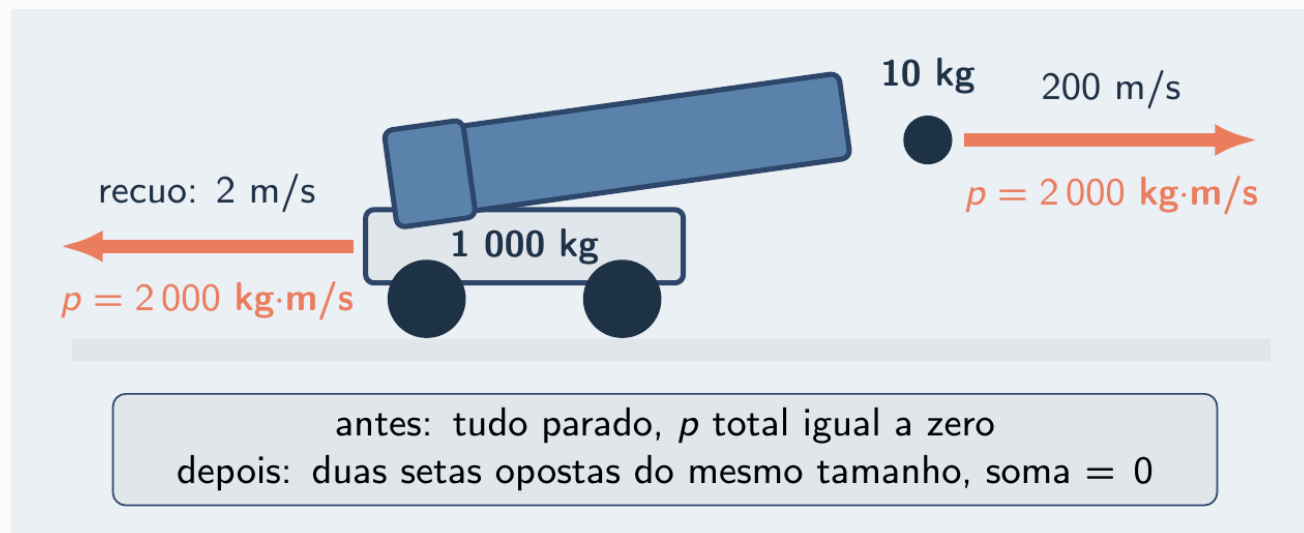


Mecânica II · Episódio 9

O canhão que recua e o animal que nada para trás

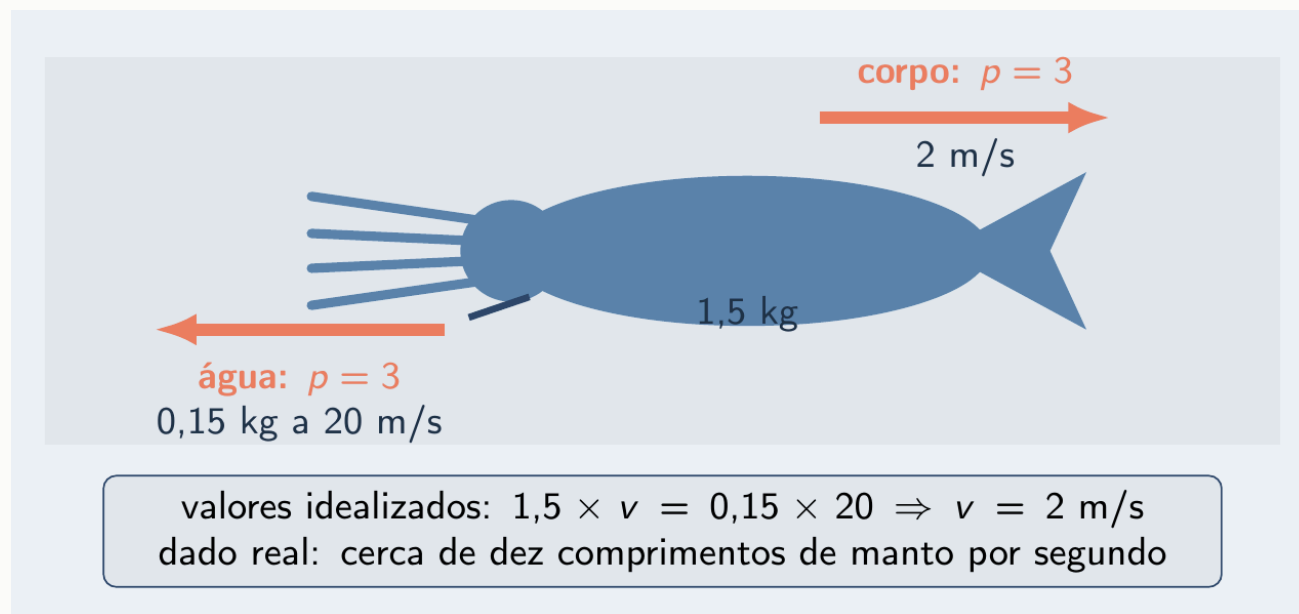
Conservação da quantidade de movimento

0 caso



- canhão de 1 000 kg · bala de 10 kg a 200 m/s (números didáticos)
- recuo: 2 m/s para trás
- cem vezes mais leve $\leftrightarrow$ cem vezes mais rápida
- nada empurrou o canhão por fora

