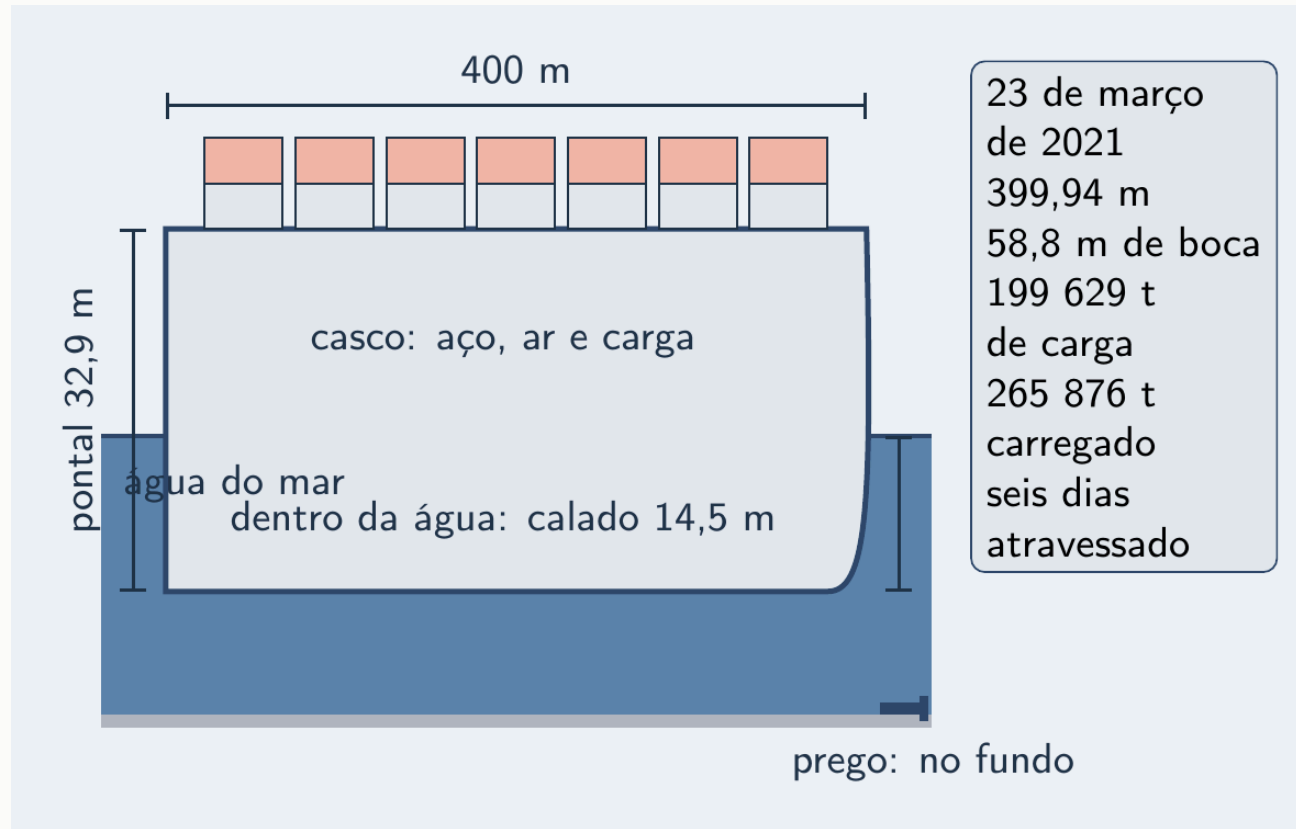


Mecânica IV · Episódio 9

O navio de duzentas mil toneladas e o prego

Flutuação, densidade média e o submarino

O caso



- Suez, 23 de março de 2021 · navio de 400 m por 58,8 m · atravessado 6 dias
- 199 629 t de carga · 265 876 t carregado
- calado 14,5 m · pontal 32,9 m
- prego do mesmo aço: vai ao fundo

Pergunta do episódio

Se o aço é o mesmo, por que o gigante boia e o prego não?

