



Experiência de mecânica dos fluidos básica

EMPUXO

Ao pensar em
empuxo me
lembro de
Arquimedes!



que viveu no século 3 a.C.,
desenvolveu a Idéla de empuxo,



Arquimedes

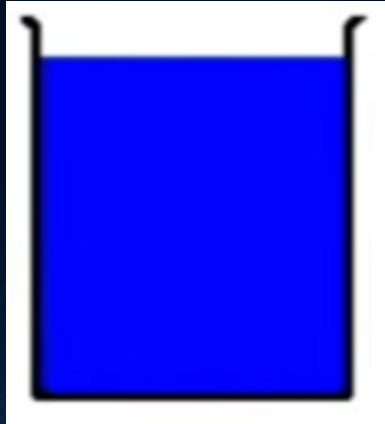
Vamos ver o vídeo!

<https://www.youtube.com/watch?v=X8c3AdgMi9w>

EUREKA = ACHEI



Princípio de Arquimedes

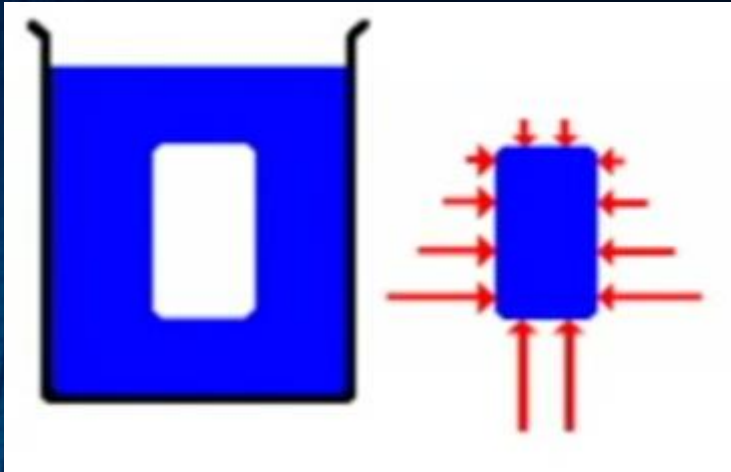


Recipiente com
fluido



Consideramos um volume
"V" do próprio fluido

Princípio de Arquimedes

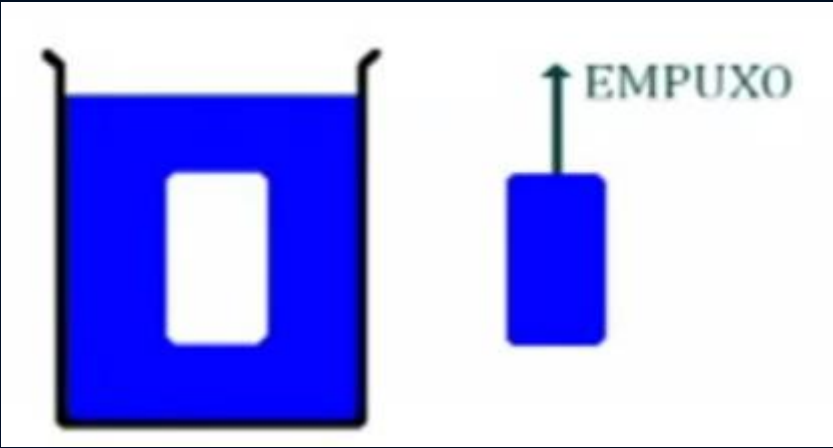


Varição da pressão no volume "V" considerado e representação das forças que as pressões originam

As forças laterais se equilibram, porém até aqui existiria uma resultante para cima (EMPUXO) e isto contrairia a condição de fluido em repouso!



Empuxo existe porque a pressão varia com a profundidade



Princípio de Arquimedes

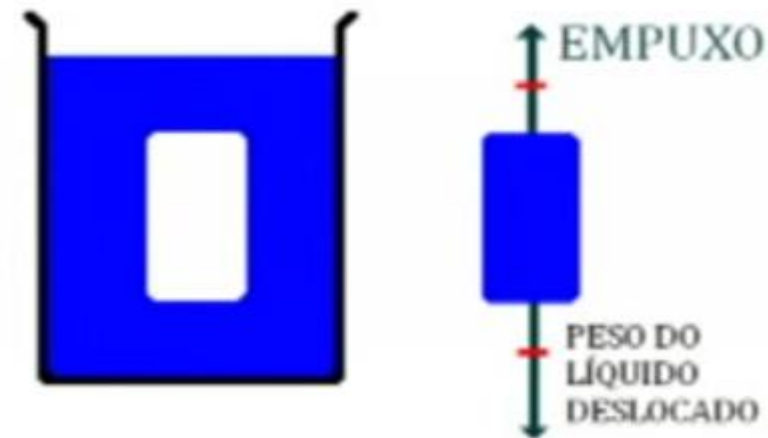
Mas como o fluido está em repouso ela deve ser equilibrada pelo peso do volume "V" considerado, que poderíamos chamar de peso do líquido deslocado!

Pela igualdade anterior garantimos que o fluido está parado e isto nos permite escrever que:

$$E = P_{LD} = m_{LD} \times g = \rho_{LD} \times V_{LD} \times g$$

ou

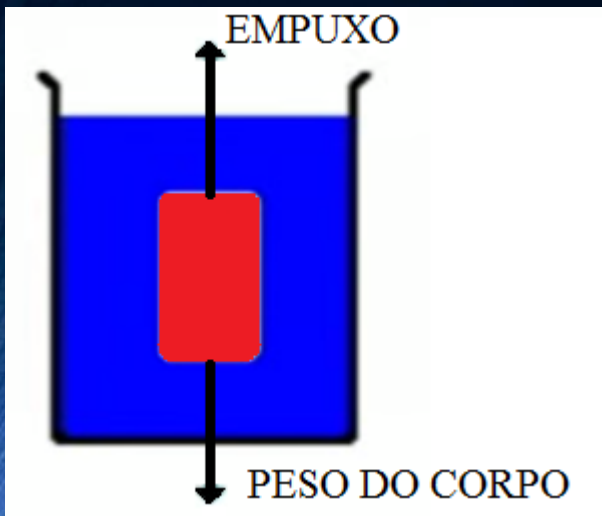
$$E = \gamma_{LD} \times V_{LD}$$



Temos assim a definição de EMPUXO



Colocando agora um outro corpo no volume "V",
temos que o empuxo continua o mesmo e surge a
força peso do corpo.



