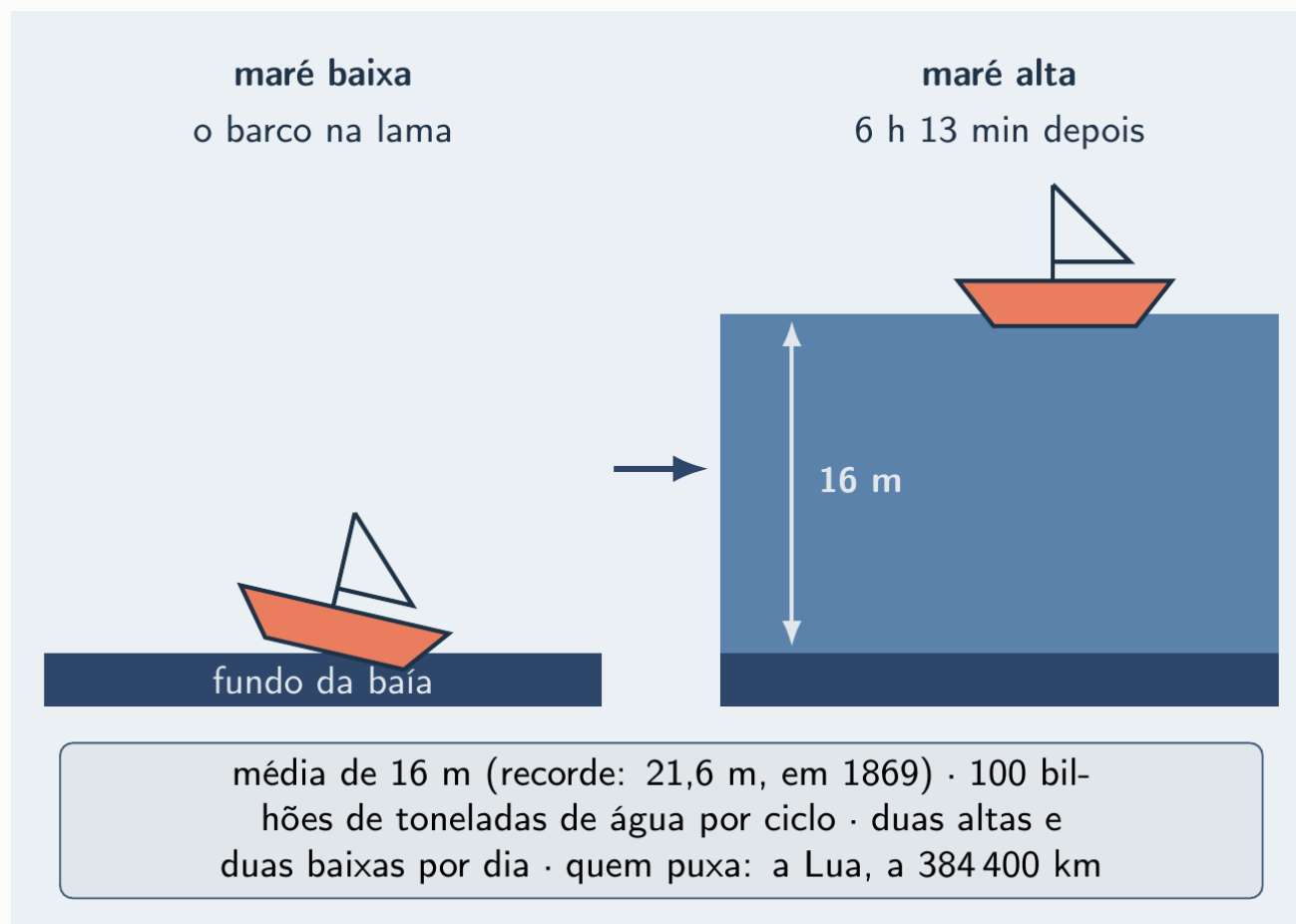


Mecânica III · Episódio 9

A baía que sobe dezesseis metros duas vezes por dia

Marés e o freio da Lua

O caso

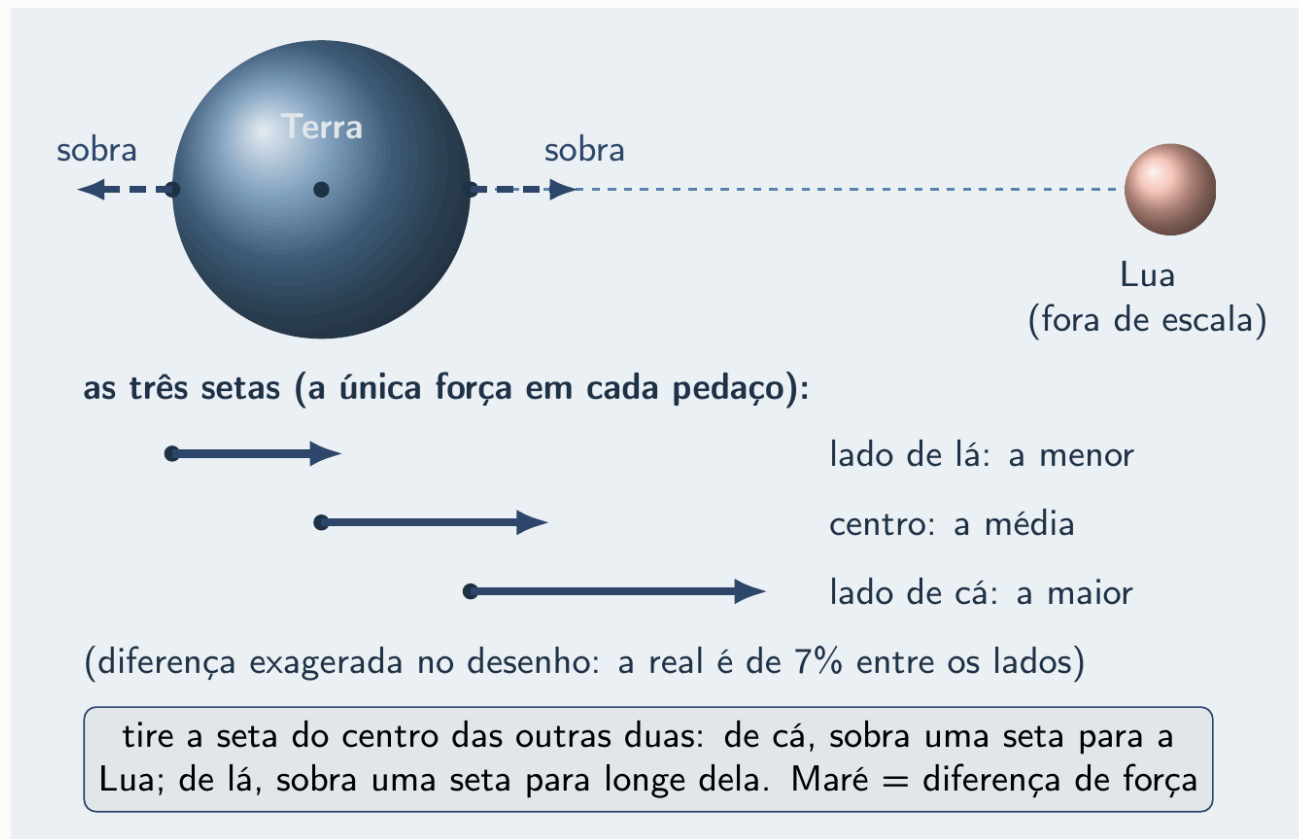


- baía no Canadá: maré média de **16 m** · recorde de 21,6 m (1869)
- da baixa à alta: **6 h 13 min**
- **100 bilhões de toneladas** de água por ciclo
- duas altas e duas baixas por dia · a Lua a 384 400 km

Pergunta do episódio

Por que o mar sobe dos dois lados da Terra ao mesmo tempo — e quem paga essa conta?

