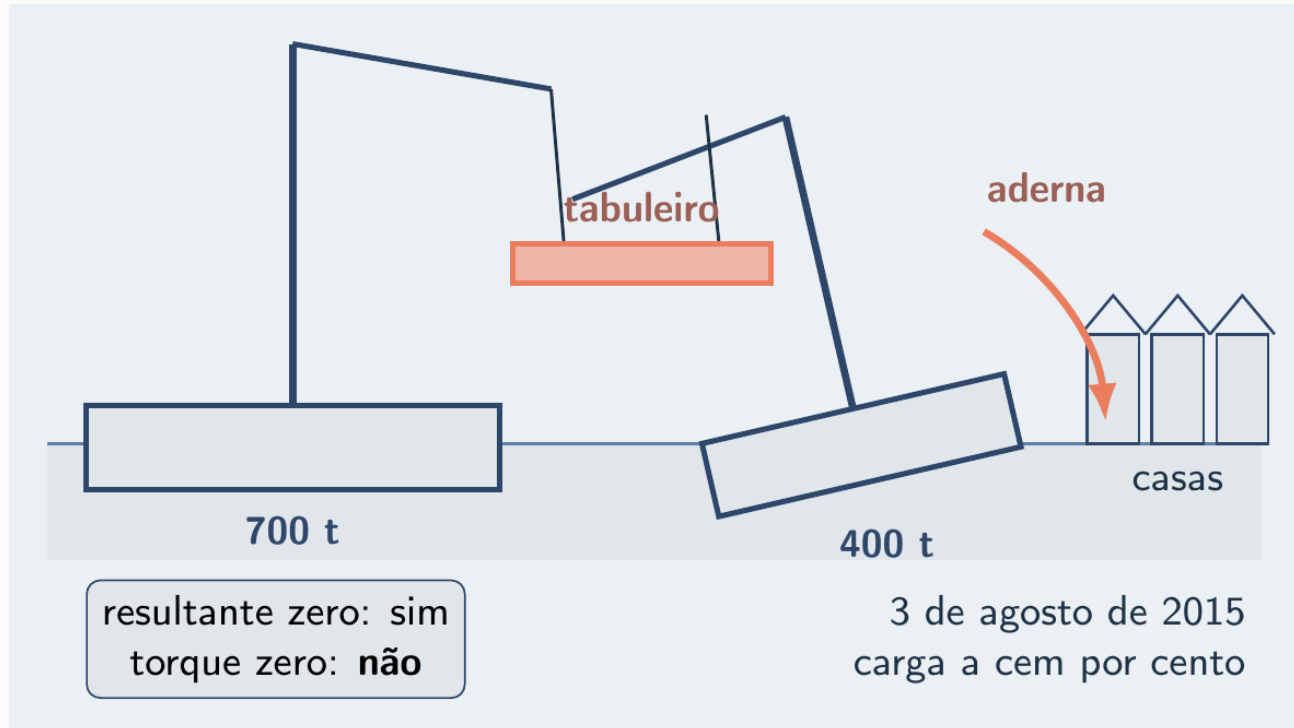


Mecânica IV · Episódio 1

Os guindastes que tombaram com uma ponte no gancho

Torque e equilíbrio de rotação

O caso



- 3/8/2015 · Alphen aan den Rijn (Países Baixos)
- guindastes de 400 t e 700 t, em tandem, sobre balsas
- tabuleiro de aço levado por cerca de 100 m sobre o canal
- carga a 100% da capacidade · lastro mal distribuído