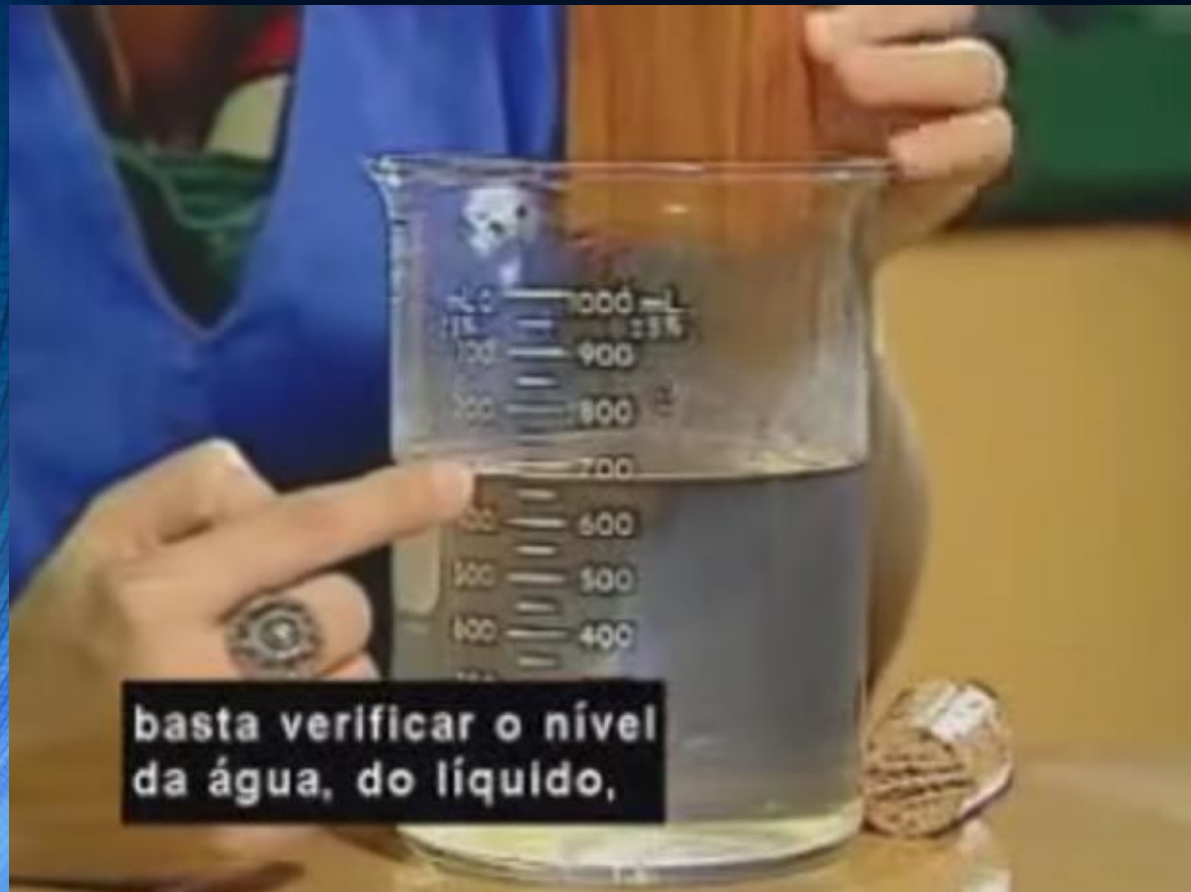
Importante observar que o corpo estando totalmente imerso só
existe duas forças atuando sobre ele:

$$G_c = E \therefore \gamma_c \times V_c = \gamma_{\text{fluido}} \times V_{LD}$$

$$V_c = V_{LD}$$

DETERMINAÇÃO PRÁTICA DO VOLUME DESLOCADO

$$E = P_{LD} = m_{LD} \times g = \rho_{LD} \times V_{LD} \times g \Rightarrow E = \gamma_{LD} \times V_{LD}$$



Importante observar que o corpo estando totalmente imerso só existe duas forças atuando sobre ele que seriam o "empuxo" e o PESO DO CORPO:

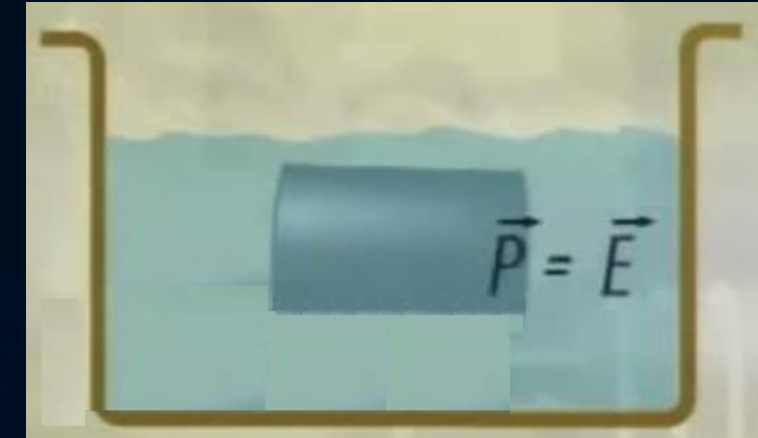
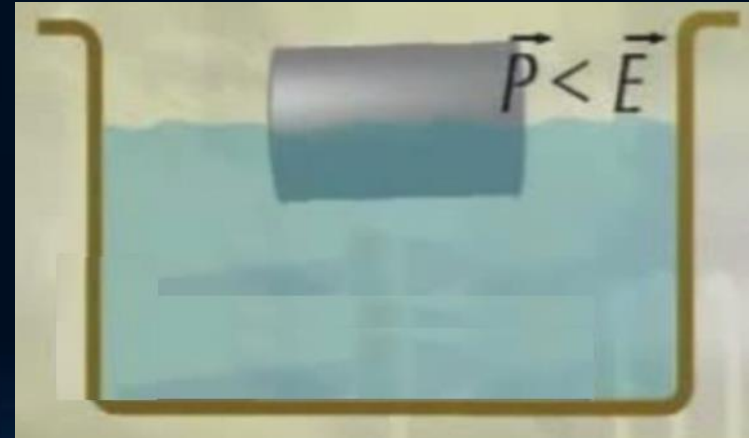
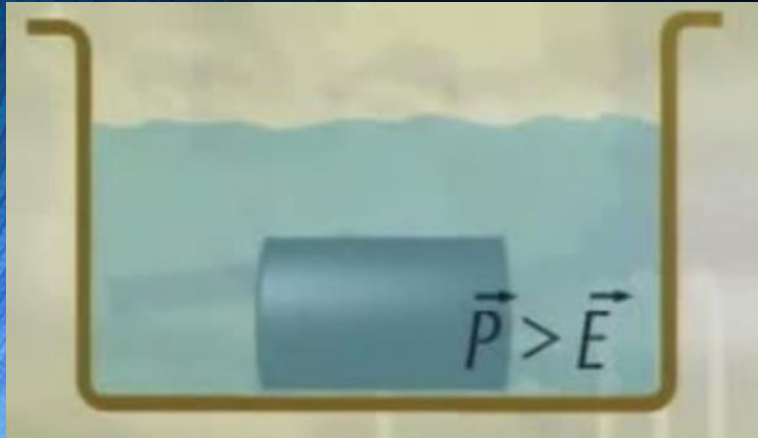
G_c comparando E