Conceito 1 – Densidade decide



densidade (barra, sem seta)

aço: 7 800 kg/m³

água: 1 000 kg/m³

$$P \div E = \rho_{\text{aço}} \div \rho_{\text{água}} = 7,8$$

o volume e o g se cancelam

P é 7,8 vezes E

- mesmo V e mesmo g :

$$\frac{P}{E} = \frac{\rho_{\text{corpo}}}{\rho_{\text{fluido}}}$$

- corpo mais denso → afunda ·
menos → sobe · igual → parado
- tamanho não entra: prego ou viga, 7,8

Exemplo resolvido — o prego

Prego de aço de 1 cm^3 em água doce

Fórmula:

$$P = \rho_{\text{aço}} V g$$

$$E = \rho_{\text{água}} V g$$

Substituição:

$$P = 7\,800 \cdot 10^{-6} \cdot 10$$

$$E = 1\,000 \cdot 10^{-6} \cdot 10$$

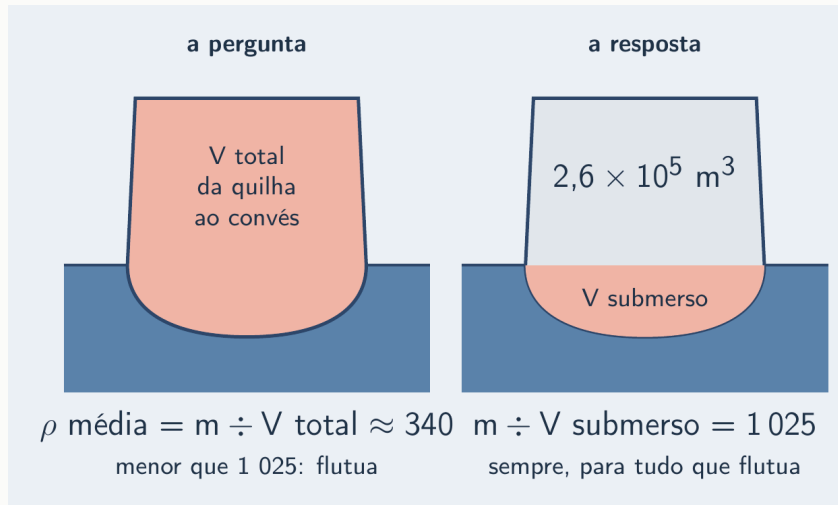
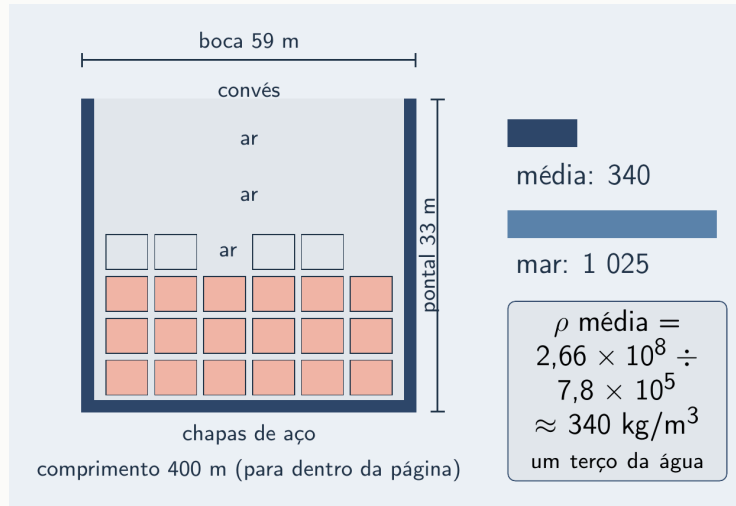
Resultado:

$$P = \mathbf{0,078 \text{ N}}$$

$$E = \mathbf{0,01 \text{ N}}$$

- razão 7,8: afunda

Conceito 2 – Densidade média



- ar incluído, volume externo:
- $\rho_{\text{média}} = \frac{m_{\text{total}}}{V_{\text{ext}}}$
- boia se a média é menor que a do fluido
- massa sobre volume submerso: sempre o fluido

Exemplo resolvido – a média do navio

Caixa de 400 m por 59 m por 33 m · 265 876 t

Fórmula:

$$V = c b p$$

$$\rho_{\text{média}} = \frac{m}{V}$$

Substituição:

$$V = 400 \cdot 59 \cdot 33$$

$$\rho_{\text{média}} = \frac{2,66 \times 10^8}{7,8 \times 10^5}$$

Resultado:

$$V \approx 7,8 \times 10^5 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{média}} \approx 340 \text{ kg/m}^3$$

- menor que 1 025: flutua

Exemplo resolvido – a conta ao contrário

Mesmo navio no mar ($1\,025\text{ kg/m}^3$)