O caso – o calamar

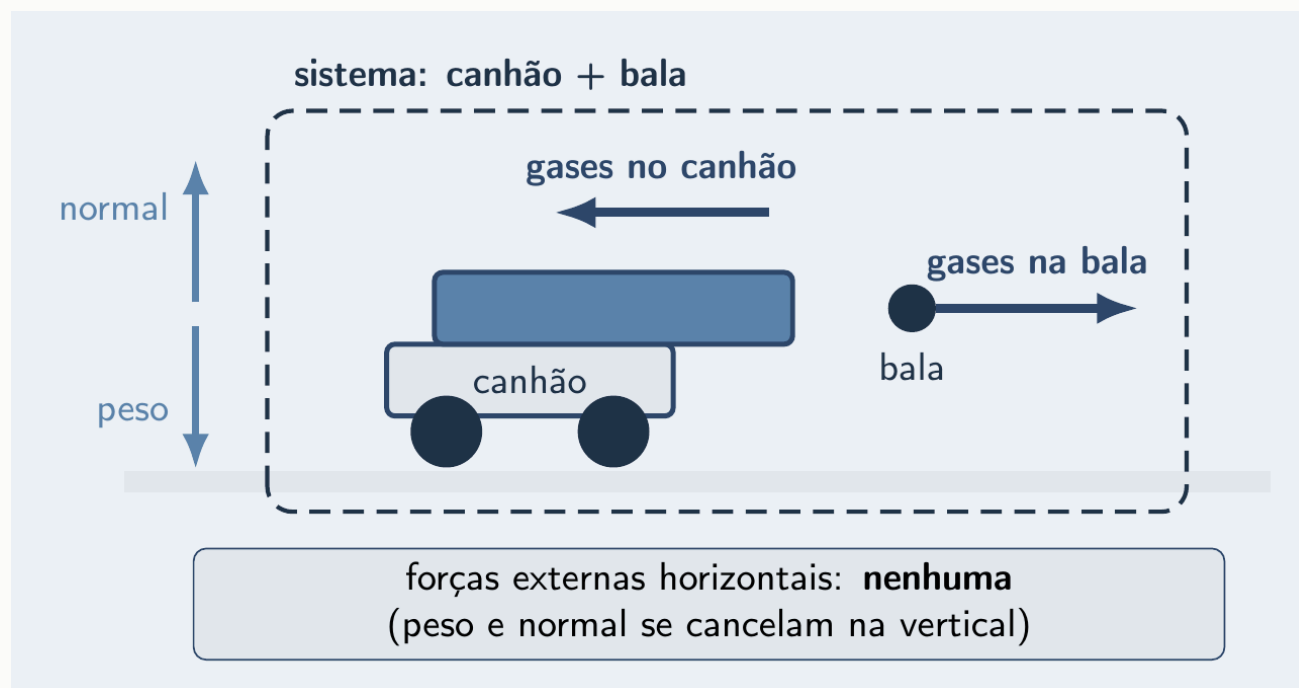


- enche o manto · jato pelo sifão · vai para o lado oposto
- **Loligo opalescens**: cerca de 10 comprimentos de manto/s (Zhu e Xiao, 2022)
- larvas de **L. vulgaris**: 25 · lulas "voadoras": 37

Pergunta do episódio

Se nada de fora empurra, de onde sai o recuo?

Conceito 1 – Sistema isolado



- **sistema**: os corpos que você escolhe
- **interna**: par ação–reação dentro do sistema