Conceito 1 – Maré é diferença



- três pedaços da Terra: lado de cá, centro, lado de lá
- em cada um, a atração da Lua:
$$F = \frac{G M m}{d^2}$$
- cá: maior · centro: média · lá: menor
- sobra de cá: para a Lua · sobra de lá: para longe dela

Exemplo resolvido – os dois lados

Lua a 384 400 km do centro · raio da Terra: 6 400 km · A: lado de cá ·
B: lado de lá

Fórmula:

$$\frac{F_A}{F_B} = \left(\frac{d + R}{d - R} \right)^2$$

Substituição:

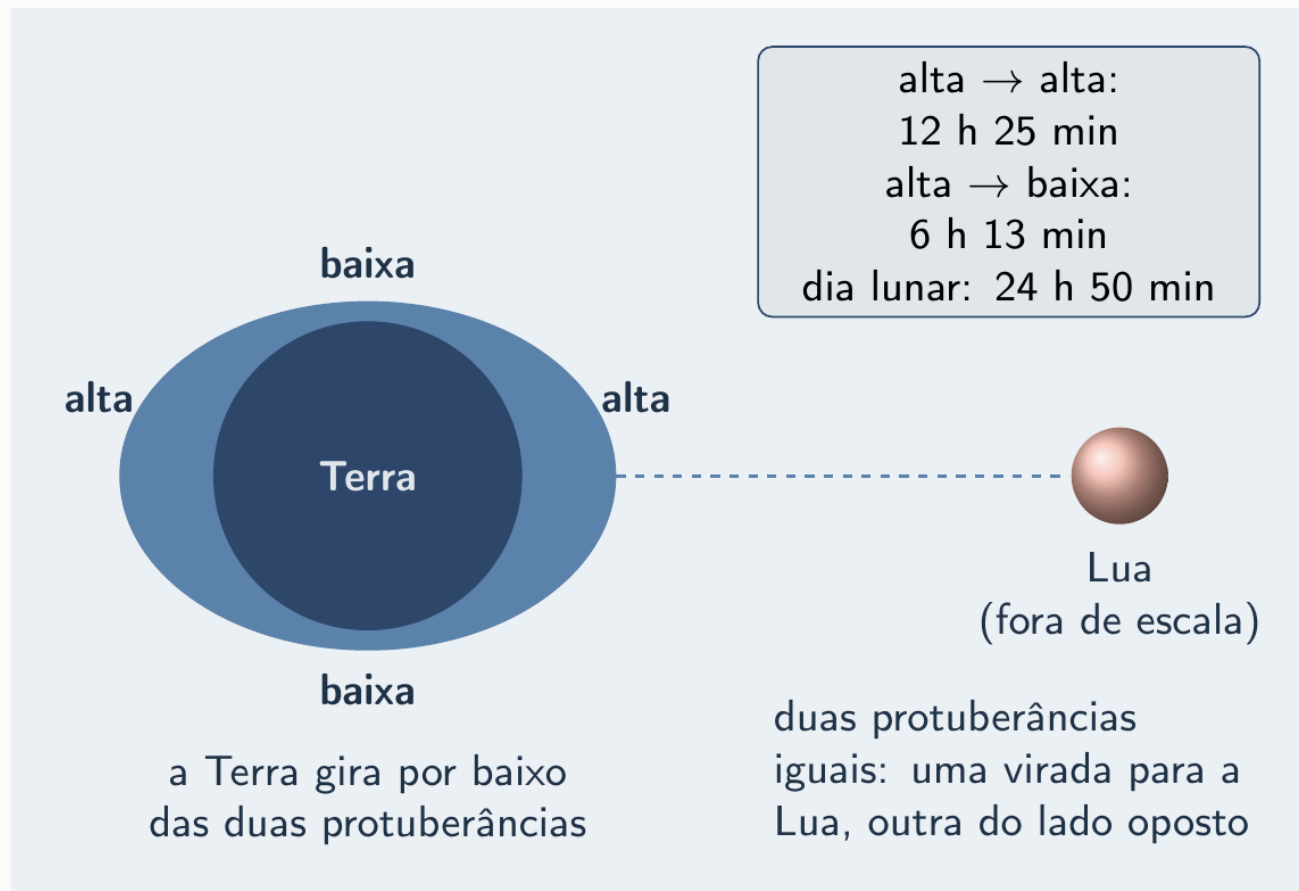
$$\frac{F_A}{F_B} = \left(\frac{390\,800}{378\,000} \right)^2$$