$\gamma_c \times V_c$ comparando $\gamma_{\text{fluido}} \times V_{LD}$

$V_c = V_{LD}$

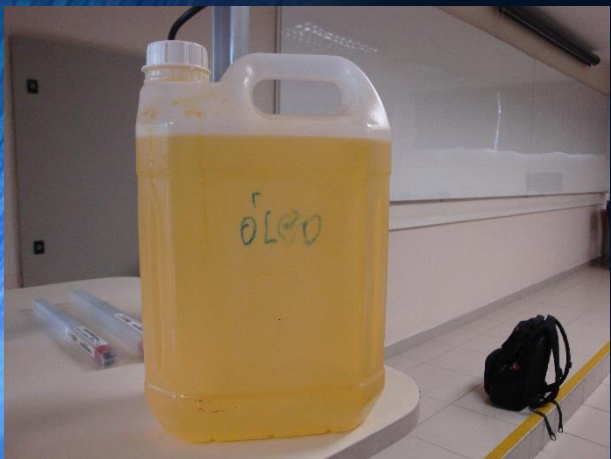
Portanto será o peso específico que estabelecerá quem é maior.

1. Se o peso específico do corpo for maior que do fluido, temos $G > E$, portanto o corpo afunda.
2. Se o peso específico do líquido for maior que o peso específico do corpo, o corpo irá flutuar.
3. Se forem iguais o corpo fica em equilíbrio aonde quer que ele esteja.



VAMOS PENSAR NA
EXPERIÊNCIA!





DIMENSÕES DE
TODOS OS
CORPOS

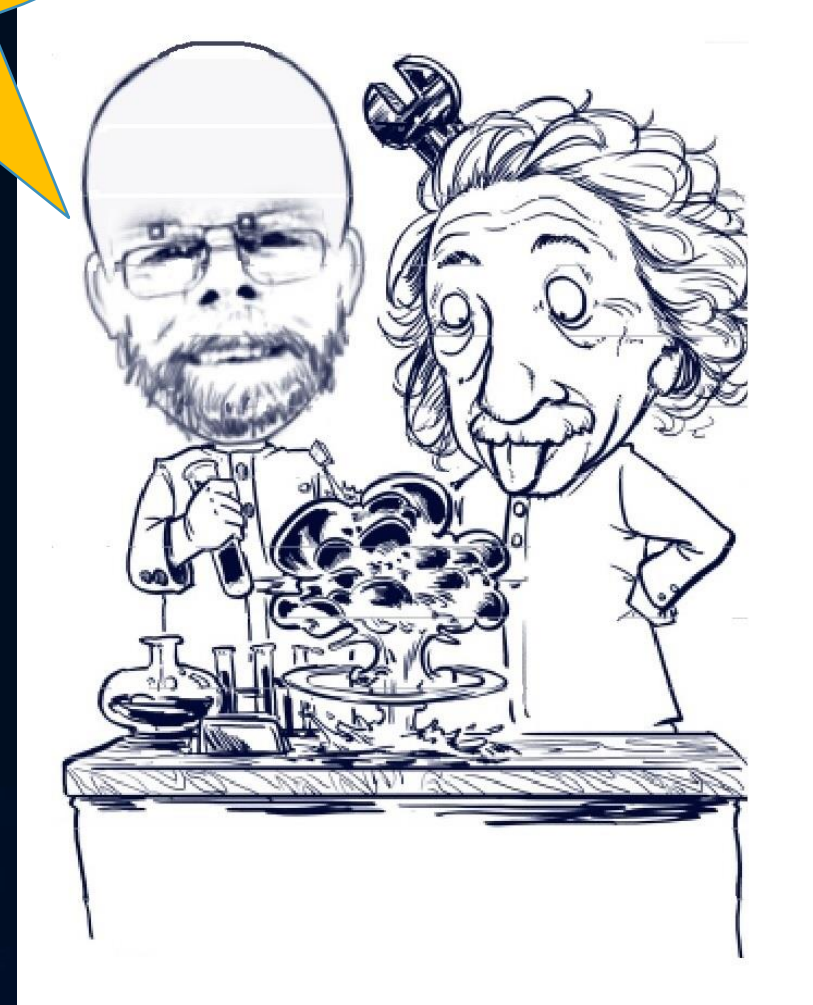




MASSA DO
CORPO DE
MADEIRA EM KG



MASSA DO
CORPO DE
NYLON EM KG



MASSA DO
CORPO DE
ALUMÍNIO EM KG



MASSA DO
CORPO DE AÇO
EM KG



Cálculo da
densidade da
água em função
da temperatura.