Fórmula:

$$V_{\text{sub}} = \frac{m}{\rho_{\text{mar}}}$$

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{sub}}}$$

Substituição:

$$V_{\text{sub}} = \frac{2,66 \times 10^8}{1\,025}$$

$$\rho = \frac{2,66 \times 10^8}{2,6 \times 10^5}$$

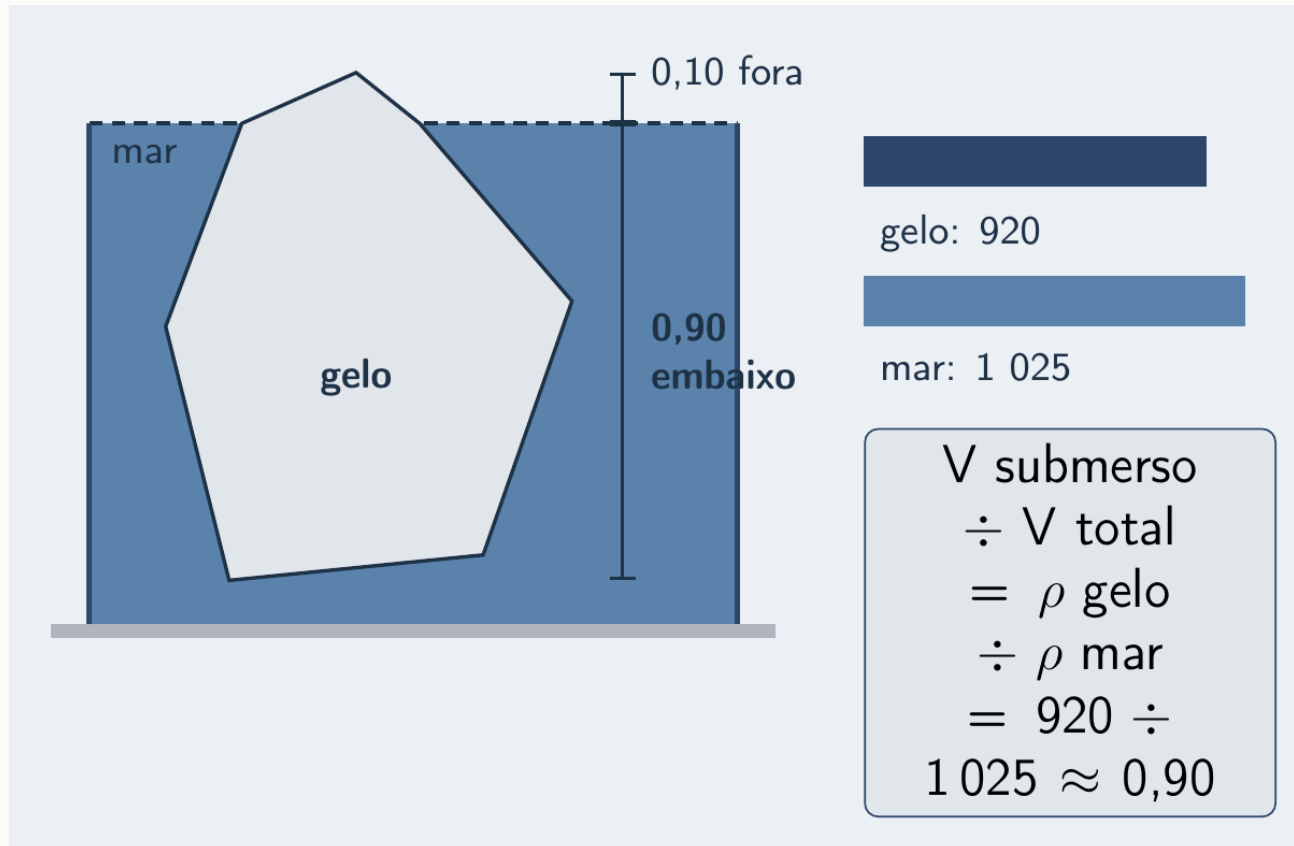
Resultado:

$$V_{\text{sub}} \approx \mathbf{2,6 \times 10^5\text{ m}^3}$$

$$\rho \approx \mathbf{1\,025\text{ kg/m}^3}$$

- volta a densidade do mar, não a do navio

Conceito 3 – Fração submersa



$$\frac{V_{\text{sub}}}{V_{\text{total}}} = \frac{\rho_{\text{corpo}}}{\rho_{\text{fluido}}}$$