Resultado:

$$\frac{F_A}{F_B} \approx \mathbf{1,069}$$

- 7% entre os lados · cerca de 3% de cada lado ao centro

Conceito 2 – Duas altas por dia



- água em **duas protuberâncias** iguais · analogia: corda puxada por três em fila
- Terra gira por baixo · cada praia: 2 altas, 2 baixas
- dia lunar: 24 h 50 min · maré atrasa uns 50 min por dia

Exemplo resolvido – o relógio da maré

Dia lunar de 1 490 min (24 h 50 min)

Fórmula:

$$t_{\text{altas}} = \frac{T_{\text{lunar}}}{2}$$

$$t_{\text{baixa}} = \frac{T_{\text{lunar}}}{4}$$

Substituição:

$$t_{\text{altas}} = \frac{1\,490}{2}$$

$$t_{\text{baixa}} = \frac{1\,490}{4}$$

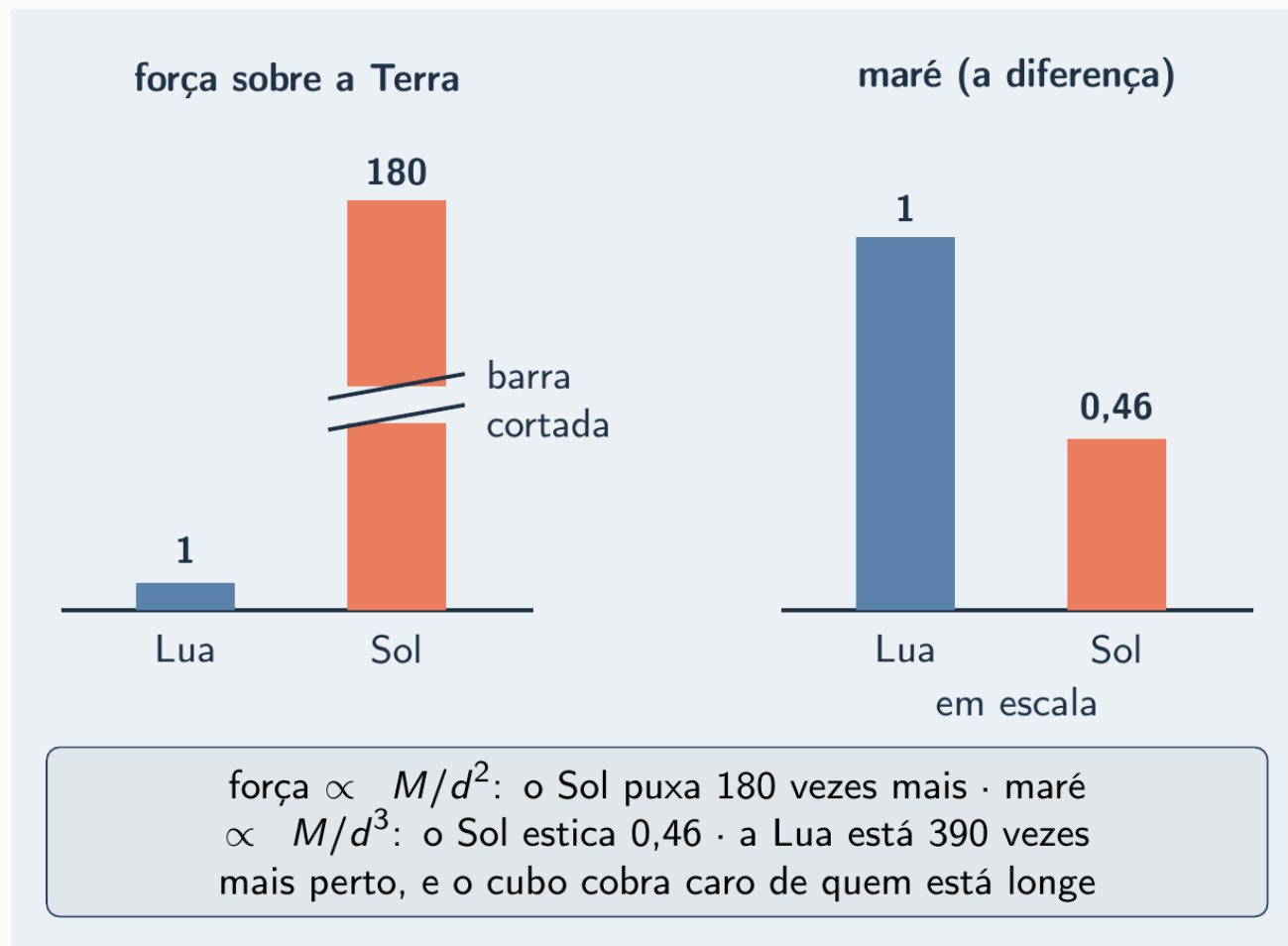
Resultado:

$$t_{\text{altas}} = \mathbf{745\,min}$$

$$t_{\text{baixa}} \approx \mathbf{373\,min}$$

- 12 h 25 min entre altas · 6 h 13 min até a baixa

Conceito 3 – O cubo escondido



- força: $\frac{M}{d^2}$ · maré: $\frac{M}{d^3}$
- Sol: 27 milhões de vezes a massa · 390 vezes mais longe
- distância dobrada → força um quarto, maré um oitavo
- na praia: dois terços Lua, um terço Sol

Exemplo resolvido – Sol contra Lua: a força

S : Sol, L : Lua · massas: $2,0 \times 10^{30}$ e $7,3 \times 10^{22}$ kg · distâncias: $1,5 \times 10^{11}$ e $3,84 \times 10^8$ m

Fórmula:

$$\frac{F_S}{F_L} = \frac{M_S}{M_L} \left(\frac{d_L}{d_S} \right)^2$$

Substituição:

$$\frac{F_S}{F_L} = 2,7 \times 10^7 \cdot 6,6 \times 10^{-6}$$

Resultado:

$$\frac{F_S}{F_L} \approx \mathbf{180}$$

Exemplo resolvido – Sol contra Lua: a maré

A : altura da maré · S : Sol, L : Lua · a força do Sol é 180 vezes a da Lua

Fórmula:

$$\frac{A_S}{A_L} = \frac{F_S}{F_L} \cdot \frac{d_L}{d_S}$$

Substituição:

$$\frac{A_S}{A_L} = 180 \cdot 2,56 \times 10^{-3}$$

Resultado:

$$\frac{A_S}{A_L} \approx \mathbf{0,46}$$

Conceito 4 – Sizígia e quadratura

sizígia (Lua nova ou cheia)

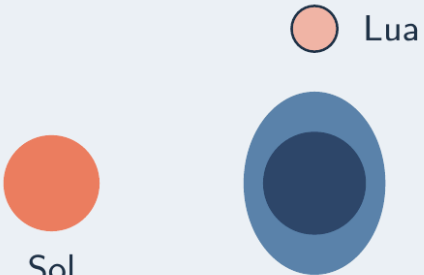


Sol

Lua

as duas marés somam: $1 + 0,46 = 1,46$

quadratura (quartos)

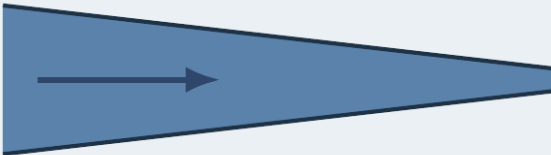


Sol

Lua

cruzam: $1 - 0,46 = 0,54$

no mar aberto: menos de 1 m
na baía: 16 m, em média
recorde: 21,6 m (1869)



a baía, comprida, estreita e cada vez mais rasa, amplifica a onda; a ida e volta da água leva cerca de 12,5 h, quase o intervalo entre altas: ressonância