$$\rho_{\text{água}} = 1000 - 0,01788 \times |t_c - 4|^{1,7}$$

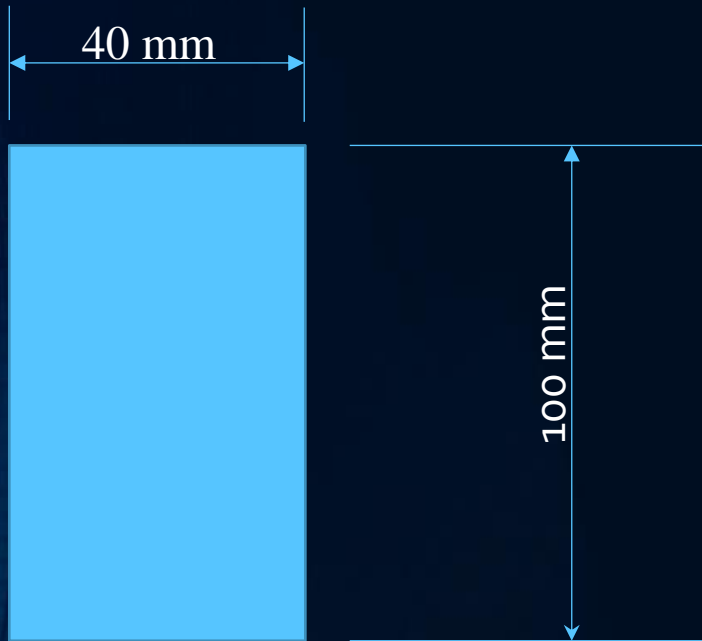


Mais outra maneira para achar a densidade e viscosidade cinemática d'água e a densidade do mercúrio

Propriedades do mercúrio em função da temperatura

θ	ρ_w	ν_w	ρ_{Hg}
		$\times 10^6$	
[°C]	[kg/m ³]	[m ² /s]	[kg/m ³]
0	999,8	1,791	13595
1	999,9	1,731	13593
2	1000,0	1,674	13590
3	1000,0	1,620	13588
4	1000,0	1,568	13585
5	999,9	1,520	13583
6	999,9	1,473	13580
7	999,9	1,429	13578
8	999,9	1,387	13575
9	999,8	1,346	13573
10	999,7	1,308	13570
11	999,6	1,271	13568
12	999,5	1,236	13565
13	999,4	1,202	13563
14	999,2	1,170	13561
15	999,1	1,140	13558
16	998,9	1,110	13556
17	998,8	1,082	13553
18	998,6	1,055	13551
19	998,4	1,029	13548
20	998,2	1,004	13546

θ	ρ_w	ν_w	ρ_{Hg}
		$\times 10^6$	
[°C]	[kg/m ³]	[m ² /s]	[kg/m ³]
21	998,0	0,980	13543
22	997,8	0,957	13541
23	997,5	0,934	13538
24	997,3	0,913	13536
25	997,0	0,892	13534
26	996,8	0,873	13531
27	996,5	0,854	13529
28	996,2	0,835	13526
29	995,9	0,817	13524
30	995,7	0,800	13521
31	995,3	0,784	13519
32	995,0	0,768	13516
33	994,7	0,753	13514
34	994,4	0,738	13511
35	994,0	0,723	13509
36	993,7	0,709	13507
37	993,3	0,696	13504
38	993,0	0,683	13502
39	992,6	0,670	13499
40	992,2	0,658	13497