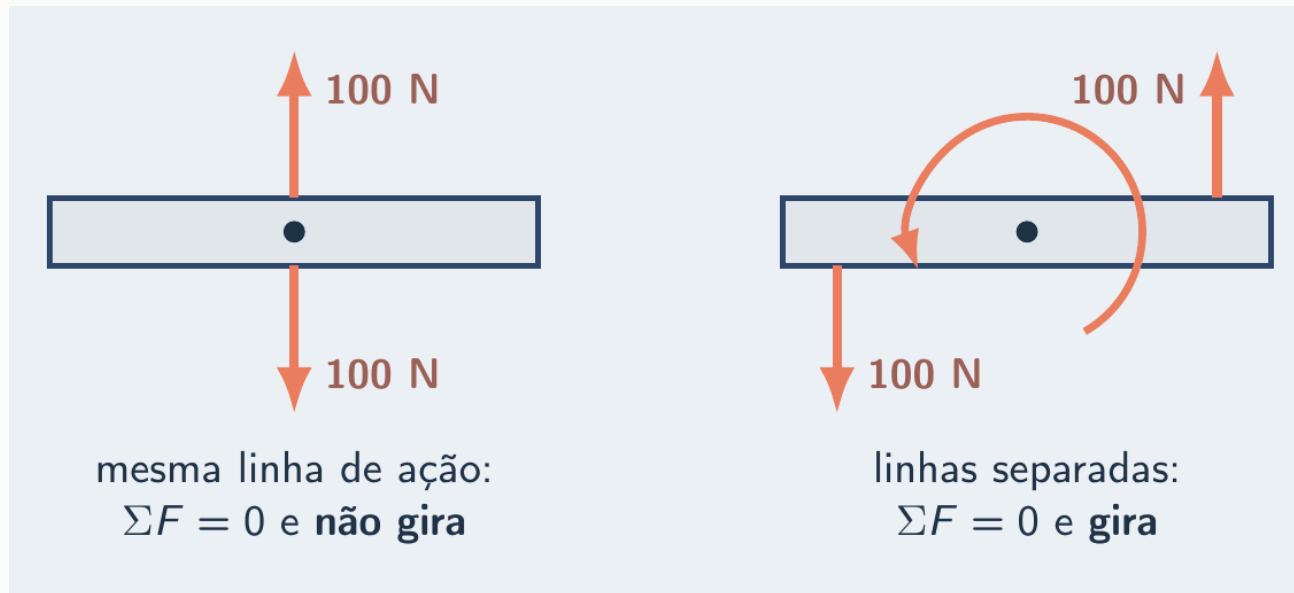
O que o laudo mostra

- a água sustentava a balsa: $\Sigma F = 0$
- carga longe do centro: giro sem contrapartida
- 58 moradores retirados · 4 imóveis muito danificados
- nenhuma margem para vento ou balanço

Pergunta do episódio

Se as forças se cancelavam, por que a balsa virou?

Conceito 1 – Resultante zero não basta



- **corpo extenso**: cada força tem seu ponto
- duas perguntas: desliza? · gira?
- forças em retas separadas → giro com $\Sigma F = 0$

Exemplo resolvido — a prancha que gira

Prancha: 100 N para cima numa ponta, 100 N para baixo na outra

Fórmula:

$$\Sigma F = F_1 - F_2$$

Substituição:

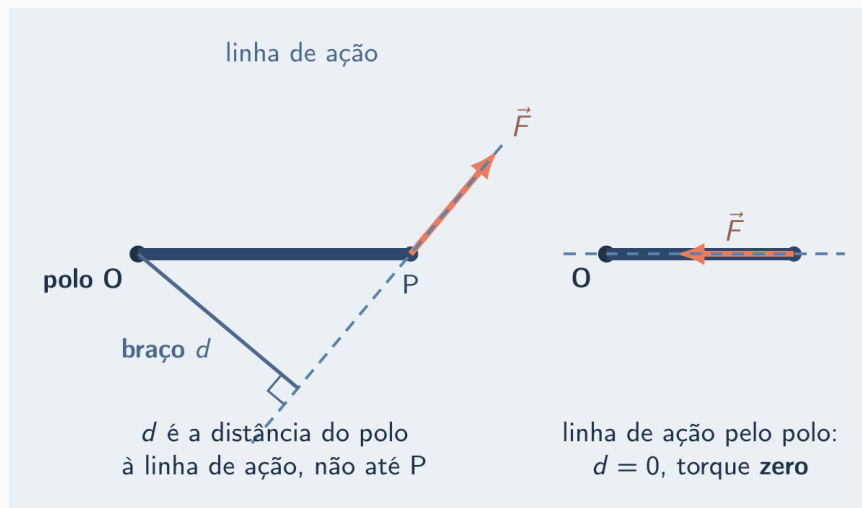
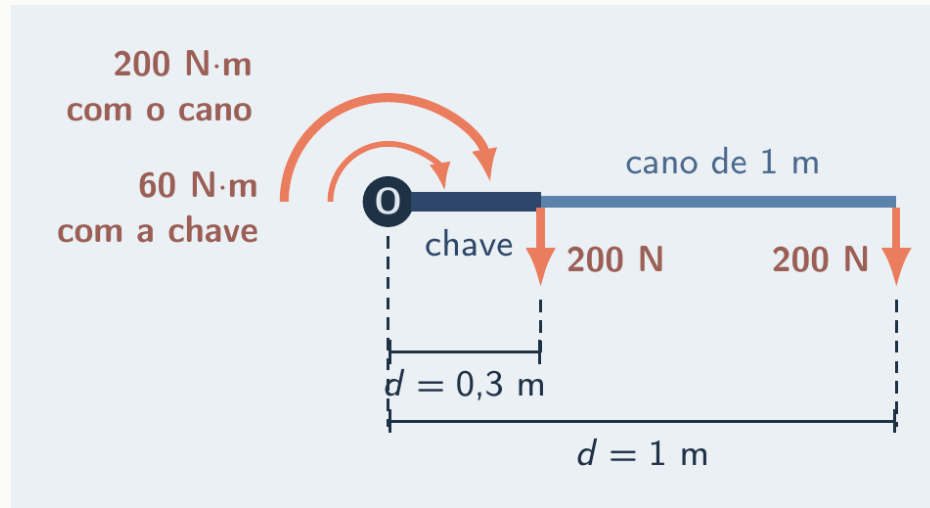
$$\Sigma F = 100 - 100$$

Resultado:

$$\Sigma F = \mathbf{0\ N}$$

- e mesmo assim ela gira

Conceito 2 – Torque



$$\tau = F d$$

- unidade: $\text{N} \cdot \text{m}$ (também "momento")
- d : do polo até a **linha de ação**, em ângulo reto
- reta da força pelo polo $\rightarrow$ braço 0 $\rightarrow \tau = 0$

Exemplo resolvido – chave e cano

200 N na ponta da chave (0,3 m) e depois na ponta do cano (1 m) ·
polo no eixo da porca

Fórmula:

$$\tau_{\text{chave}} = F d_{\text{chave}}$$

$$\tau_{\text{cano}} = F d_{\text{cano}}$$

Substituição:

$$\tau_{\text{chave}} = 200 \cdot 0,3$$

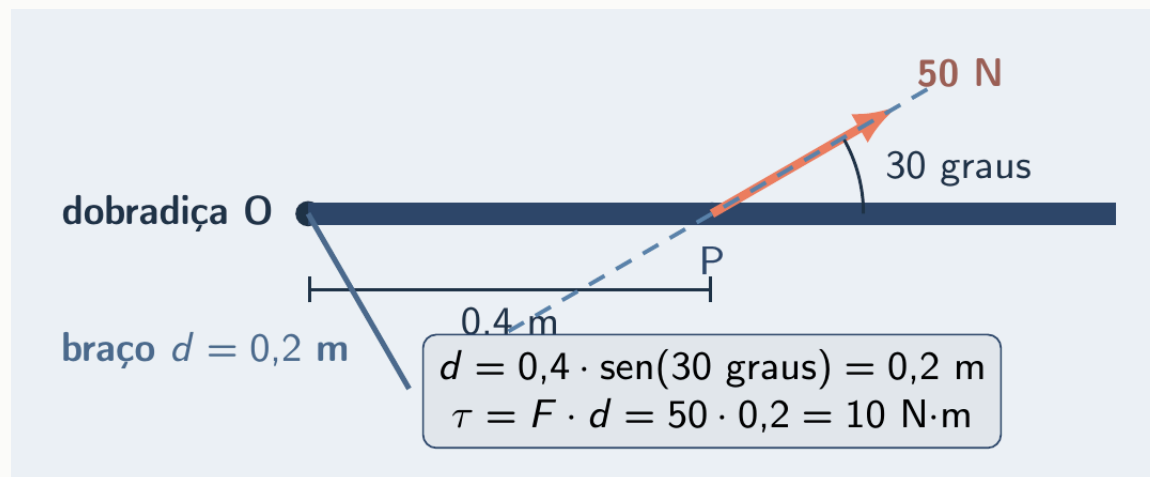
$$\tau_{\text{cano}} = 200 \cdot 1$$

Resultado:

$$\tau_{\text{chave}} = \mathbf{60 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

$$\tau_{\text{cano}} = \mathbf{200 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