- fora d'água: 1 menos essa razão
- ao contrário: fração dá a densidade

Exemplo resolvido – o iceberg

Gelo de 920 kg/m^3 no mar e na água doce

Fórmula:

$$f = \frac{\rho_{\text{gelo}}}{\rho_{\text{fluido}}}$$

Substituição:

$$f_{\text{mar}} = \frac{920}{1\,025}$$

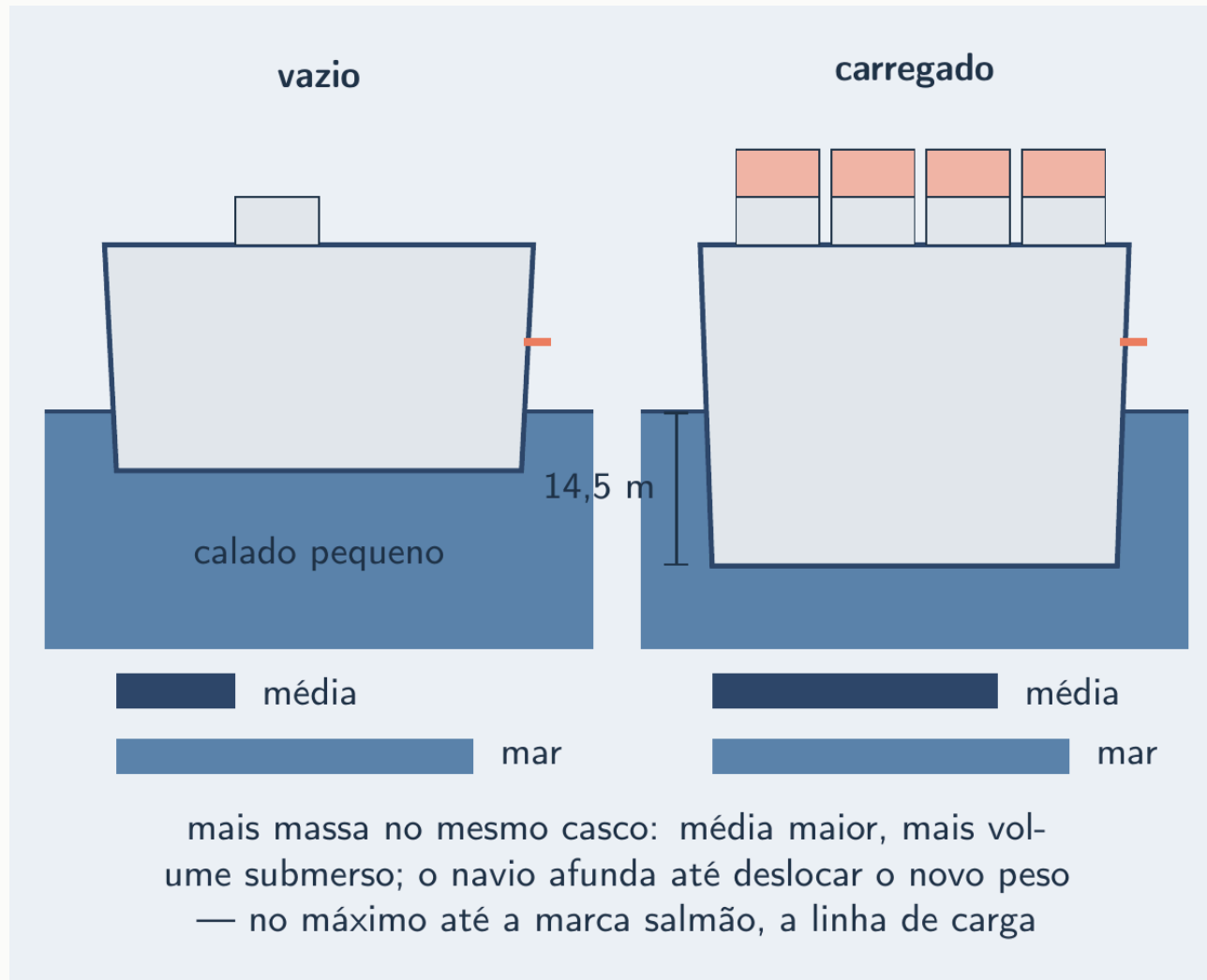
$$f_{\text{doce}} = \frac{920}{1\,000}$$