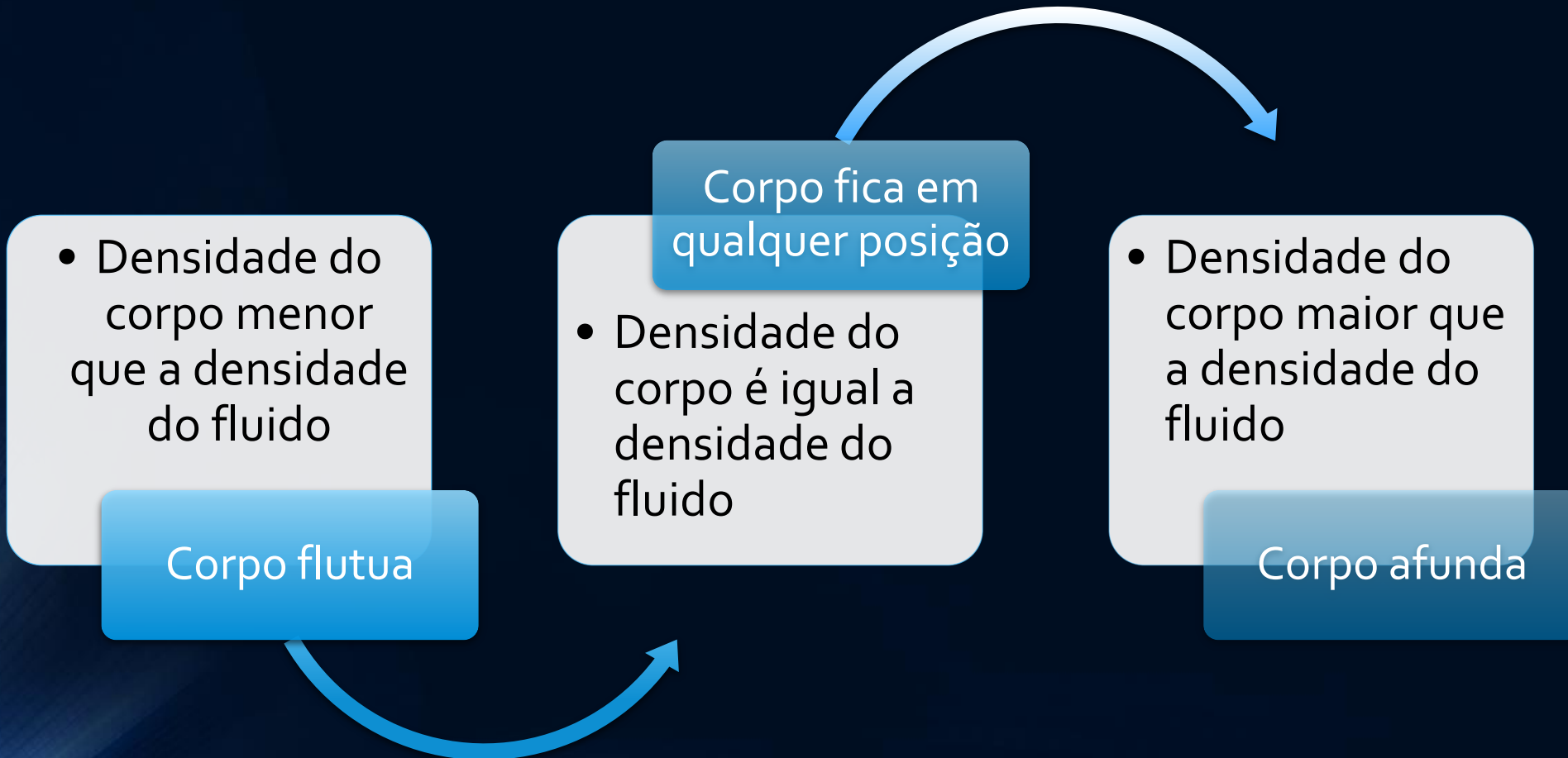


DETERMINAÇÃO DAS DENSIDADES DOS CORPOS



	Massa (kg)	Volume (m ³)	Densidade (kg/m ³)
Madeira	0,110	1,26 x 10 ⁻⁴	873
Nylon	0,147	1,26 x 10 ⁻⁴	1167
Alumínio	0,340	1,26 x 10 ⁻⁴	2698,4
Aço	0,985	1,26 x 10 ⁻⁴	7817,5

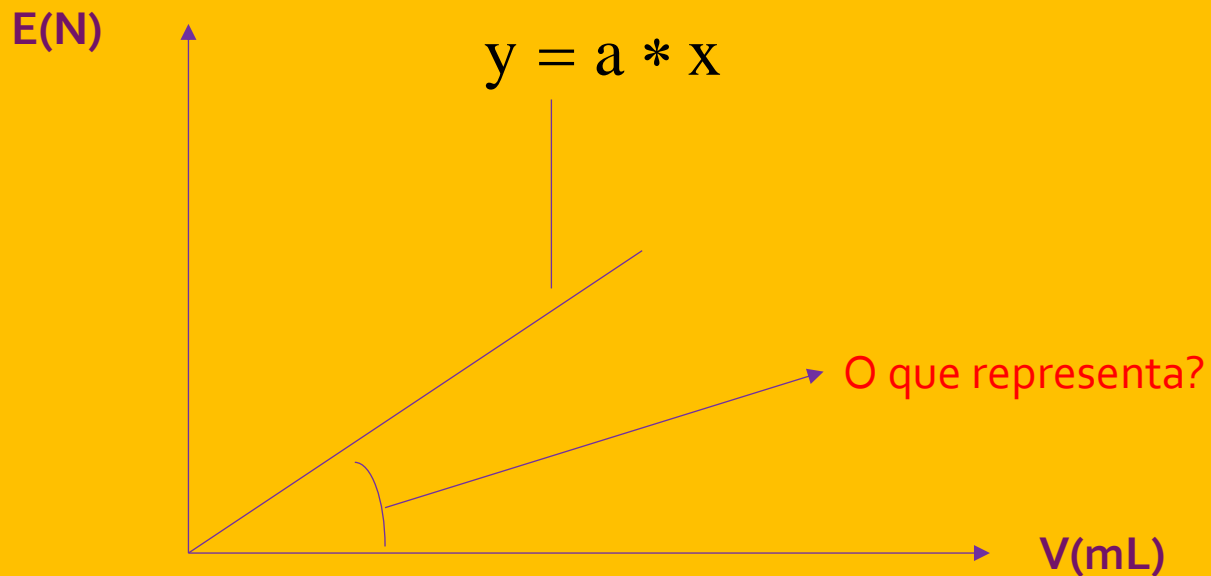
Comparação da densidade do corpo com a densidade do fluido



Experiência do empuxo objetivo

O PESO ESPECIFICO DO FLUIDO!

ATRAVÉS DESTA EXPERIÊNCIA OBJETIVAMOS OBTER A REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO $E = F(V)$



EQUAÇÕES
UTILIZADAS NA
EXPERIÊNCIA:

$G_c = m_c \times g \rightarrow$ cálculo do peso

$G' = m' \times g \rightarrow$ cálculo do peso aparente

$E = G - G' \rightarrow$ cálculo do empuxo

$E = \gamma_{\text{fluido}} \times V_{DL}$

$\therefore \gamma_{\text{fluido}} = \frac{E}{V_{DL}} \rightarrow$ cálculo do peso específico do fluido



Material do corpo	Massa aparente do corpo	Peso aparente do corpo $G' (N)$	Tipo de fluido		Peso específico do fluido $\gamma_F (N/m^3)$	Massa específica do fluido $\rho_F (N/m^3)$
			água			
Alumínio			Temperatura (°C)	Empuxo E(N)		
Medida	Leitura m' (kg)					
1						
2						
3						



EM CADA LINHA A
TEMPERATURA DA ÁGUA É
CONSTANTE

Material do corpo	Massa aparente do corpo	Peso aparente do corpo G' (N)	Tipo de fluido		Peso específico do fluido γ_F (N/m ³)	Massa específica do fluido ρ_F (N/m ³)
			água			
Nylon			Temperatura (°C)	Empuxo E(N)		
Medida	Leitura m' (kg)					
1						
2						
3						
4						



A TEMPERATURA DA ÁGUA É MANTIDA CONSTANTE

Material do corpo	Massa aparente do corpo	Peso aparente do corpo $G' (N)$	Tipo de fluido glicerina		Peso específico do fluido $\gamma_F (N/m^3)$	Massa específica do fluido $\rho_F (N/m^3)$
Alumínio			Temperatura (°C)	Empuxo E(N)		
Medida	Leitura $m' (kg)$					
1						
2						
3						



A TEMPERATURA DA GLICERINA É MANTIDA CONSTANTE

Material do corpo	Massa aparente do corpo	Peso aparente do corpo G' (N)	Tipo de fluido		Peso específico do fluido γ_F (N/m ³)	Massa específica do fluido ρ_F (N/m ³)
			óleo			
AÇO			Temperatura (°C)	Empuxo E(N)		
Medida	Leitura m' (kg)					
1						
2						
3						