- **isolado**: força externa resultante zero naquela direção
- mudou a linha tracejada → mudou o que é externo

Exemplo resolvido – escolher o sistema

Pistola de 1 kg, parada, dispara bala (b) de 0,01 kg a 300 m/s

Fórmula:

$$\Delta p_b = p' - p$$

$$\Delta p_s = p' - p$$

Substituição:

$$\Delta p_b = 0,01 \cdot 300 - 0$$

$$\Delta p_s = (3 - 3) - 0$$

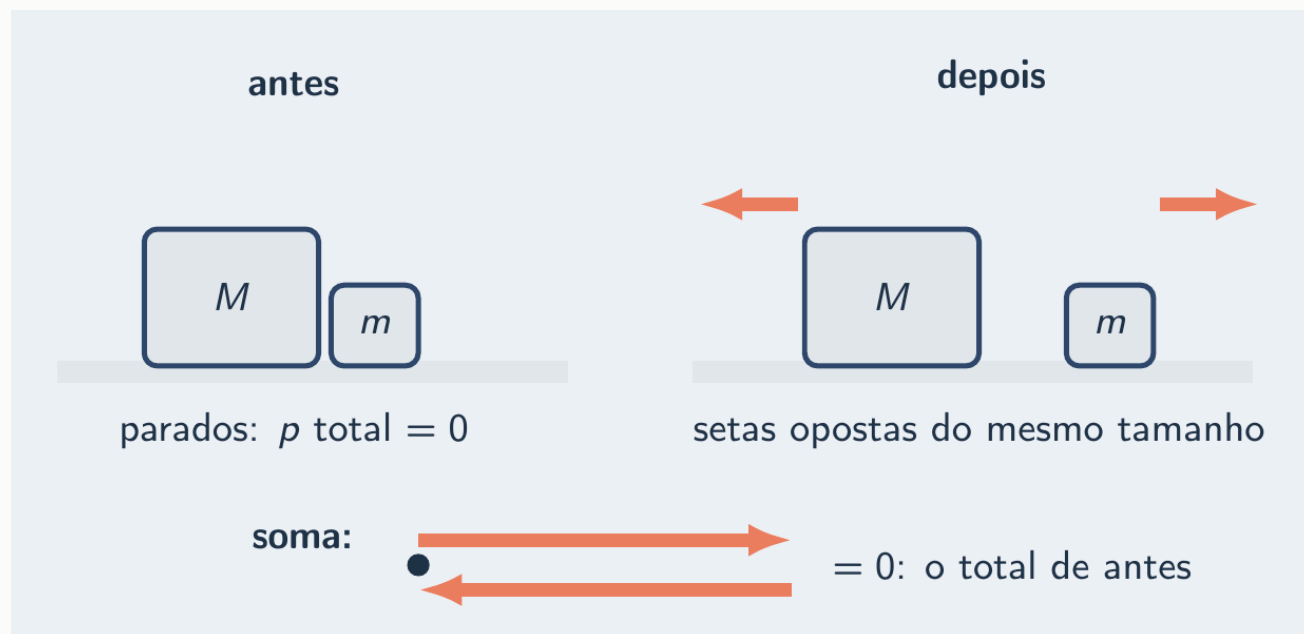
Resultado:

$$\Delta p_b = \mathbf{3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$$

$$\Delta p_s = \mathbf{0}$$

- sistema s : pistola + bala

Conceito 2 – Antes igual a depois



- isolado:

$$p_{\text{antes}} = p_{\text{depois}}$$

- vetorial: cada p com sinal, sentido positivo declarado
- conserva a **soma**, não a parte de cada corpo
- seta para vetor · barra para escalar

Exemplo resolvido – total não nulo

Blocos de 2 kg a +5 m/s e 3 kg a -2 m/s se repelem · depois, o de 3 kg vai a +2 m/s

Fórmula:

$$p_{\text{antes}} = p_{\text{depois}}$$

Substituição:

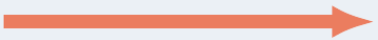
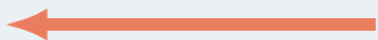
$$2 \cdot 5 + 3 \cdot (-2) = 2v + 3 \cdot 2$$

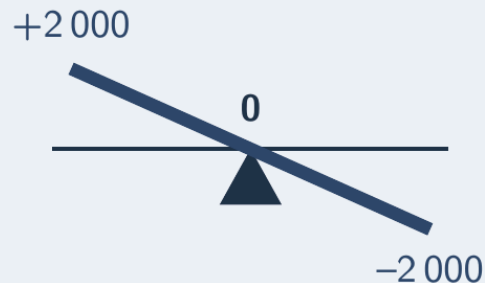
Resultado:

$$v = -1 \text{ m/s}$$

- o de 2 kg volta

Conceito 3 – 0 recuo

bala		+2 000 kg·m/s
canhão		-2 000 kg·m/s
soma		= 0: nenhuma seta resultante



gangorra com o zero no meio:
um lado sobe o que o outro desce

- do repouso:
$$m_1 v_1 = -m_2 v_2$$
- velocidades na **razão inversa das massas**
- total zero não é cada corpo parado
- imagem: gangorra com o zero no meio

Exemplo resolvido – recuo do canhão

1 000 kg em repouso · bala de 10 kg a 200 m/s · (+) sentido da bala

Fórmula:

$$0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

Substituição:

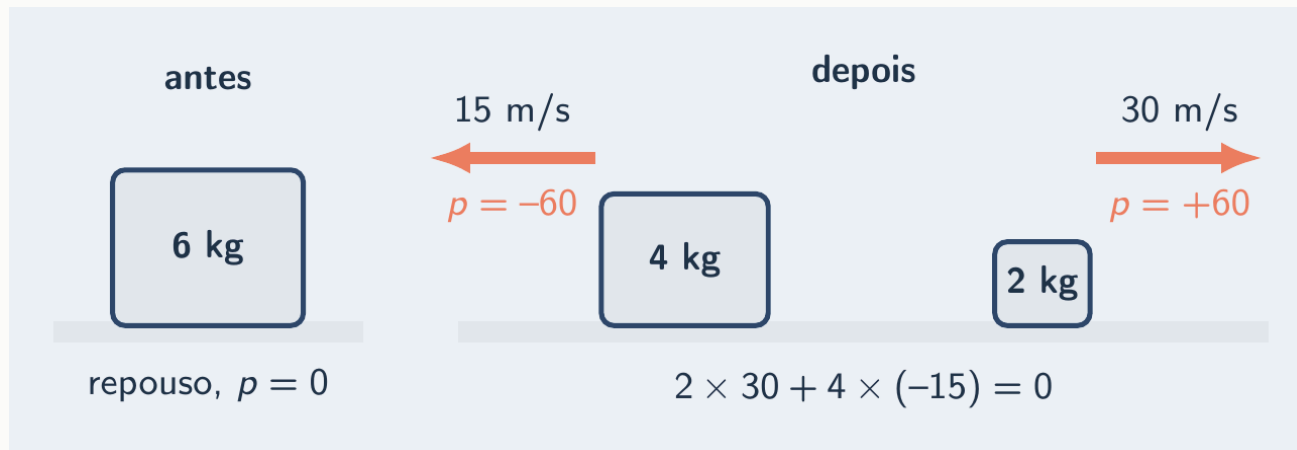
$$0 = 1\,000\,v + 10 \cdot 200$$

Resultado:

$$v = -2\,\text{m/s}$$

- recua a 2 m/s

Conceito 4 – Explosão em duas partes



- força interna parte o corpo: mola, carga, salto
- antes: $p = 0 \rightarrow$ depois: setas opostas, mesmo módulo
- mais massa $\rightarrow$ menos velocidade

Exemplo resolvido – os dois pedaços

6 kg em repouso → 2 kg a 30 m/s; e o de 4 kg?

Fórmula:

$$0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

Substituição:

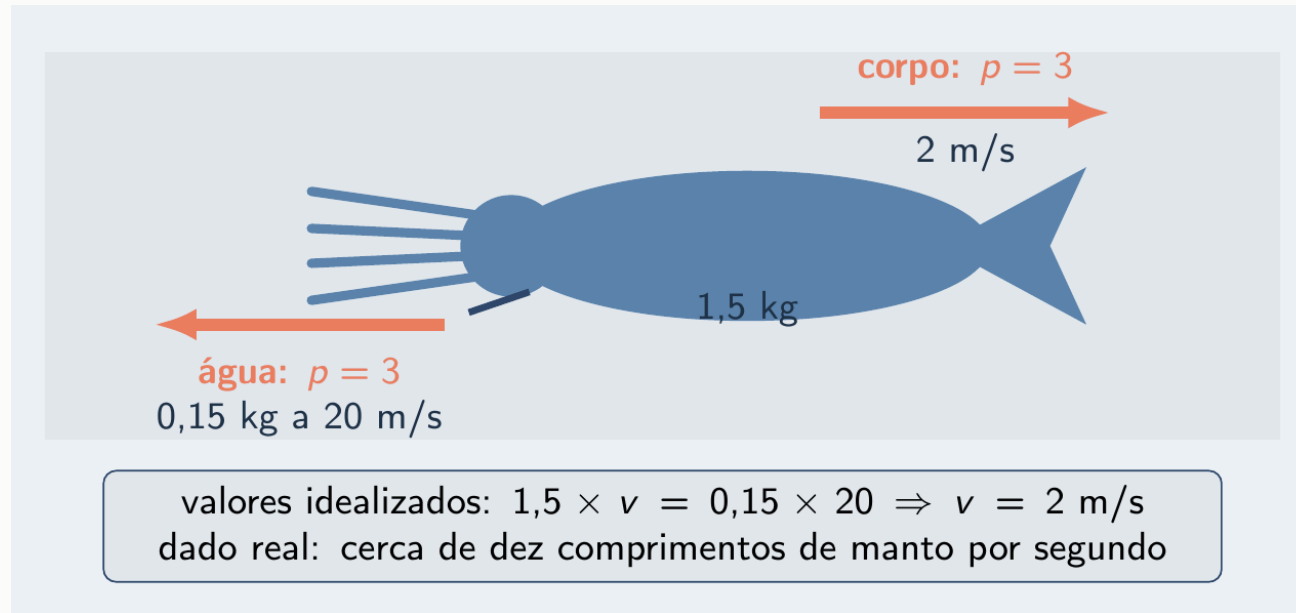
$$0 = 2 \cdot 30 + 4 v$$

Resultado:

$$v = -15 \text{ m/s}$$

- lado oposto

Conceito 5 – Propulsão



- avança **jogando massa para trás**
- sentido oposto ao do jato:
$$v_1 = \frac{m_2 v_2}{m_1}$$
- foguete: apoio no próprio gás
→ funciona no vácuo

