

# Eureka!



Ao subir a serra, de volta para casa, Gaspar avistou o mar! Aquela imensidão azul! Como estavam próximos a uma região portuária, viu vários navios aguardando para entrar no porto.

“Alberta, olhe quantos navios! A maioria deles carrega grandes e pesadas cargas, veja só como são enormes! Devem pesar toneladas!”

“É verdade! Eu sempre me pergunto: como é que eles conseguem boiar? Por que não afundam?”

“Eu não sei explicar” disse Gaspar.

E você? Também já teve essa dúvida? Sabe como é que os navios, que pesam várias toneladas, conseguem boiar?



Nesta aula, vamos investigar a Física que existe por trás desse fenômeno e, então, seremos capazes de explicá-lo. Para isso, vamos utilizar alguns conhecimentos adquiridos nas últimas aulas.



Para realizar esta atividade, você vai precisar de:

- um recipiente com água;
  - uma rolha de garrafa.
- Coloque a rolha no recipiente com água. O que você observa?  
Agora, com o dedo, tente empurrá-la para baixo, isto é, tente afundá-la. O que você observa?

Você deve ter sentido uma resistência, uma dificuldade, ao tentar afundar a rolha, como se algo empurrasse a rolha para cima.

Se você levar a rolha até o fundo e depois soltá-la, verá que sobe imediatamente. De fato, para que a rolha suba, é preciso que haja uma força que a empurre para cima.

Mas que força é essa? E como ela surge?

Na aula passada, vimos o que é pressão e como ela se relaciona com força ( $p = F/A$ ). Além disso, vimos como ela se comporta no interior dos líquidos: **a pressão aumenta com a profundidade.**

Observe a Figura 1: uma rolha mergulhada num líquido. Note que a rolha se estende por uma certa região do líquido.

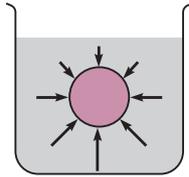


Figura 1

Podemos pensar nela como se fosse formada por vários pedaços: cada um mergulhado numa profundidade diferente. Lembre-se de que a pressão é o resultado da aplicação de uma força sobre uma **superfície**. Vamos estudar as forças que atuam nas diferentes partes do corpo. Sabemos que a força é diretamente proporcional à pressão: logo, **a força é maior onde a pressão é maior**.

Na Figura 1 as setas indicam as forças que atuam nas diferentes partes do corpo. Note que o tamanho da seta indica a intensidade da força naquele ponto.

Observe que as forças que atuam na parte de baixo do objeto, isto é, aquelas que tendem a empurrar o objeto para cima, são maiores do que as que tendem a empurrar o objeto para baixo. Somando todas essas forças, vemos que existe uma **força resultante** que tem a **direção vertical** e o **sentido para cima**. Essa força é o **empuxo** e é ele que empurra para cima os corpos mergulhados nos líquidos, inclusive a nossa rolha.

Se a pressão não variasse com a profundidade, todas as forças seriam iguais e se anulariam, portanto, a resultante seria zero e não haveria empuxo.

Então, um corpo pode boiar graças ao empuxo. Mas não são todos os corpos que bóiam, quando colocados num líquido. Por exemplo: um tijolo bóia na água? E um pedaço de madeira? Veremos adiante como calcular o empuxo recebido por um corpo e em que condições um corpo bóia ou afunda.

### Como calcular o empuxo?

Foi o filósofo e matemático grego Arquimedes, que viveu no século III a.C., quem descobriu, a partir de experiências cuidadosas, como calcular o empuxo. Arquimedes expressou as conclusões de suas observações num princípio que conhecemos como o **princípio de Arquimedes**, e que diz o seguinte:

**Todo corpo mergulhado num líquido recebe um empuxo vertical, para cima, cujo valor é igual ao peso do líquido deslocado pelo corpo.**

Então, para calcular o valor do empuxo exercido sobre um corpo, basta calcular o peso do líquido deslocado pelo corpo.

Portanto, quanto mais líquido o objeto deslocar, maior será o empuxo.

Podemos obter a expressão matemática para calcular o empuxo sobre um corpo. Dissemos que o empuxo ( $E$ ) é igual ao peso do líquido deslocado ( $P_{\text{liq}}$ ):

$$E = P_{\text{liq}}$$

O peso é igual ao produto da sua massa, pela aceleração da gravidade. Portanto:  $P_{\text{liq}} = m_{\text{liq}} \cdot g$ ; assim:  $E = m_{\text{liq}} \cdot g$

Não é muito conveniente medir a massa do líquido deslocado pelo corpo. Um jeito seria encher o recipiente até a borda, mergulhar o corpo, recolher a água que transborda e colocá-la numa balança. Pouco prático, não é mesmo?

