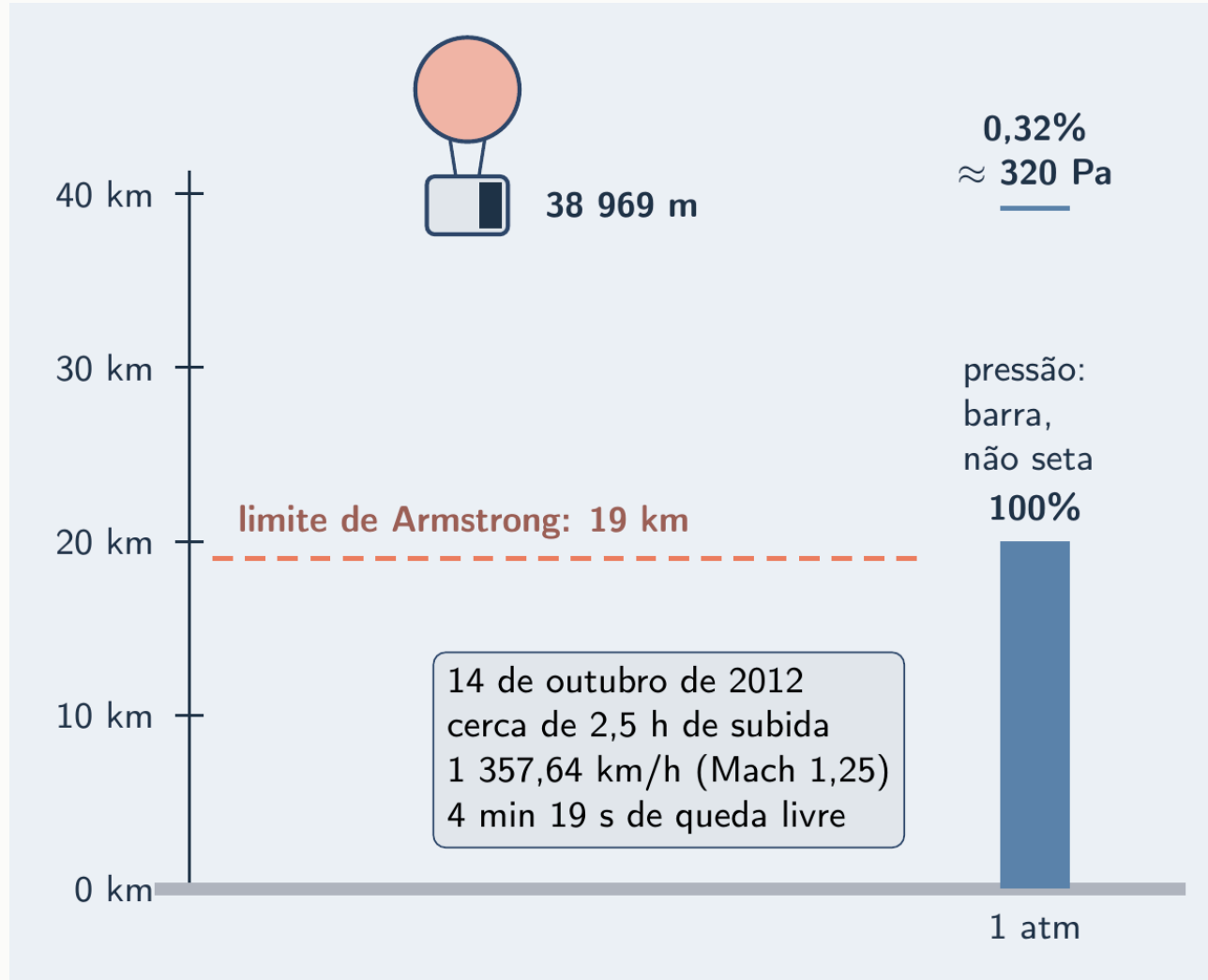


## Mecânica IV · Episódio 4

# O salto de onde o ar quase não pesa

Pressão, densidade e a atmosfera

# O caso



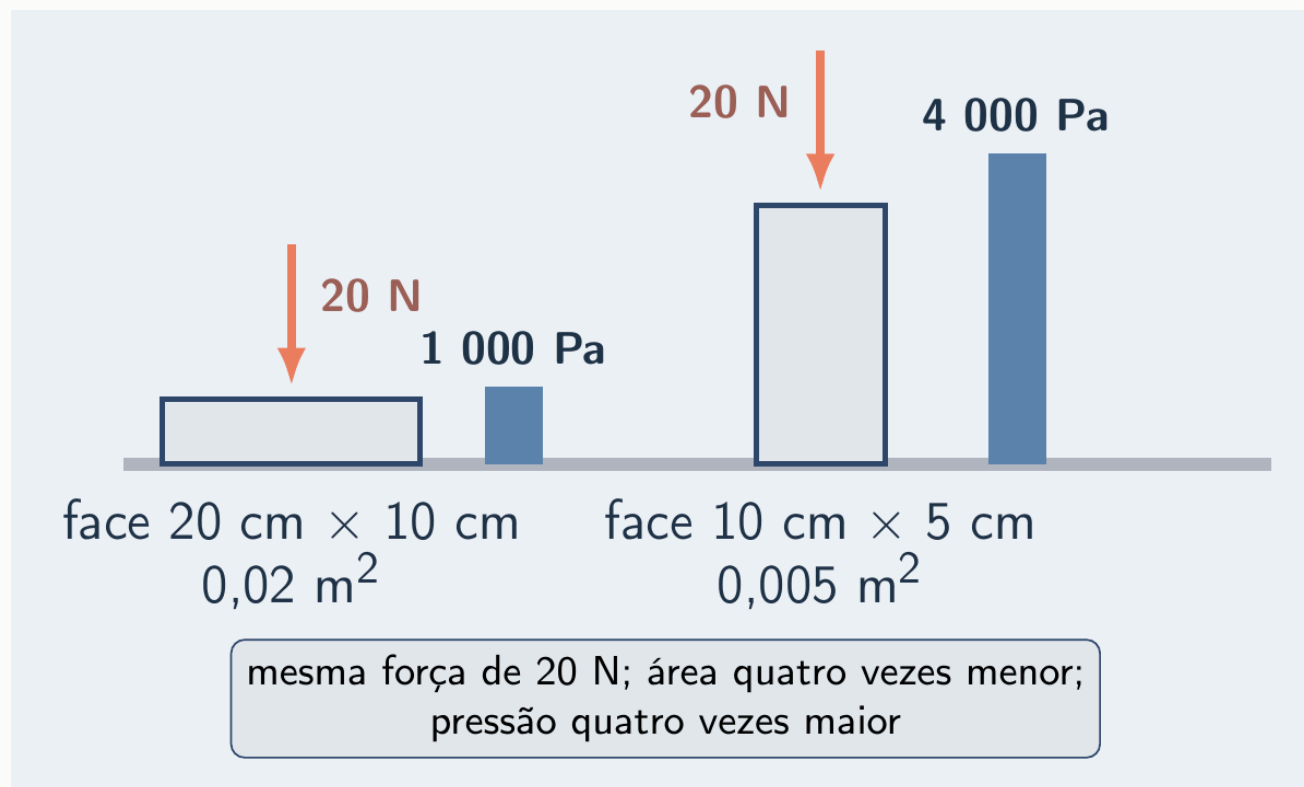
- 14/10/2012 · cápsula a 38 969 m após cerca de 2,5 h de subida
- queda livre de 4 min 19 s · 1 357,64 km/h · Mach 1,25
- lá fora: cerca de 320 Pa, 0,32% da pressão de baixo
- linha crítica a 19 km: limite de Armstrong

## Pergunta do episódio

---

**O que significa o ar "pesar" — e por que lá em cima ele quase não pesa?**

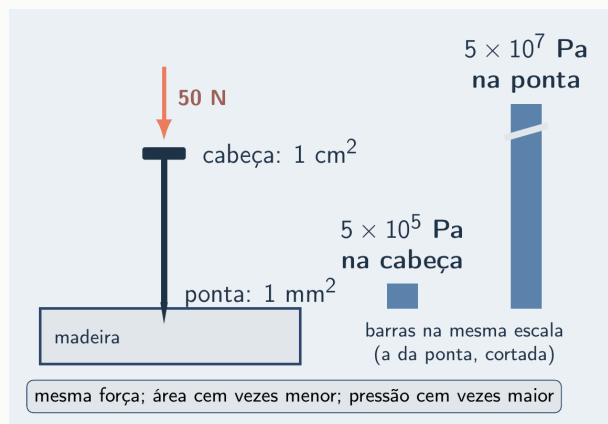
# Conceito 1 – Pressão



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

- unidade: pascal ·  
1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>
- escalar: desenhada como barra, nunca seta
- área 4 vezes menor →  
pressão 4 vezes maior