Resultado:

$$f_{\text{mar}} \approx \mathbf{0,90}$$

$$f_{\text{doce}} = \mathbf{0,92}$$

Conceito 4 – Carga, rio e mar



- carga sobe a média → casco afunda mais
- linha de carga: limite seguro no costado
- água doce, menos densa → **calado maior**

Exemplo resolvido – a barcaça

Barcaça de 1 000 t no rio (1 000 kg/m³) e no mar (1 025 kg/m³)

Fórmula:

$$V_{\text{sub}} = \frac{m}{\rho}$$

Substituição:

$$V_{\text{rio}} = \frac{10^6}{1\,000}$$

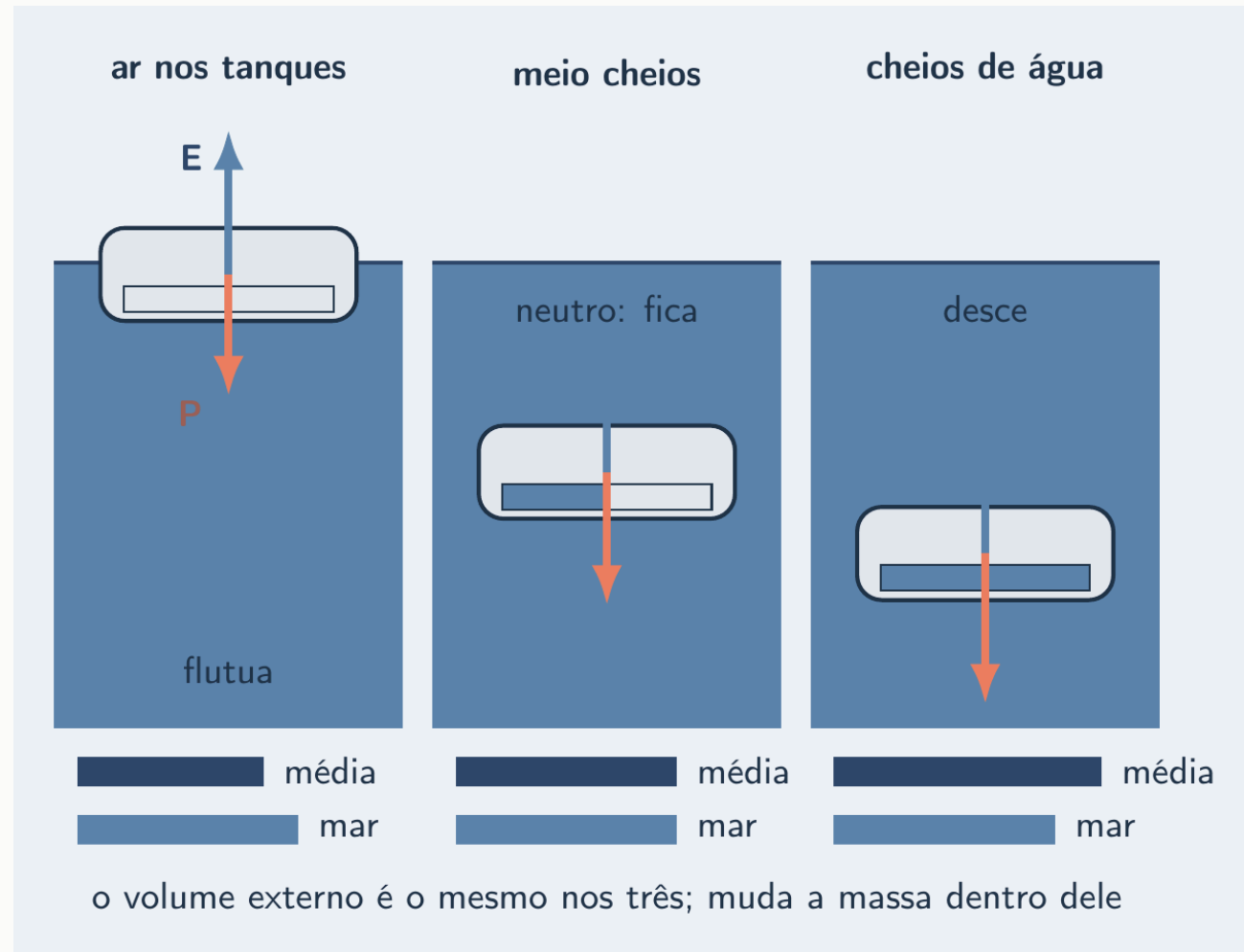
$$V_{\text{mar}} = \frac{10^6}{1\,025}$$

