,  $p_1$  é a pressão na face superior e  $g$  é a aceleração da gravidade. Verifica-se que a porção de fluido podia ter uma forma qualquer, isto é, a expressão é independente da área da base, e que num ponto mais baixo do fluido a pressão é maior do que num ponto mais elevado, ou seja,  $p_2 > p_1$ .

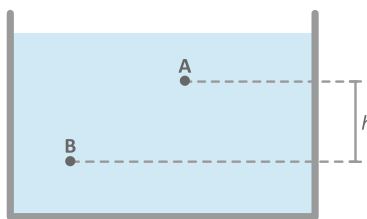


Figura 39 – Pontos à mesma profundidade têm igual valor de pressão.

Pode-se generalizar para dois pontos, A e B, no interior de um fluido em equilíbrio hidrostático e de massa volúmica constante, mesmo sem estarem na mesma linha vertical, as pressões podem-se relacionar pela expressão

$$p_B = p_A + \rho g h$$

onde  $p_A$  é a pressão no ponto A,  $p_B$  é a pressão no ponto B,  $\rho$  é a massa volúmica,  $g$  é a aceleração gravítica e  $h$  é a distância vertical entre os pontos A e B.

**A saber:**

*Num líquido em equilíbrio a pressão aumenta com a profundidade.*

No caso do ponto A se encontrar na superfície de separação entre um líquido e o ar, a pressão em A é a **pressão atmosférica**,  $p_A = p_0$ , e  $h$  a profundidade de um ponto no fluido, ou seja, a distância vertical entre esse ponto e a superfície livre do líquido. Assim, a pressão em qualquer ponto do líquido é

$$p = p_0 + \rho g h$$

A expressão anterior traduz a **Lei Fundamental da Hidrostática**, válida para um líquido homogéneo em equilíbrio hidrostático.

A figura 40 mostra o gráfico da pressão  $p$  no interior de um líquido em função da profundidade  $h$ .

**A saber:**

*A diferença de pressão entre dois pontos no interior de um líquido é a exercida pela coluna de altura igual à separação vertical dos dois pontos.*

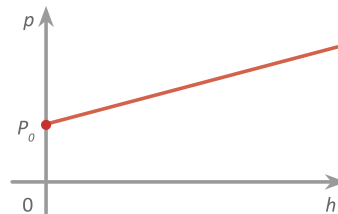


Figura 40 – Gráfico da pressão  $p$  no interior de um líquido.

Verifica-se que, para a mesma profundidade, a pressão é a mesma, independentemente da forma do recipiente. Assim, quando se insere um líquido num sistema de vasos comunicantes, como se mostra na figura 41, este fica à mesma altura.

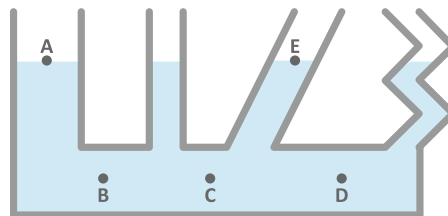


Figura 41 – Sistema de vasos comunicantes.

A pressão em A e E é a mesma. A pressão em B, C e D é a mesma, mas maior do que em A.

## Questões Resolvidas

1. Um submarino encontra-se a 5400 m de profundidade. Determine a pressão exercida sobre o submarino. Considere a pressão atmosférica  $p_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

### Resolução:

1. Considerando

$$\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3,$$

pela Lei Fundamental da Hidrostática, temos

$$p = p_0 + \rho g h = 10^5 + 1 \times 10^3 \times 10 \times 5400 = 5410 \times 10^4 \text{ Pa}.$$

2. Considere-se um compartimento fechado, numa sala, com 3 m de altura. Determine a diferença de pressão entre o teto e o chão? Considere  $\rho_{ar} = 1,293 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

### Resolução:

2.

$$\Delta p = \rho g h = 1,293 \times 10 \times 3 = 38,8 \text{ Pa} = 0,0004 \text{ atm}$$

Portanto  $\Delta p \approx 0 \text{ atm}$ .