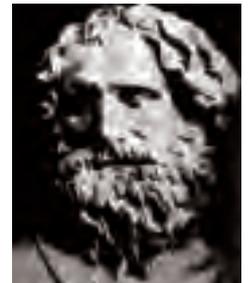
Existe uma maneira indireta de saber qual foi a massa deslocada. Na aula passada, discutimos o conceito de **massa específica**. Vimos que massa específica, também chamada de **densidade**, é uma grandeza que relaciona a massa de um corpo e o seu volume:

$$d = m/V$$

ou

$$m = d \cdot V$$

Assim, no lugar da massa do líquido deslocado, podemos utilizar o produto da densidade do líquido (obtida numa tabela) pelo volume deslocado ( $V_d$ ).



Arquimedes:  
filósofo e  
matemático  
grego

Você pode estar se perguntando: será que é preciso recolher a água e medir o seu volume?

Não! Com o volume é mais simples. Primeiro, podemos utilizar um recipiente que contenha uma graduação (em mililitros, por exemplo), de modo que, para saber o volume de líquido deslocado, basta verificar o nível do líquido antes e depois de mergulhar o objeto.

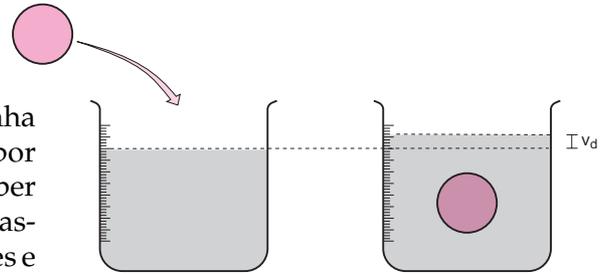


Figura 2. Pela alteração do nível do líquido sabemos o volume deslocado.

Note que o volume de líquido deslocado é igual ao volume do objeto imerso, isto é, mergulhado no líquido. Portanto, uma outra maneira de conhecer o volume de líquido deslocado é a partir do volume do objeto imerso.

Utilizando  $m = d \cdot V$ , o empuxo será dado por:

$$E = d_{\text{liq}} \cdot V_d \cdot g$$

Então, o valor do empuxo será tanto maior quanto maior for a densidade do líquido e quanto maior for o volume de líquido deslocado.

### Sobe, desce ou fica parado?

Nem todos os objetos que colocamos num líquido se comportam da mesma forma: alguns afundam, outros ficam na superfície, outros, descem um pouco e param no meio do líquido.

Quando é que cada uma dessas situações acontece? Quando um objeto é mergulhado num líquido, fica sujeito a duas forças: ao seu próprio **peso** e ao **empuxo**.

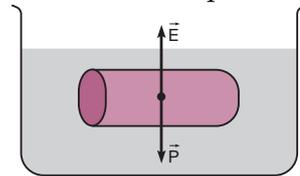


Figura 3

Para saber o que ocorre com o objeto, precisamos estudar a relação entre as forças que agem sobre ele. Podem ocorrer três situações distintas:

$P > E$

$P = E$

$P < E$

Na tabela abaixo, está um resumo que explica o que ocorre em cada uma das três situações:

TABELA 1		
Situação	Descrição	Exemplo
$P > E$	O peso do objeto é maior do que o empuxo: o objeto afunda até atingir o fundo.	Uma pedra ou um tijolo na água.
$P = E$	O peso do objeto é igual ao empuxo: o objeto fica parado onde foi abandonado.	Um submarino.
$P < E$	O peso do objeto é menor que o empuxo: o objeto sobe no líquido.	Uma rolha ou um navio na água.

**Previendo situações**

Existe uma maneira de saber se um objeto vai afundar ou não num determinado líquido.

Como vimos, o empuxo depende de três grandezas:

- do volume de líquido deslocado;
- da densidade do líquido;
- da aceleração da gravidade.

Isto é:

$$E = d_{\text{liq}} \cdot V_d \cdot g$$

Por outro lado, o peso do objeto ( $P_o = m_o \cdot g$ ) pode ser escrito em função:

- do seu volume;
- da sua densidade;
- da aceleração da gravidade.