Exemplo resolvido – a porta empurrada torta



50 N a 0,4 m da dobradiça, a 30° da porta ($\text{sen } 30^\circ = 0,5$)

Fórmula:

$$d = 0,4 \text{ sen } 30^\circ$$

$$\tau = F d$$

Substituição:

$$d = 0,4 \cdot 0,5$$

$$\tau = 50 \cdot 0,2$$

Resultado:

$$d = \mathbf{0,2 \text{ m}}$$

$$\tau = \mathbf{10 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

- perpendicular seria $20 \text{ N} \cdot \text{m}$

Conceito 3 – Sentido e sinal



- anti-horário: **+** · horário: **-**
- torque se desenha como **arco**, não como seta reta
- somar com sinal; ler o sentido no resultado

Exemplo resolvido – quem vence na roda

Roda: 30 N a 0,2 m (horário) contra 20 N a 0,5 m (anti-horário)

Fórmula:

$$\tau_2 = +F_2 d_2$$

$$\tau_1 = -F_1 d_1$$

$$\Sigma\tau = \tau_2 + \tau_1$$

Substituição:

$$\tau_2 = +20 \cdot 0,5$$

$$\tau_1 = -30 \cdot 0,2$$

$$\Sigma\tau = 10 - 6$$

Resultado:

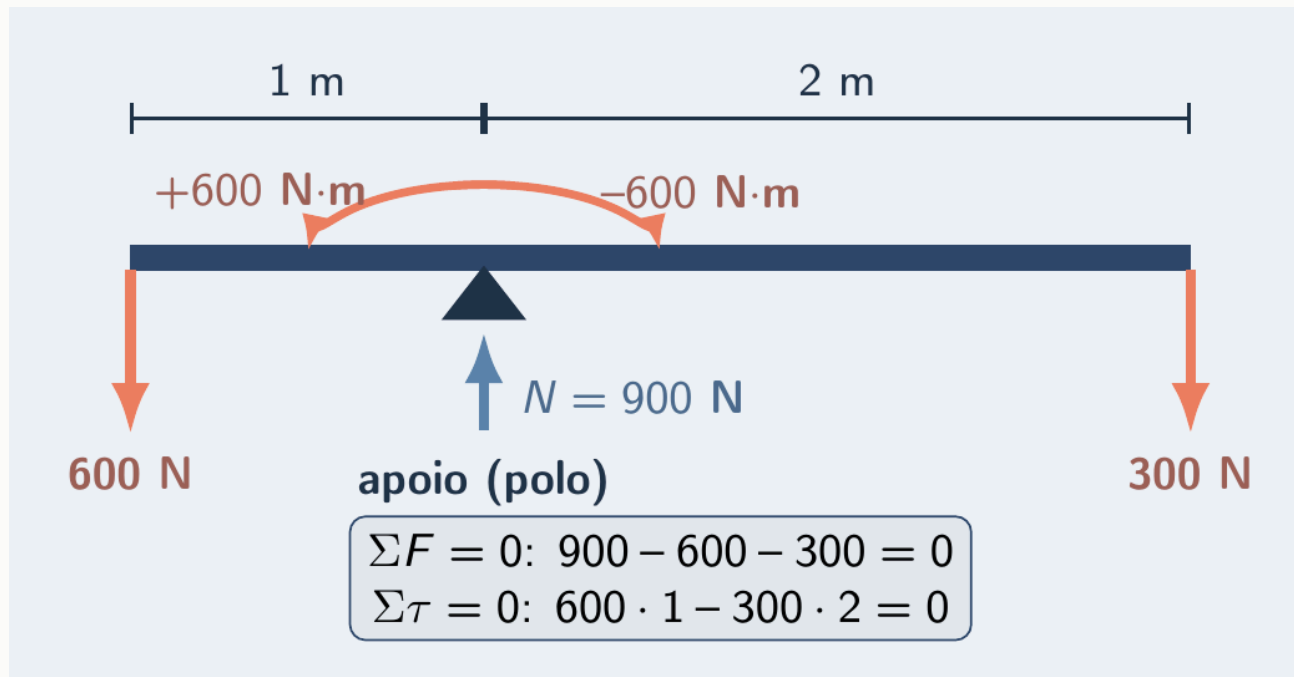
$$\tau_2 = +10 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\tau_1 = -6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\Sigma\tau = +4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- gira anti-horário (vence quem tem mais braço)