# Exemplo resolvido – prego e polegar



Martelada de 50 N · ponta de 1 mm² ·  
cabeça de 1 cm²

Fórmula:

$$p_{\text{ponta}} = \frac{F}{A_{\text{ponta}}}$$

$$p_{\text{cab}} = \frac{F}{A_{\text{cab}}}$$

Substituição:

$$p_{\text{ponta}} = \frac{50}{10^{-6}}$$

$$p_{\text{cab}} = \frac{50}{10^{-4}}$$

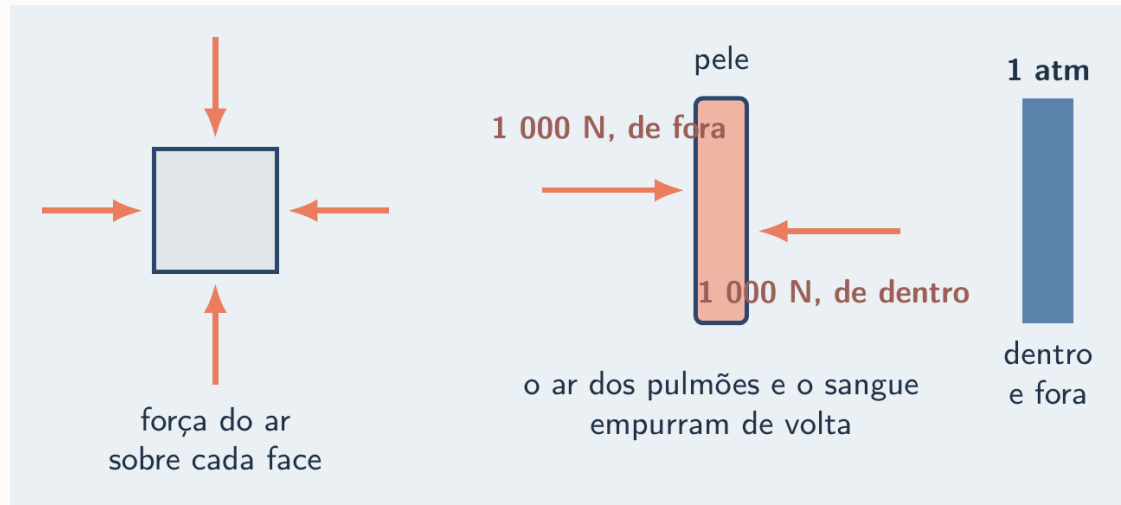
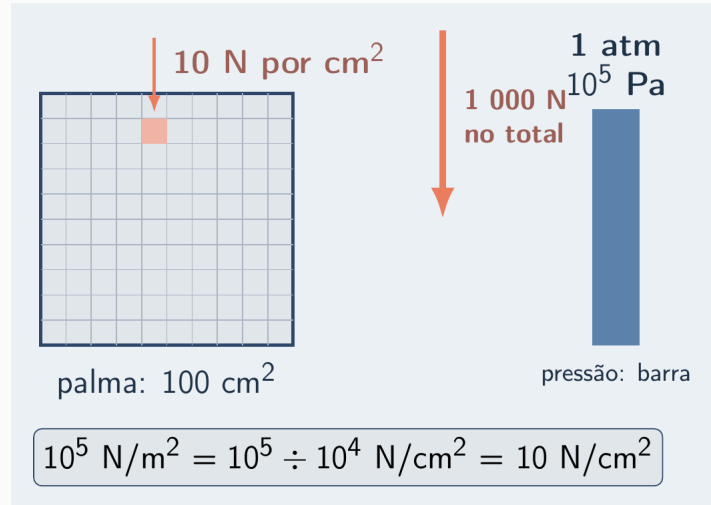
Resultado:

$$p_{\text{ponta}} = 5 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{cab}} = 5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

- áreas em m²

# Conceito 2 – Uma atmosfera



- nível do mar (exato:  $101\,325 \text{ Pa}$ ):

$$1 \text{ atm} \approx 10^5 \text{ Pa}$$

- de bolso:  $10 \text{ N/cm}^2 \cdot 10 \text{ t}$  de força por metro quadrado
- age em toda direção · o que fere é a **diferença**

## Exemplo resolvido — ar sobre a palma

---

Quanto vale  $10^5 \text{ Pa}$  em  $\text{N/cm}^2$ , e a força numa palma de  $100 \text{ cm}^2$ ?