- Lua nova e cheia: alinhados → marés **somam**
- quartos: ângulo reto → marés **cruzam**
- mar aberto: menos de 1 m
- baía comprida e rasa: **ressonância** (ida e volta em 12,5 h)

Exemplo resolvido – maré grande e maré pequena

Maré da Lua: 1 · maré do Sol: 0,46

Fórmula:

Substituição:

Resultado:

$$A_{\text{siz}} = A_{\text{Lua}} + A_{\text{Sol}}$$

$$A_{\text{siz}} = 1 + 0,46$$

$$A_{\text{siz}} = \mathbf{1,46}$$

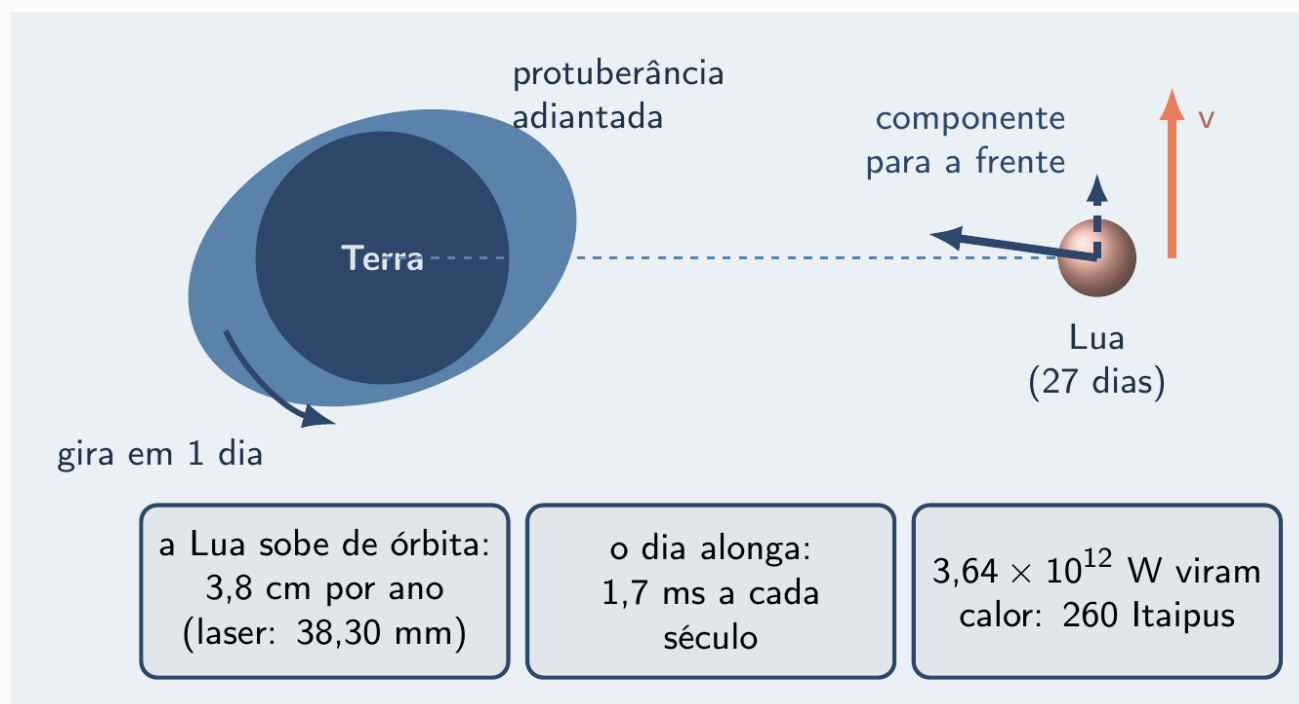
$$A_{\text{quad}} = A_{\text{Lua}} - A_{\text{Sol}}$$

$$A_{\text{quad}} = 1 - 0,46$$

$$A_{\text{quad}} = \mathbf{0,54}$$

- em unidades da maré da Lua sozinha

Conceito 5 – O freio



- Terra gira em 1 dia · Lua orbita em 27 dias
- protuberância **adiantada** puxa a Lua para a frente
- Lua ganha energia → sobe de órbita
- reação: Terra gira mais devagar · dia alonga 1,7 ms por século