Conceito 4 – As duas condições



- 1ª: $\Sigma F = 0 \rightarrow$ não acelera
- 2ª: $\Sigma \tau = 0 \rightarrow$ não gira
- barra com um apoio:

$$F_1 d_1 = F_2 d_2$$

Exemplo resolvido – a barra apoiada

Barra leve de 3 m, apoio a 1 m da esquerda · 600 N à esquerda · 300 N à direita

Fórmula:

Substituição:

Resultado:

$$\Sigma \tau = +600 d_1 - 300 d_2$$

$$\Sigma \tau = 600 \cdot 1 - 300 \cdot 2$$

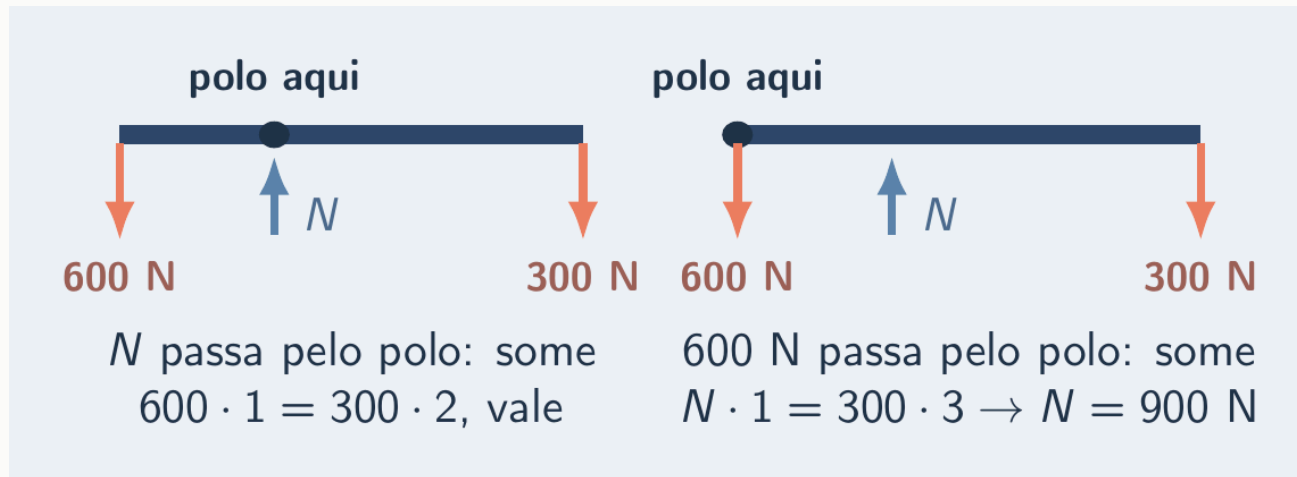
$$\Sigma \tau = \mathbf{0}$$

$$N = P_1 + P_2$$

$$N = 600 + 300$$

$$N = \mathbf{900\text{ N}}$$

Conceito 5 – Polo à escolha



- em equilíbrio: $\Sigma \tau = 0$ para **qualquer** polo
- polo sobre a incógnita $\rightarrow$ ela some da conta
- declarar o polo antes de multiplicar

Exemplo resolvido – outro polo, mesma normal

Mesma barra, polo agora na ponta esquerda (600 N saem da conta)