Isto é:

$$P = d_o \cdot V_o \cdot g$$

onde a massa foi escrita como:  $m_o = d_o \cdot V_o$

Podemos comparar essas duas expressões, tal como fizemos na seção anterior (Tabela 1). Teremos novamente três situações:

$$P > E$$

$$P = E$$

$$P < E$$

Vamos supor que o objeto está totalmente imerso no líquido e, que, portanto:

$$V_{\text{liq}} = V_o$$

Então, as duas expressões:  $E = d_{\text{liq}} \cdot V_d \cdot g$  e  $P = d_o \cdot V_o \cdot g$  só diferem quanto às densidades, isto é, quanto aos valores de  $d_{\text{liq}}$  e  $d_o$ .

Vamos analisar os três casos.

$$P > E$$

1º – Vimos que o objeto afunda. Nesse caso,  $d_o > d_{\text{liq}}$ , isto é, o objeto é mais denso que o líquido. É o exemplo do tijolo e da pedra.

$$P = E$$

2º – Vimos que o objeto permanece parado, em equilíbrio, na posição onde foi deixado, totalmente imerso no líquido. Nesse caso, temos  $d_o = d_{\text{liq}}$ , isto é, a densidade do objeto é igual à densidade do líquido. É o exemplo do submarino.

$$P < E$$

3º – Vimos que o corpo sobe até atingir o equilíbrio na superfície, ficando com uma parte para fora do líquido (emersa). Olhando as expressões, teremos  $d_o < d_{\text{liq}}$ . Portanto, se a densidade do objeto for menor do que a densidade do líquido, ele poderá boiar. É o caso do navio e da rolha.

Assim, conhecendo a densidade do líquido e do objeto, podemos prever o que ocorrerá quando o objeto for mergulhado no líquido. Esta tabela resume as nossas conclusões:

TABELA 2		
Forças	Densidade	Situação
$P > E$	$d_o > d_{\text{liq}}$	O objeto afunda
$P = E$	$d_o = d_{\text{liq}}$	O objeto fica equilibrado totalmente imerso.
$P < E$	$d_o < d_{\text{liq}}$	O objeto bóia com uma parte emersa.

### Você sabia?

**Eureca** é uma palavra grega que significa: “achei”. Segundo consta, ela foi empregada por Arquimedes quando ele solucionou o problema da coroa do rei Hieron. O rei suspeitava que sua coroa não era de ouro puro, e Arquimedes foi incumbido de solucionar o caso. Arquimedes teria achado a solução do problema enquanto tomava banho, ao observar a elevação do nível da água, quando mergulhou seu corpo na banheira. Ele teria ficado tão entusiasmado que saiu correndo pelas ruas, gritando: “Eureca! Eureca!”. Só que se esqueceu de pegar a toalha!



Nesta aula, você aprendeu:

- o que é **empuxo** (E): uma força vertical, dirigida para cima, que aparece sempre que um corpo está mergulhado num fluido qualquer;
- que o empuxo surge em consequência do fato de a pressão **variar com a profundidade** no interior de um líquido;
- o **Princípio de Arquimedes**, que nos diz: “Todo corpo mergulhado em um líquido recebe um empuxo vertical, para cima, igual ao peso do líquido deslocado pelo corpo”;
- que, **matematicamente**, o empuxo se escreve como  $E = d_{\text{liq}} \cdot g \cdot V_{\text{deslocado}}$ ;
- que é possível **prever** o que ocorrerá com um corpo quando ele for mergulhado num certo líquido, apenas analisando as suas densidades.



#### Exercício 1

Uma pedra está mergulhada num rio, apoiada sobre o seu leito. Você se abaixa e levanta, mas sem tirá-la da água.

- Faça um esquema mostrando as forças que agem sobre a pedra.
- Ela lhe parecerá mais leve ou mais pesada do que se estivesse fora da água? Explique.

#### Exercício 2

Um tronco está boiando na superfície de um lago. Metade do tronco fica para fora da água, e a outra metade fica imersa. O volume do tronco é  $1 \text{ m}^3$ . Considere a densidade da água do lago como sendo de  $1.000 \text{ kg/m}^3$ .

- Faça um esquema indicando as forças que agem sobre o tronco.
- Calcule o valor do empuxo recebido pelo tronco.
- Qual o seu peso? E qual a sua massa?
- Calcule a densidade do material que compõe o tronco.

#### Exercício 3

A massa de um objeto é  $80 \text{ g}$  e o seu volume  $100 \text{ cm}^3$ .

- Calcule a sua densidade.
- Sabendo que a densidade da gasolina é  $0,70 \text{ g/cm}^3$ , e a densidade da água  $1,00 \text{ g/cm}^3$ , verifique o que acontece quando o objeto é mergulhado em cada um desses líquidos.

#### Exercício 4

Por que um navio pode boiar? O que podemos dizer sobre a densidade média do navio, quando comparada com a densidade da água do mar?