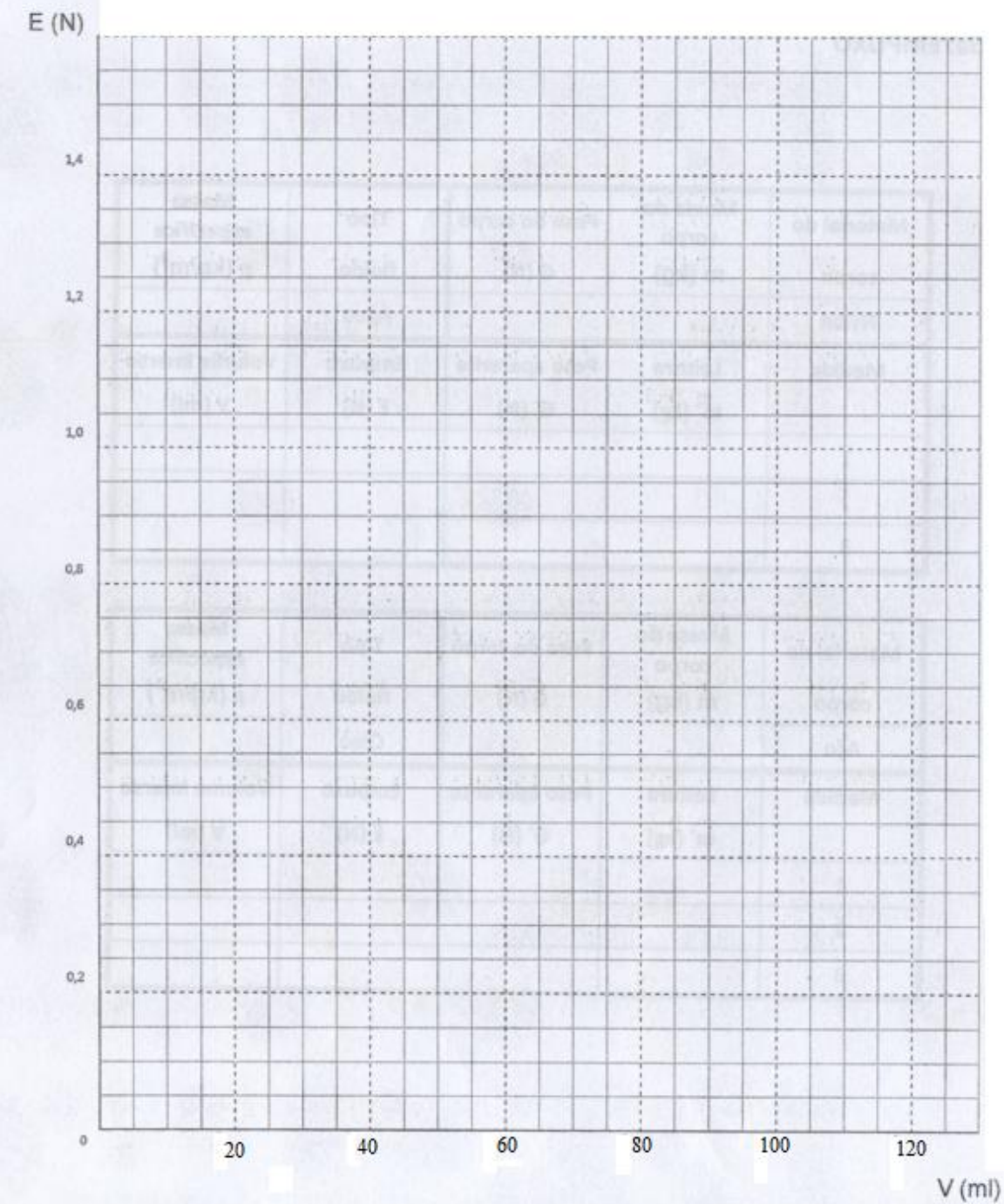
A TEMPERATURA DO ÓLEO É MANTIDA CONSTANTE

Para esta experiência as massas específicas média consideradas são: $\rho_{\text{óleo}} = 920 \text{ kg/m}^3$; $\rho_{\text{água}} = x \text{ kg/m}^3$ e o $\rho_{\text{glicerina}} = 1250 \text{ kg/m}^3$.



Construa os gráficos as seguir, também no Excel estabelecendo a equação da linha de tendência e calculando cada peso específico e a massa específica da água, glicerina e óleo que devem ser comparados com os propostos originalmente.



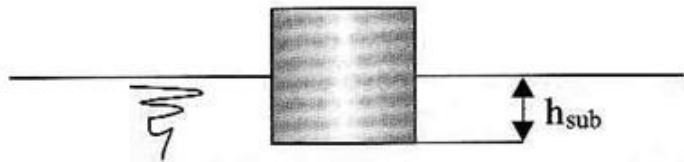


Para estudar para a P1 não esqueçam de resolver os exercícios a seguir!



Exercício do livro
do professor
Brunetti
(referência básica)

- 2.37 Um cilindro de ferro fundido, de 30 cm de diâmetro e 30 cm de altura, é imerso em água do mar ($\gamma = 10.300 \text{ N/m}^3$). Qual é o empuxo que a água exerce no cilindro? Qual seria o empuxo se o cilindro fosse de madeira ($\gamma = 7.500 \text{ N/m}^3$)? Nesse caso, qual seria a altura submersa do cilindro?



Exercício 2.37

O ferro estará totalmente submerso.

$$E = \gamma_{fl} V = \gamma_{fl} \frac{\pi D^2}{4} h = 10.300 \times \frac{\pi \times 0,3^2}{4} \times 0,3 = 218 \text{ N}$$

A madeira ficará imersa na posição em que o peso seja igual ao empuxo.