Fórmula:

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

$$F = p A$$

Substituição:

$$p = \frac{10^5 \text{ N}}{10^4 \text{ cm}^2}$$

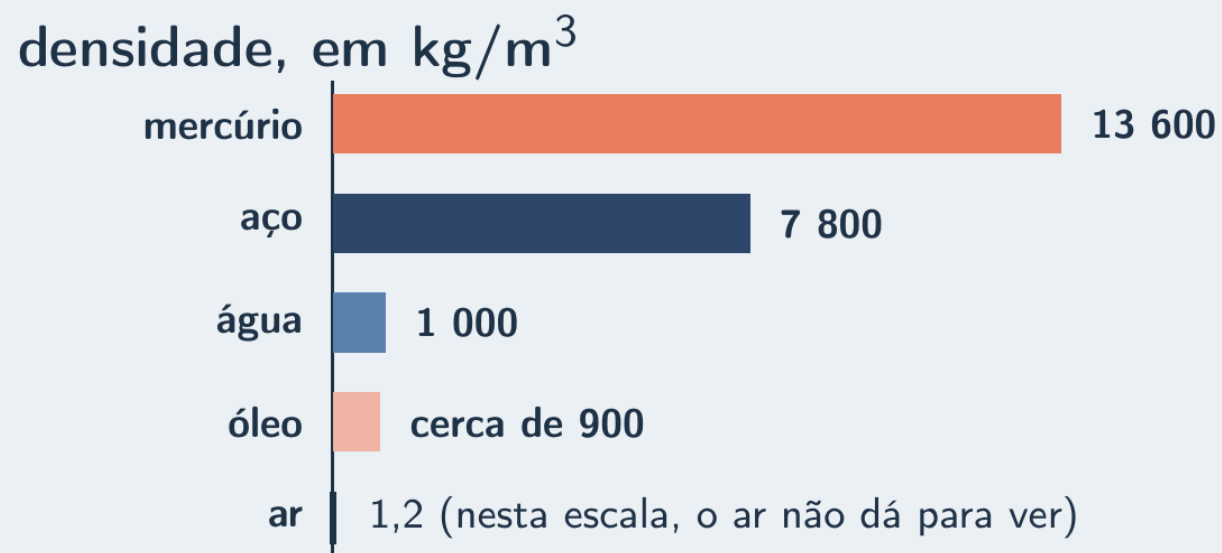
$$F = 10 \cdot 100$$

Resultado:

$$p = \mathbf{10 \text{ N/cm}^2}$$

$$F = \mathbf{1\ 000 \text{ N}}$$

# Conceito 3 – Densidade



densidade = massa  $\div$  volume  
escalar: barra, não seta

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

- em  $\text{kg/m}^3$  · escalar
- ar 1,2 · água 1 000 · mercúrio 13 600
- propriedade do material, não do tamanho

## Exemplo resolvido – garrafa de óleo

---

Garrafa com 2 L de óleo ( $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ): qual a massa?

Fórmula:

$$m = \rho V$$

Substituição:

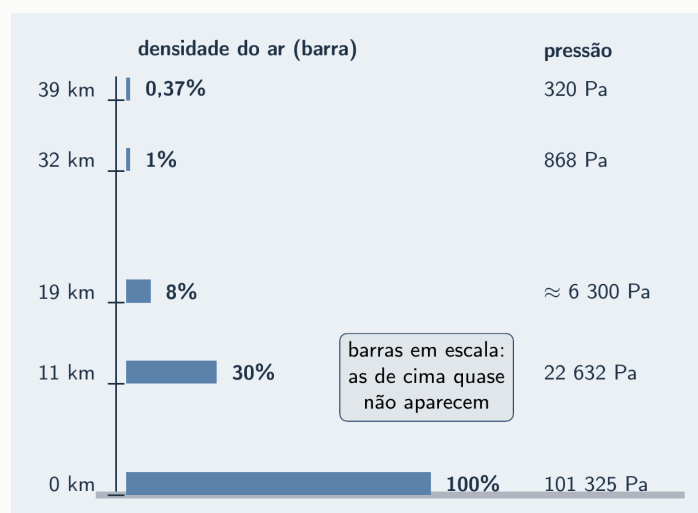
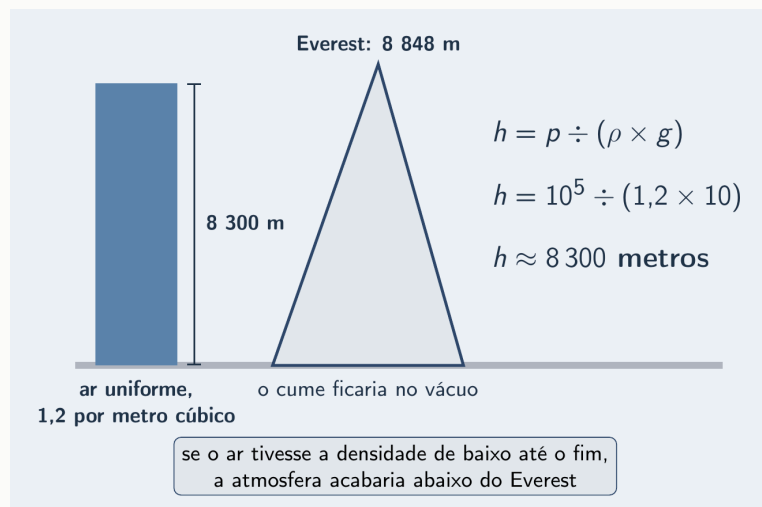
$$m = 900 \cdot 0,002$$

Resultado:

$$m = \mathbf{1,8 \text{ kg}}$$

- $V$  em  $\text{m}^3$

# Conceito 4 – Coluna que afina



- pressão no chão: peso do ar acima
- densidade constante:  
$$p = \rho g h$$
- ar comprime embaixo, rareia em cima · 11 km: 22% · 39 km: 0,32%

## Exemplo resolvido – ar uniforme

---

Ar com  $1,2 \text{ kg/m}^3$  até o topo: que altura dá  $10^5 \text{ Pa}$ ? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

Fórmula:

$$h = \frac{p}{\rho g}$$

Substituição:

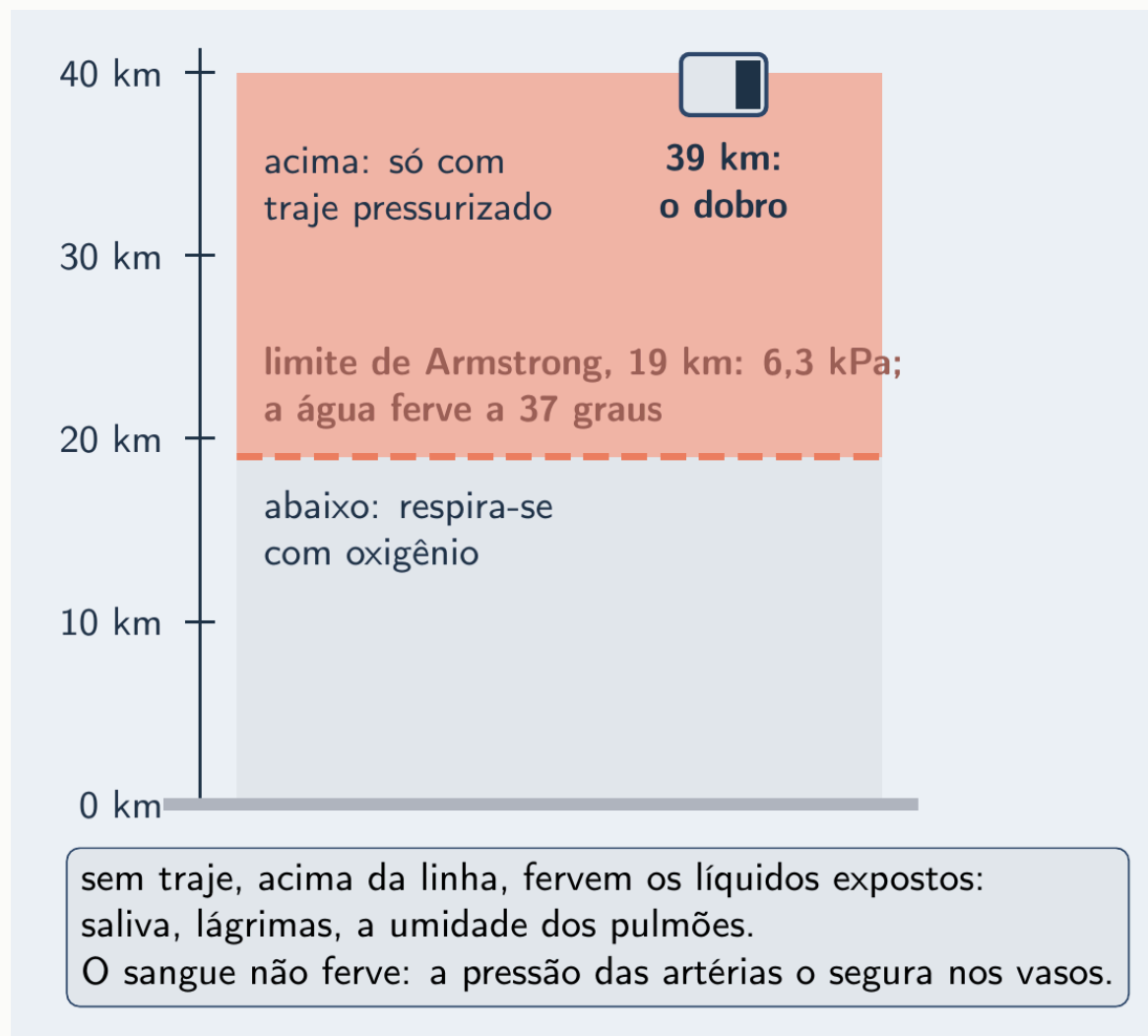
$$h = \frac{10^5}{1,2 \cdot 10} = \frac{10^5}{12}$$

Resultado:

$$h \approx \mathbf{8\ 300\ m}$$

- abaixo do Everest

# Conceito 5 – Limite de Armstrong



- cerca de 19 km · **6,3 kPa** · água ferve a 37 °C
- fervem saliva, lágrimas, umidade pulmonar
- sangue: não ferve, pressão arterial segura

## Exemplo resolvido – fração do limite

---

6,3 kPa em atm, e a cápsula (38 969 m) contra o limite (19 202 m)

Fórmula:

$$f = \frac{p}{p_0}$$

$$\text{razão} = \frac{h_{\text{cápsula}}}{h_{\text{limite}}}$$

Substituição:

$$f = \frac{6\,300}{100\,000}$$

$$\text{razão} = \frac{38\,969}{19\,202}$$

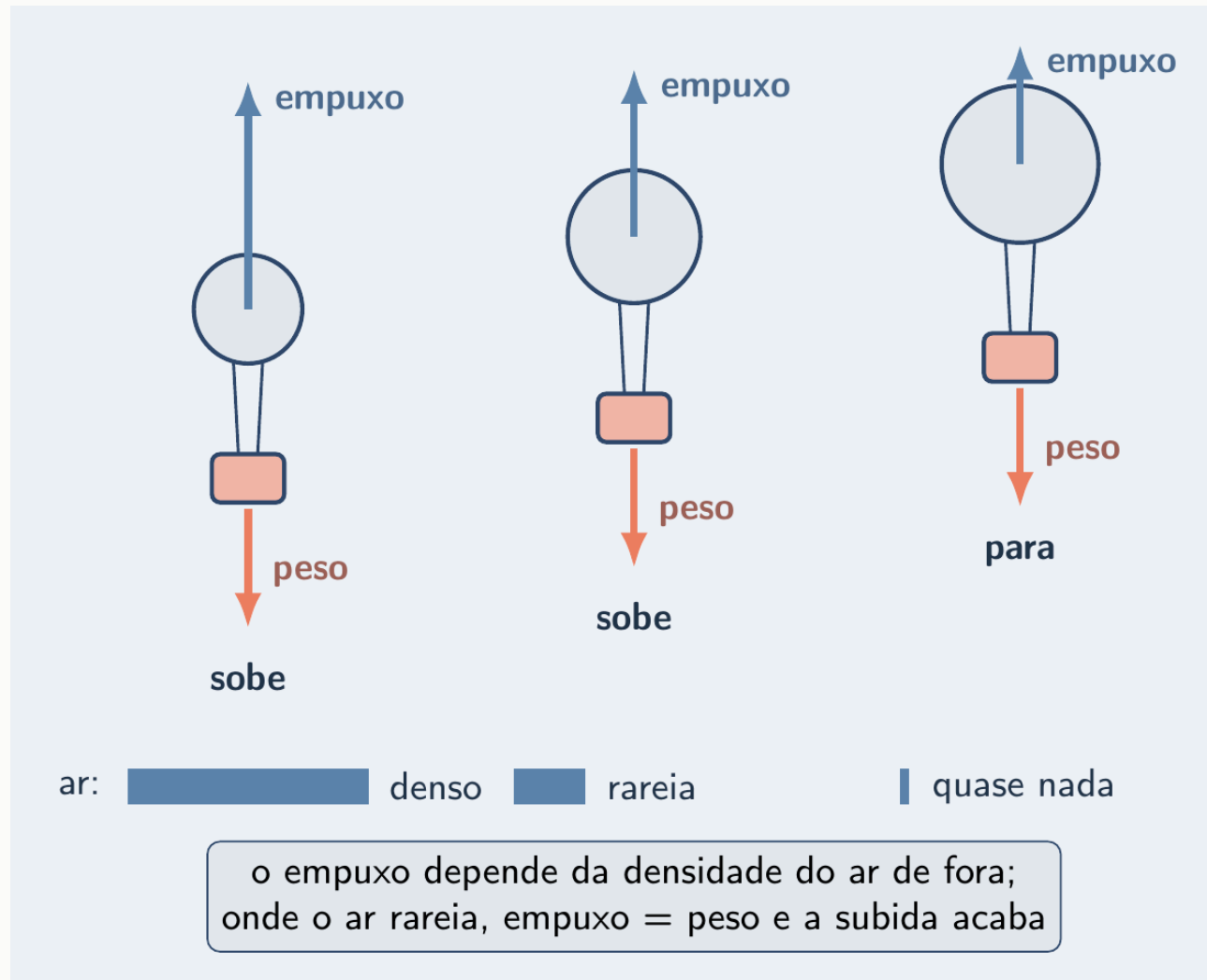
Resultado:

$$f = \mathbf{0,063\ atm}$$

$$\text{razão} \approx \mathbf{2}$$

- 6,3% da pressão · cápsula a cerca de 2 vezes o limite

## Conceito 6 – Onde o balão para



- empuxo cresce com volume e **densidade do ar externo**
- subindo: ar rareia → empuxo cai
- empuxo igual ao peso → resultante nula → fim da subida

## Exemplo resolvido — $1 \text{ m}^3$ de ar deslocado

---

Empuxo sobre  $1 \text{ m}^3$ : no chão ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ ) e a 39 km ( $0,0045 \text{ kg/m}^3$ )

Fórmula:

$$E_{\text{chão}} = \rho V g$$

$$E_{39} = \rho V g$$

Substituição:

$$E_{\text{chão}} = 1,2 \cdot 1 \cdot 10$$

$$E_{39} = 0,0045 \cdot 1 \cdot 10$$

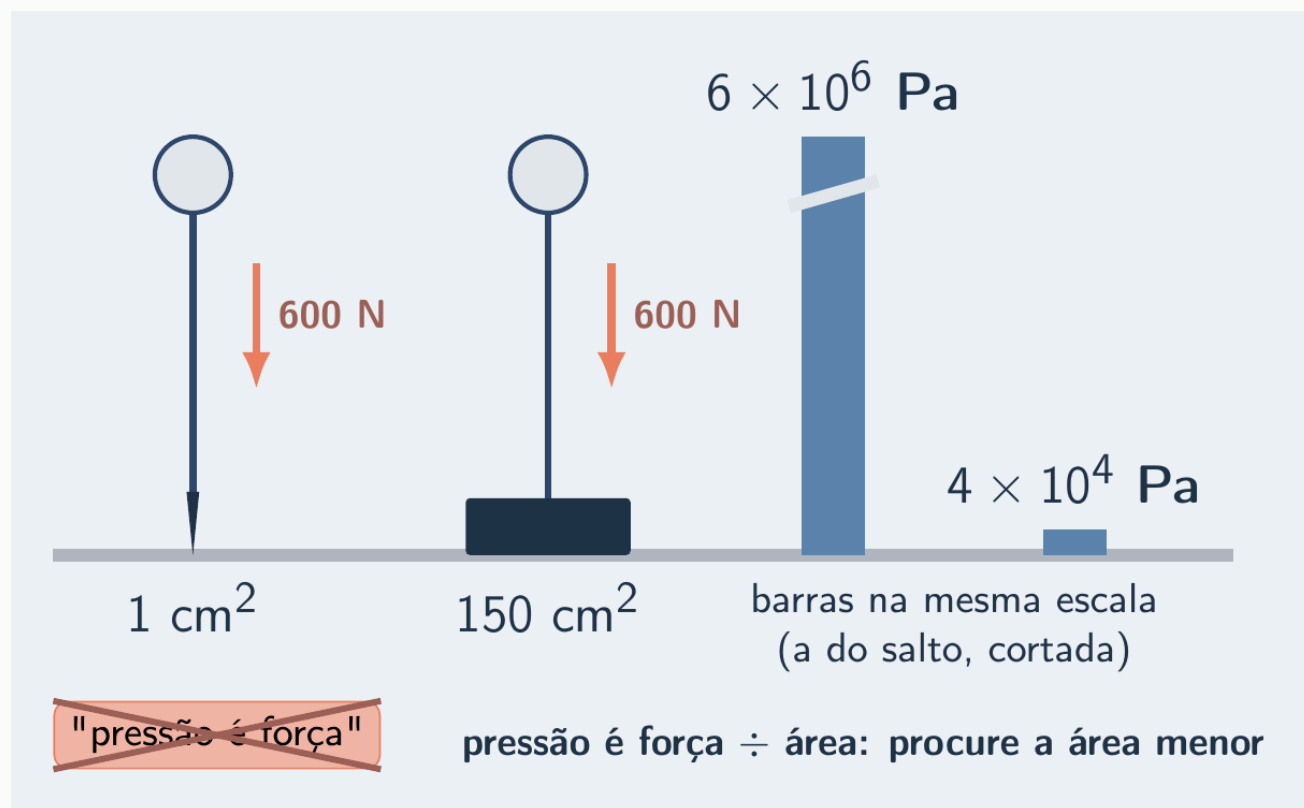
Resultado:

$$E_{\text{chão}} = \mathbf{12 \text{ N}}$$

$$E_{39} = \mathbf{0,045 \text{ N}}$$

- cerca de 270 vezes menos

# Radar ENEM



- ~~X~~ "pressão de  $20\text{ N}$ " · ✓ força em N, pressão em Pa
- ~~X~~  $1\text{ cm}^2 = 10^{-2}\text{ m}^2$  · ✓  $10^{-4}\text{ m}^2$
- ~~X~~ massa por área · ✓ peso ( $mg$ ) por área
- ~~X~~ peça maior, mais densa · ✓ densidade é do material
- ~~X~~ sangue ferve a  $19\text{ km}$  · ✓ só líquidos expostos

# Resumo em cinco peças

**1** pressão =  
força ÷ área:  
mesma força,  
área menor,  
pressão maior

**2** pascal; uma  
atmosfera: cem mil  
pascals, dez newtons  
por cm quadrado

**3** densidade =  
massa ÷ volume:  
ar 1,2; água 1 000;  
mercúrio 13 600

**4** a atmosfera é uma  
coluna que  
afina: a 39 km  
sobram três  
milésimos

**5** o ar em-  
purra de todos  
os lados, e  
o de dentro  
empurra de volta:  
não esmaga

1.  $p = \frac{F}{A}$ , em pascal

2.  $1 \text{ atm} \approx 10^5 \text{ Pa} = 10 \text{ N/cm}^2$

3.  $\rho = \frac{m}{V}$ , do material

4. coluna de ar rareia subindo

5. dentro e fora se equilibram

# Treine no jogo

---



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m4/c4/lista>

Canarinho · lista do Episódio 4

# Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

## Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/m4/c4/video>

## Lista no app



As questões deste episódio,  
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m4/c4/lista>

## Livro da minissérie



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

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