Fórmula:

$$N d_N = P_2 d_2$$

Substituição:

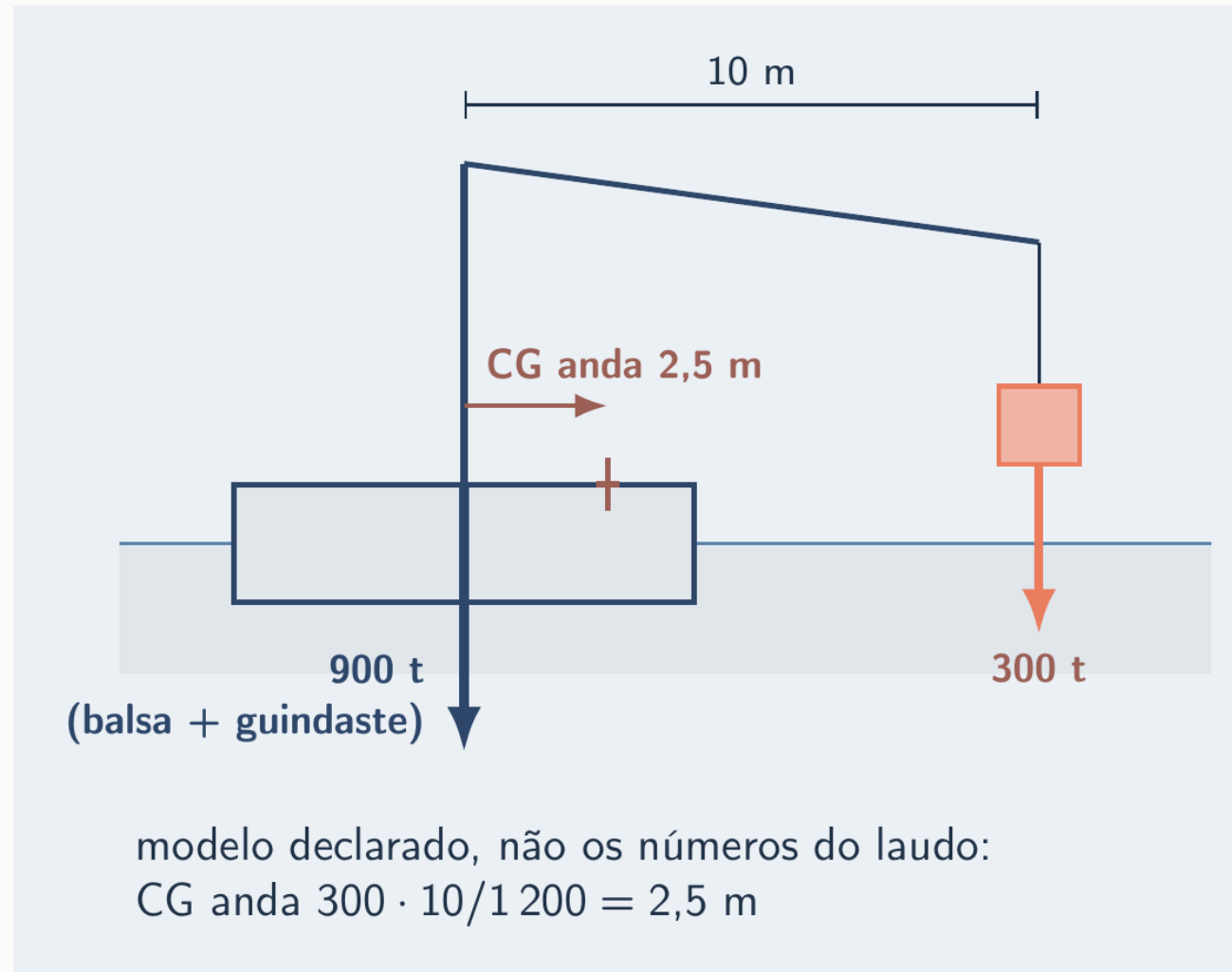
$$N \cdot 1 = 300 \cdot 3$$

Resultado:

$$N = \mathbf{900\ N}$$

- igual ao da 1ª condição

Conceito 6 – A balsa em modelo



- modelo declarado (não é o laudo): 900 t + 300 t a 10 m
- CG: média dos pesos pelas posições
- o empuxo corrige até a borda do casco · lastro ajuda