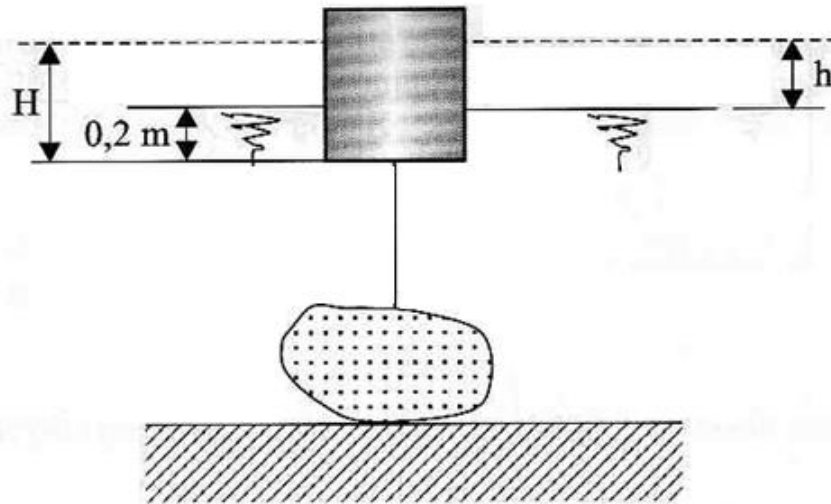
$$E = G = \gamma_{mad} \frac{\pi D^2}{4} h = 7.500 \times \frac{\pi \times 0,3^2}{4} \times 0,3 = 159 \text{ N}$$

$$E = \gamma_{fl} \frac{\pi D^2}{4} h_{sub}$$

$$h_{sub} = \frac{4E}{\gamma_{fl} \pi D^2} = \frac{4 \times 159}{10.300 \times \pi \times 0,3^2} = 0,218 \text{ m}$$

Exercício do livro
do professor
Brunetti
(referência básica)

- 2.38 Um cilindro, que pesa 500 N e cujo diâmetro é 1 m, flutua na água ($\gamma = 10.000 \text{ N/m}^3$), com seu eixo na vertical, como mostra a figura. A âncora consiste de $0,23 \text{ m}^3$ de concreto de peso específico 25.000 N/m^3 . Qual é a elevação da maré necessária para elevar a âncora do fundo? (Desprezar o peso da barra.)



Exercícios do livro
do professor
Brunetti
(referência básica)

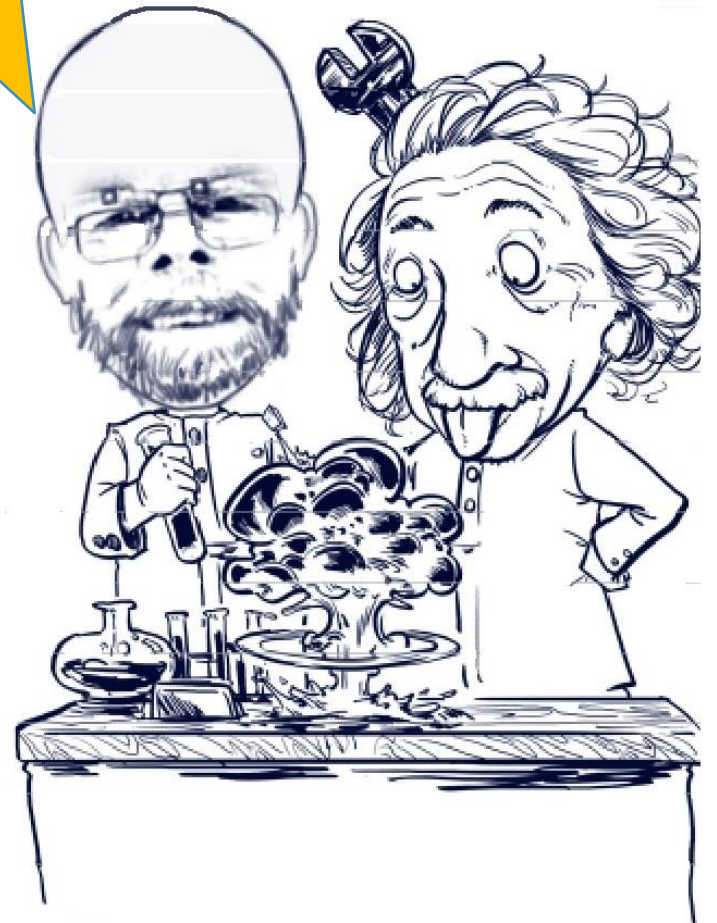
- 2.41 Um corpo pesa 800 N no ar e, quando imerso em água ($\gamma = 10.000 \text{ N/m}^3$), tem um peso aparente de 500 N. Determinar o volume do corpo e seu peso específico. Observação: peso aparente é o peso do corpo menos o empuxo.

Supondo o empuxo do ar desprezível:

$$G = G_{\text{ap}} + E \rightarrow E = 800 - 500 = 300 \text{ N}$$

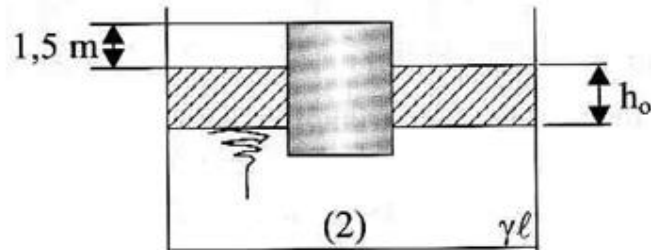
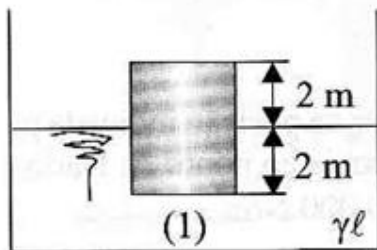
$$E = \gamma_{\text{fl}} V \rightarrow V = \frac{E}{\gamma_{\text{fl}}} = \frac{300}{10.000} = 0,03 \text{ m}^3$$

$$G = \gamma_c V_c \rightarrow \gamma_c = \frac{G}{V_c} = \frac{800}{0,03} = 26.670 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$



Exercícios do livro
do professor
Brunetti
(referência básica)

2.43 Determinar a altura de óleo ($\gamma_o = 6.000 \text{ N/m}^3$) para que o corpo ($\gamma_c = 8.000 \text{ N/m}^3$) passe da posição (1) para a posição (2).