Exemplo resolvido – o preço do freio

Recuo medido por laser: 3,83 cm por ano · potência dissipada:
 $3,64 \times 10^{12} \text{ W}$ · Itaipu: $1,4 \times 10^{10} \text{ W}$

Fórmula:

$$\Delta d = \text{taxa} \cdot t$$

$$N = \frac{P_{\text{maré}}}{P_{\text{usina}}}$$

Substituição:

$$\Delta d = 3,83 \cdot 100$$

$$N = \frac{3,64 \times 10^{12}}{1,4 \times 10^{10}}$$

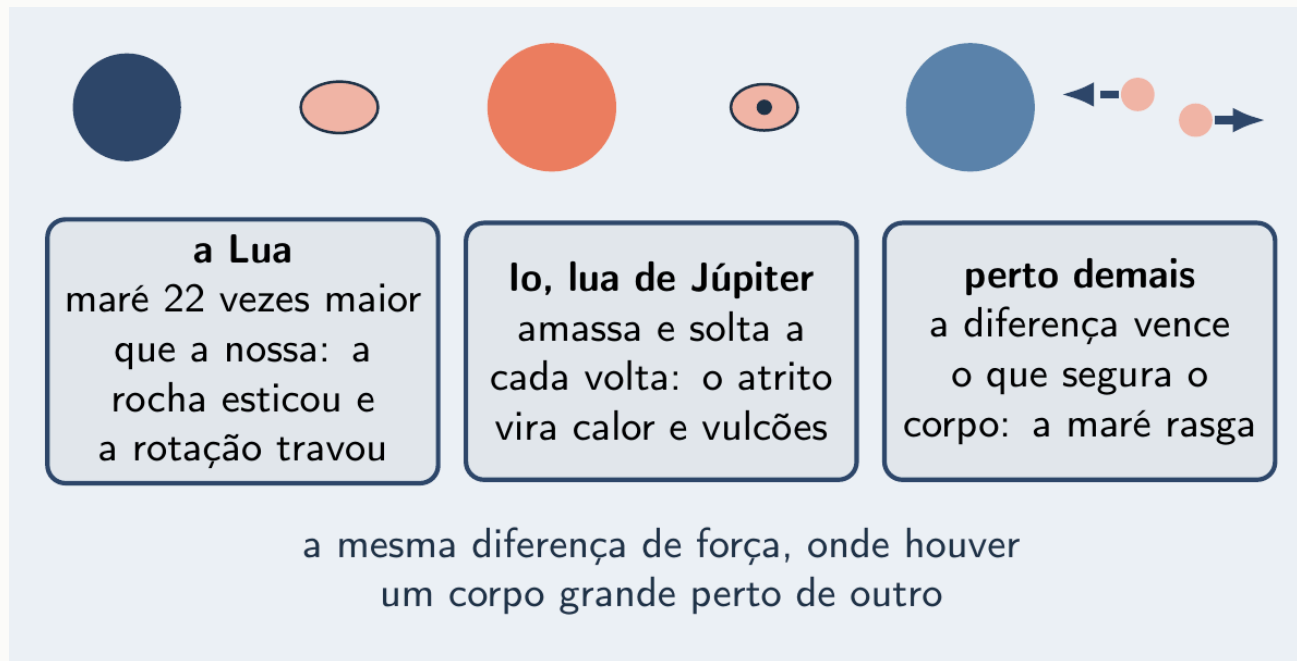
Resultado:

$$\Delta d \approx \mathbf{3,8 \text{ m}}$$

$$N = \mathbf{260}$$

- por século · energia vira calor no mar raso

Conceito 6 – A mesma diferença, em outros lugares



- Lua: maré de rocha travou a rotação → mesma face
- Io: amassa e solta → calor → vulcões
- perto demais: maré **rasga** · anéis de Saturno