Assim sendo, a pressão do ar em qualquer ponto do compartimento é praticamente a mesma.

## 3 Lei de Pascal

[Blaise Pascal](#) foi um cientista e filósofo francês do século XVII que, com base em experiências e observações, e antes de se conhecer a Lei Fundamental da Hidrostática, formulou o que hoje se conhece por [Lei de Pascal](#).

### Como varia a pressão em dois pontos se se variar a pressão num ponto do fluido?

De acordo com a Lei Fundamental da Hidrostática, e considerando que na superfície de separação entre o fluido e o ar a pressão exercida sobre o fluido é a pressão atmosférica,  $p_0$ , as pressões em dois pontos, A e B, são respetivamente:

$$p_A = p_0 + \rho g h_A \quad \text{e} \quad p_B = p_0 + \rho g h_B$$

Para um fluido incompressível, variando a pressão no cimo do recipiente, com o auxílio de um êmbolo, a pressão na superfície passa a ser  $p_0 + \Delta p$ . As pressões em A e B são:

$$p_A' = (p_0 + \Delta p) + \rho g h_A \quad \text{e} \quad p_B' = (p_0 + \Delta p) + \rho g h_B$$

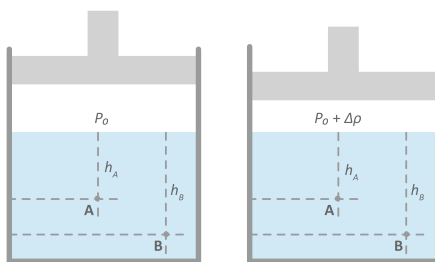


Figura 42 – Variação de pressão num recipiente com o auxílio de um êmbolo.

Portanto, o fluido transmite, a todos os seus pontos, qualquer pressão exterior que lhe seja aplicada. Este resultado constitui a lei estabelecida por Pascal.

### Lei de Pascal:

Uma variação de pressão provocada num ponto de um fluido em equilíbrio transmite-se integralmente a todos os pontos do fluido e às paredes que o contém.

## 4 Lei de Arquimedes

Foi **Arquimedes**, sábio grego, que descobriu que os corpos mergulhados em líquidos ficam sujeitos a uma força de baixo para cima, designada por impulsão. Formulou a sua lei, que diz que qualquer corpo, total ou parcialmente imerso num fluido, sofre por parte deste uma força vertical, dirigida de baixo para cima, de intensidade igual ao peso do volume de fluido deslocado pelo corpo.

$$|\vec{I}| = |\vec{P}_{\text{volume fluido deslocado}}| = m g = \rho_f V_f g$$

A impulsão depende da massa volúmica do fluido,  $\rho_f$  e do volume do fluido deslocado pelo corpo,  $V_f$ .

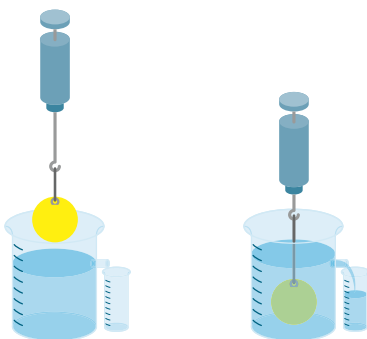


Figura 43 – Verificação experimental da Lei de Arquimedes.

Um corpo flutua quando o módulo de peso iguala o da impulsão:

$$|\vec{P}| = |\vec{I}|$$

$$m g = \rho_f V_{\text{deslocado}} g$$

$$\rho_{\text{corpo}} V_{\text{corpo}} g = \rho_f V_{\text{fluido imerso}} g$$

Esta lei permite compreender como é que um objeto tão grande e pesado, como um navio de aço, consegue flutuar. O casco do navio afunda-se na água até que o peso da água deslocada seja igual ao peso do próprio navio. A impulsão exercida pela água é igual ao peso do navio e este flutua.