Exemplo resolvido — o CG que anda

Balsa 900 t no centro · carga 300 t a 10 m · $g = 10 \text{ m/s}^2$

Fórmula:

$$(M + m) x = m d$$

$$\tau = m g d$$

Substituição:

$$1\,200 x = 300 \cdot 10$$

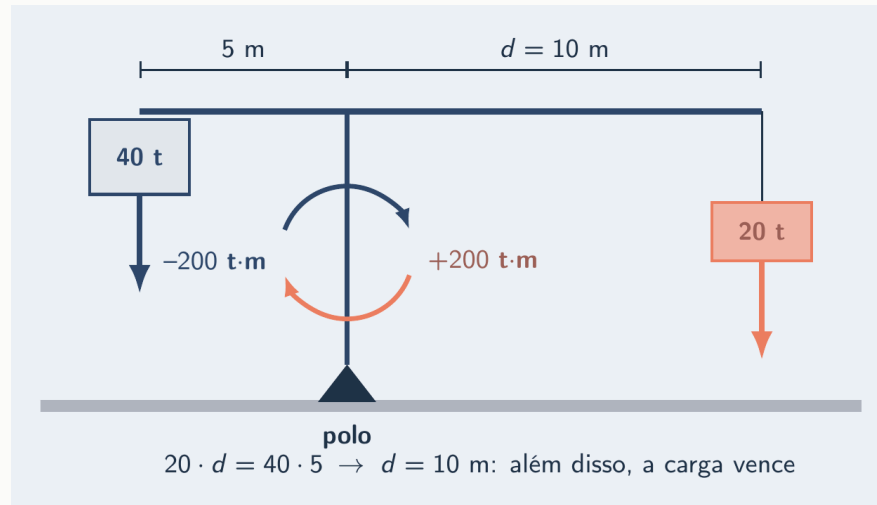
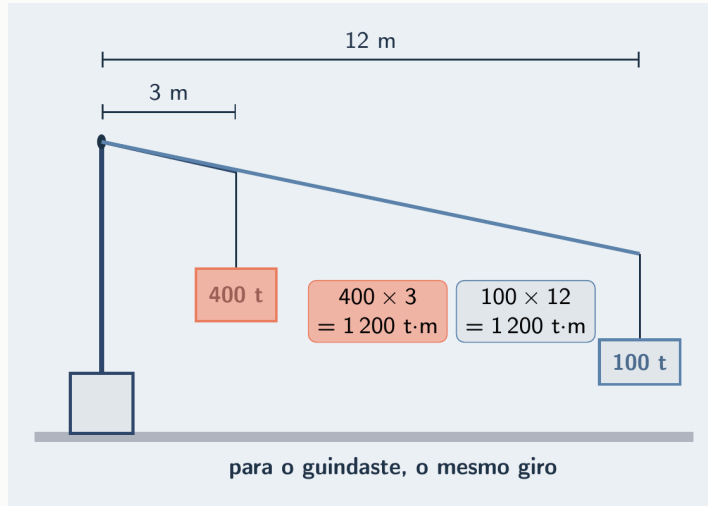
$$\tau = 3 \times 10^6 \cdot 10$$

Resultado:

$$x = \mathbf{2,5 \text{ m}}$$

$$\tau = \mathbf{3 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

Conceito 7 – Momento de carga



- tabela de carga: peso vezes raio constante

$$400 \cdot 3 = 100 \cdot 12 = 1200 \text{ t} \cdot \text{m}$$

- $1 \text{ t} \approx 10^4 \text{ N}$ · 100% da tabela: folga nula

Exemplo resolvido – até onde a carga vai

Contrapeso 40 t a 5 m · carga de 20 t na lança · polo na base

Fórmula:

$$20 d = 40 \cdot 5$$

Substituição:

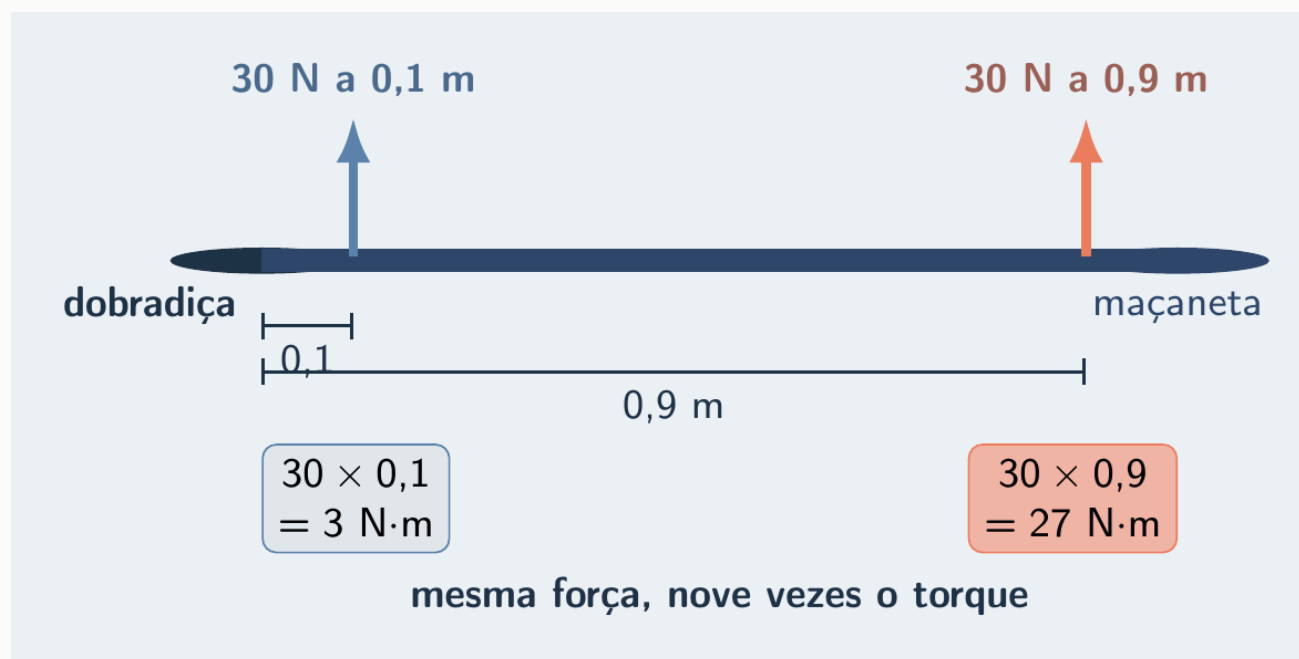
$$d = \frac{200}{20}$$

Resultado:

$$d = \mathbf{10\ m}$$

- além disso, tomba

Radar ENEM



- ✗ resposta de torque em N (é $\text{N} \cdot \text{m}$)
- ✗ braço até o ponto, sem o seno
- ✗ só $\Sigma F = 0$, sem conferir torques
- ✗ braços de polos diferentes na mesma conta
- ✓ 30 N a 0,9 m: **27** $\text{N} \cdot \text{m}$ · a 0,1 m: 3 $\text{N} \cdot \text{m}$

Resumo em cinco peças

1 torque = $F \cdot d$;
o braço vai do polo
à linha de ação

2 unidade N·m;
sentido de giro
tem sinal (+
anti-horário)

3 equilíbrio: DUAS
condições, $\Sigma F = 0$
e $\Sigma \tau = 0$

4 o polo é escolha:
ponha-o na força
que você não conhece

5 quanto mais longe
a carga, menos
levanta:
momento de carga

1. $\tau = F d$ até a linha de ação
2. N · m, com sinal: anti-horário +
3. equilíbrio: ΣF e $\Sigma \tau$ nulos
4. polo sobre a incógnita
5. carga longe: guindaste levanta menos

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m4/c1/lista>

Canarinho · lista do Episódio 1

Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/m4/c1/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m4/c1/lista>

Livro da minissérie



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

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