Exemplo resolvido – a maré da Terra na Lua

Terra: 81 vezes a massa da Lua · raio da Lua: 0,27 do raio da Terra

Fórmula:

$$\frac{A_{\text{na Lua}}}{A_{\text{na Terra}}} = \frac{M_T}{M_L} \cdot \frac{R_L}{R_T}$$

Substituição:

$$\frac{A_{\text{na Lua}}}{A_{\text{na Terra}}} = 81 \cdot 0,27$$

Resultado:

$$\frac{A_{\text{na Lua}}}{A_{\text{na Terra}}} \approx \mathbf{22}$$

- mesma distância · diferença de força entre os lados

Radar ENEM



dois lados,
duas altas

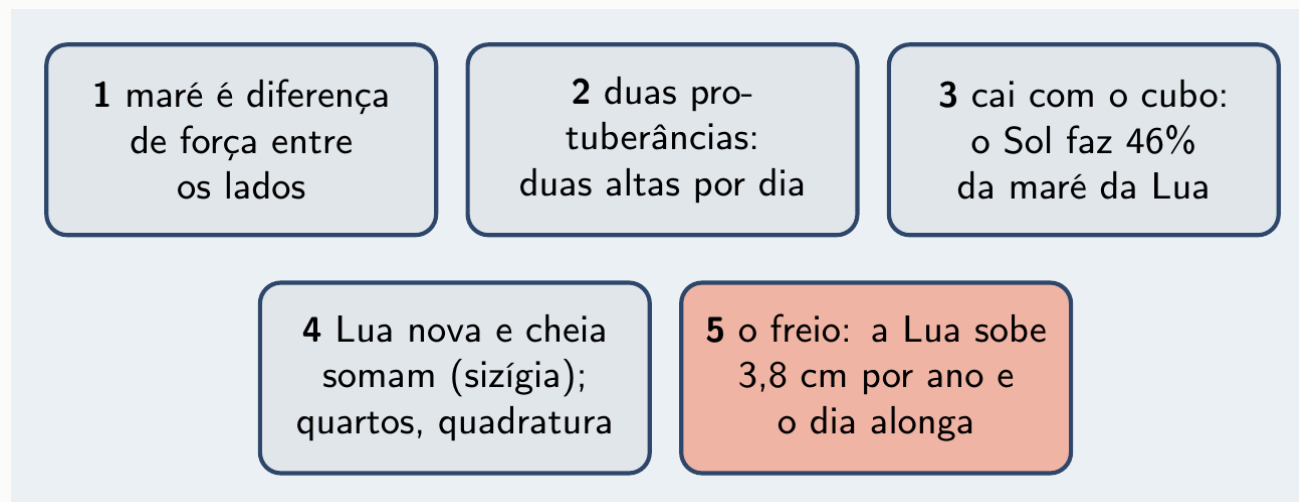
maré = diferença de força;
duas protuberâncias,
duas altas por dia;
a diferença cai com o
cubo: Sol = 46% da Lua;
Lua nova e cheia somam (sizígia);
 $F = GMm/d^2$, de centro a centro

~~a água sobe só do lado da Lua,
só a Lua faz maré;
o Sol faz mais maré porque puxa mais;
a Lua levanta 16 m sozinha~~

os 16 m são da forma da baía (ressonância);
no mar aberto, menos de 1 m

- ✗ água sobe só do lado da Lua
- ✗ só a Lua faz maré
- ✗ Sol puxa mais, logo faz mais maré
- ✗ Lua cheia: maré grande; nova: pequena
- ✓ força com $\frac{1}{d^2}$ · maré com $\frac{1}{d^3}$ · d de centro a centro

Resumo em cinco peças



1. maré: diferença de força
2. duas protuberâncias, duas altas
3. cubo da distância: Sol 46%
4. sizígia soma, quadratura cruza
5. freio: Lua sobe, dia alonga

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m3/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/m3/c9/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m3/c9/lista>

Livro da minissérie



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

<https://professorcanario.com.br/mecanica3/livro/>