Resp.: $h_o = 0,8 \text{ m}$



Exercício 2.43

Situação (1) $\rightarrow G = E$

$$\gamma_c A_b \times 4 = \gamma_\ell A_b \times 2 \rightarrow \gamma_\ell = 2\gamma_c \rightarrow \gamma_\ell = 16.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Situação (2)

$$P_{\text{base}} A_{\text{base}} = G \rightarrow P_{\text{base}} A_{\text{base}} = \gamma_c A_{\text{base}} \times 4 \rightarrow P_{\text{base}} = 8.000 \times 4 = 32.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

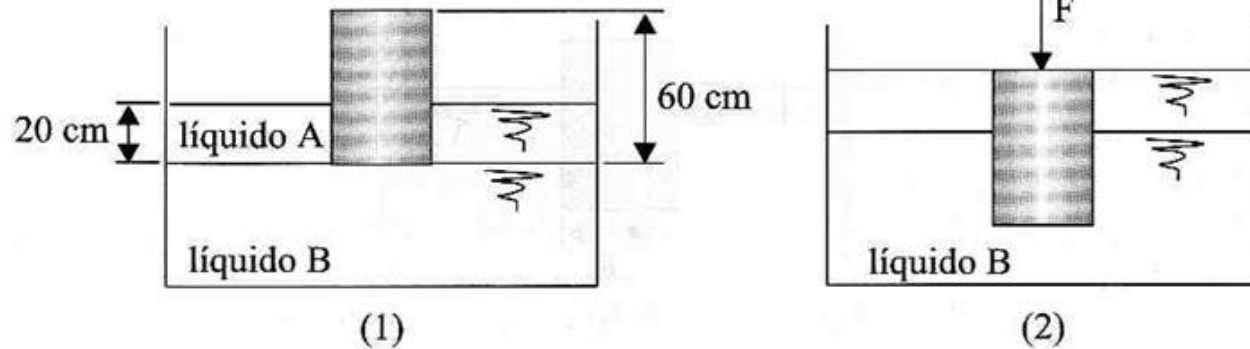
$$P_{\text{base}} = \gamma_o h_o + \gamma_\ell (4 - 1,5 - h_o)$$

$$32.000 = 6.000 h_o + 16.000 (2,5 - h_o)$$

$$32.000 = 6.000 h_o + 40.000 - 16.000 h_o \rightarrow h_o = 0,8 \text{ m}$$

Exercício do livro
do professor
Brunetti
(referência básica)

2.45 Um cilindro, de peso específico $\gamma_c = 5.000 \text{ N/m}^3$, flutua num líquido, conforme mostra a figura (1). Sob a ação de uma força $F = 10.000 \text{ N}$, o cilindro permanece na posição indicada na figura (2). Determinar os pesos específicos dos líquidos A e B. Dado: área da base do cilindro = 1 m^2 .



Resp.: $\gamma_A = 15.000 \text{ N/m}^3$; $\gamma_B = 25.000 \text{ N/m}^3$



Exercício 2.45

Situação (1)

$$G = E \rightarrow \gamma_c A_b \times 0,6 = \gamma_A A_b \times 0,2 \rightarrow \gamma_A = 3\gamma_c = 3 \times 5.000 = 15.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Situação (2)

$$P_{\text{base}} A_b = G + F$$

$$P_{\text{base}} = \frac{G + F}{A_b} = \frac{\gamma_c \times 0,6 \times A_b + F}{A_b} = \frac{5.000 \times 0,6 \times 1 + 10.000}{1} = 13.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{base}} = \gamma_A \times 0,2 + \gamma_B \times (0,6 - 0,2)$$

$$13.000 = 15.000 \times 0,2 + \gamma_B \times 0,4$$

$$\gamma_B = 25.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Exercício extra
proposto:

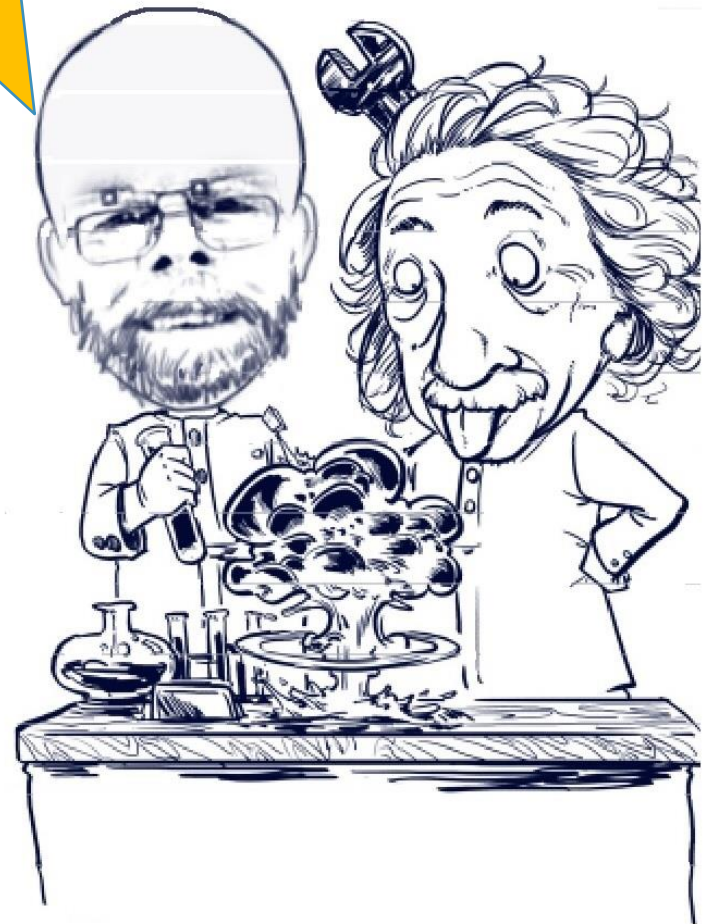
No ano 220 a.C. um rei chamado *Hiero II* entregou 9 kg de ouro para um ourives fazer uma coroa. Quando ficou pronta o rei suspeitou que parte da coroa era feita de prata. O rei solicitou a *Arquimedes* que descobrisse o teor de ouro na coroa.

Verifique qual a massa de ouro contida na coroa. Dados:

Volume deslocado = 500 ml

$\rho_{\text{ouro}} = 19.300 \text{ kg/m}^3$; $\rho_{\text{prata}} = 10.500 \text{ kg/m}^3$

$\rho_{\text{água}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$



EMPUXO

PRIMEIRA EXPERIÊNCIA DO
SEMESTRE