Resultado:

$$V_{\text{rio}} = \mathbf{1\,000\,m^3}$$

$$V_{\text{mar}} \approx \mathbf{976\,m^3}$$

Conceito 5 – O submarino



- volume fixo · **massa ajustável** (lastro)
- água entra → média acima do mar → desce
- ar expulsa a água → sobe · média igual → neutro

Exemplo resolvido – submarino na superfície

1 900 t flutuando no mar, tanques com ar

Fórmula:

$$V_{\text{sub}} = \frac{m}{\rho_{\text{mar}}}$$

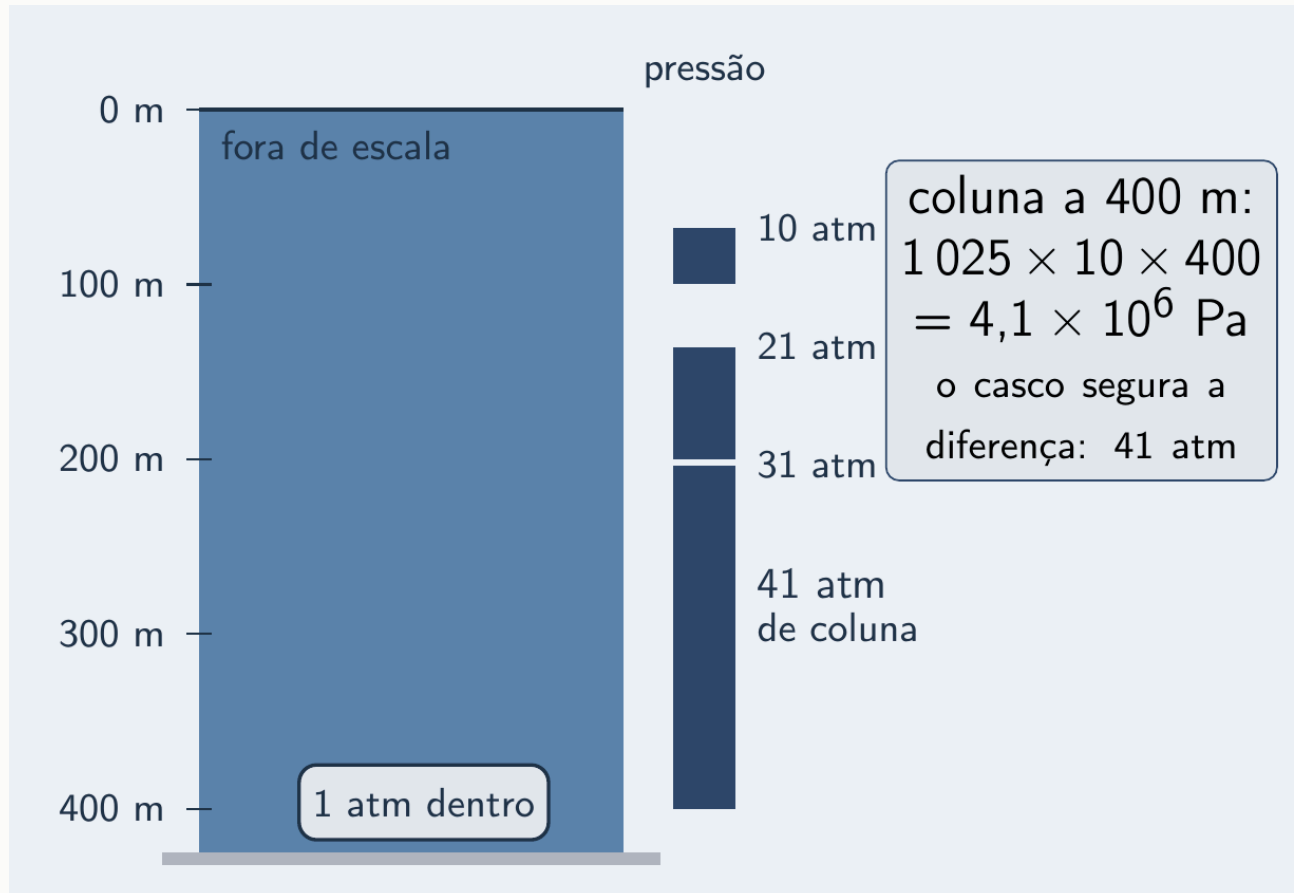
Substituição:

$$V_{\text{sub}} = \frac{1\,900\,000}{1\,025}$$

Resultado:

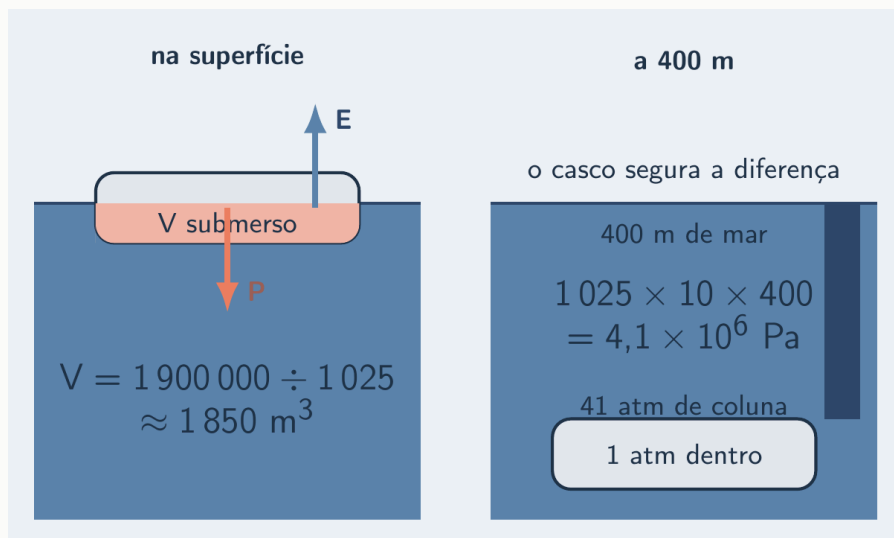
$$V_{\text{sub}} \approx \mathbf{1\,850\,m^3}$$

Conceito 6 – O limite de 400 m



- mais 1 atm a cada 10 m de mar
- casco segura **fora menos dentro**
- empuxo não muda com a fundura · a pressão sim

Exemplo resolvido – a 400 m



Mar de $1\,025\text{ kg/m}^3$ · superfície a 10^5 Pa

Fórmula:

$$\Delta p = \rho g h$$

$$p = p_0 + \Delta p$$

Substituição:

$$\Delta p = 1\,025 \cdot 10 \cdot 400$$

$$p = 10^5 + 4,1 \times 10^6$$

Resultado:

$$\Delta p = 4,1 \times 10^6\text{ Pa}$$

$$p = 4,2 \times 10^6\text{ Pa}$$

- só a coluna: 41 atm

Radar ENEM

flutua se $\rho \text{ média} < \rho \text{ do fluido}$

menor que
o fluido
flutua; fração
submersa
 $\rho \div \rho \text{ fluido}$

igual
fica parado
onde for solto

maior
afunda

~~o que é pesado afunda~~

corpo oco: a média, com o ar de dentro
massa dividida por V submerso é sempre o fluido
no rio o calado é maior; o sub-
marino desce aumentando a massa

- ✗ "pesado afunda"
- ✗ densidade da parede no oco
- ✗ massa sobre volume submerso
- ✗ fração fora pela submersa
- ✗ submarino "reduz o empuxo"
- ✓ média comparada com o fluido

Resumo em cinco peças

1 flutua se a densidade média é menor que a do fluido; maior, afunda

2 fração submersa
 $= \rho_{\text{corpo}} \div \rho_{\text{fluido}}$
iceberg: 0,90
embaixo d'água

3 o navio é aço
mais ar: média 340
contra 1
025; o prego
é só aço, 7 800

4 o submarino
ajusta a média com
lastro: volume fixo,
massa variável

5 a 400 m, 41 atm
a mais lá fora, uma
dentro: o limite
é o casco

1. compare densidades, não pesos

2. $f = \rho_{\text{corpo}} / \rho_{\text{fluido}}$

3. navio: aço com ar

4. submarino: massa é a torneira

5. 400 m: o casco limita

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m4/c9/lista>

Canarinho · lista do Episódio 9

Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/m4/c9/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m4/c9/lista>

Livro da minissérie



Com QR em cada capítulo, que
leva ao vídeo e à lista daquele
tema.

<https://professorcanario.com.br/mecanica4/livro/>