Exemplo resolvido – calamar idealizado

Corpo de 1,5 kg · expulsa 0,15 kg de água a 20 m/s para trás

Fórmula:

$$0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

Substituição:

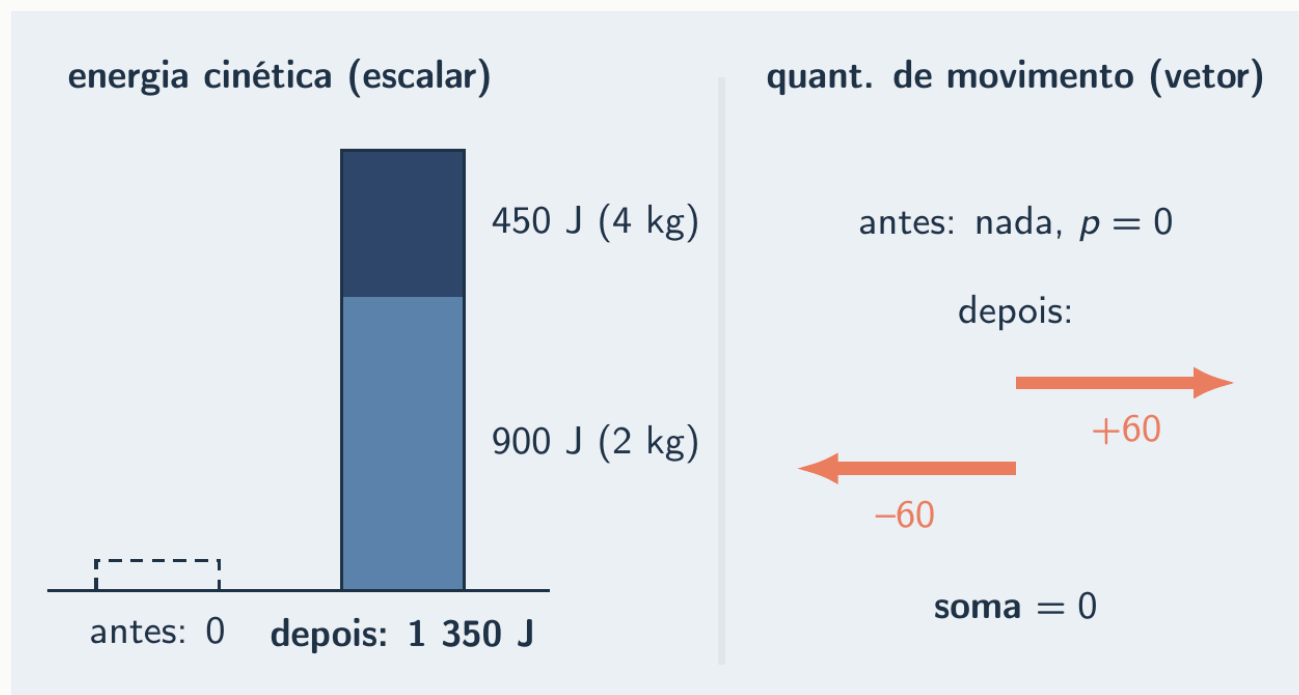
$$0 = 1,5 v + 0,15 \cdot (-20)$$

Resultado:

$$v = \mathbf{2 \text{ m/s}}$$

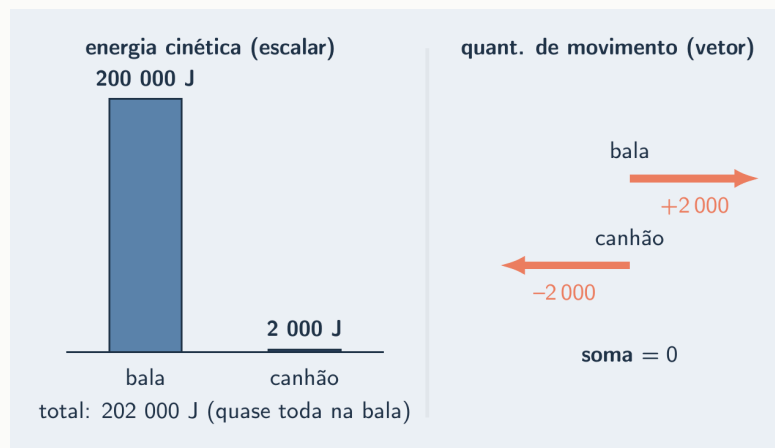
- para a frente · manto de 20 cm → 10 comprimentos/s

Conceito 6 — p se conserva, E_c cresce



- p : vetor, soma com sinal → **conserva**
- E_c : escalar, soma sem sinal → **pode crescer**
- a energia vem da química, da mola, do músculo
- colisão: p sempre · E_c nem sempre

Exemplo resolvido – energia do disparo



Canhão de 1 000 kg a -2 m/s · bala de 10 kg a 200 m/s

Fórmula:

$$E_{c,bala} = \frac{m v^2}{2}$$

$$E_{c,can} = \frac{m v^2}{2}$$

$$p_{total} = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

Substituição:

$$E_{c,bala} = \frac{10 \cdot 200^2}{2}$$

$$E_{c,can} = \frac{1\,000 \cdot 2^2}{2}$$

$$p_{total} = 1\,000 \cdot (-2) + 10 \cdot 200$$

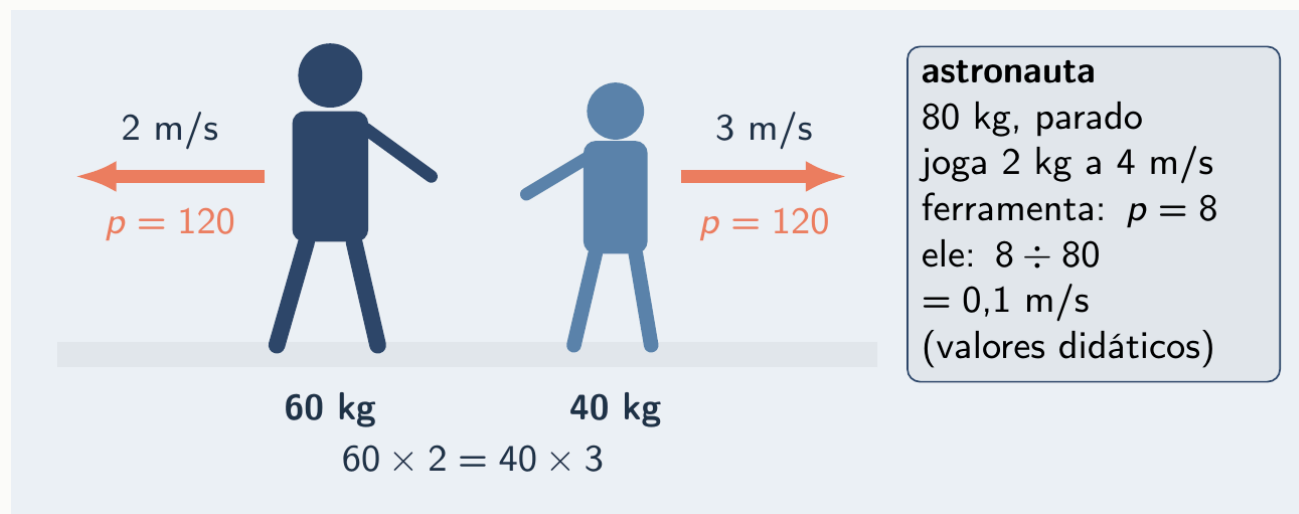
Resultado:

$$E_{c,bala} = \mathbf{200\,000\,J}$$

$$E_{c,can} = \mathbf{2\,000\,J}$$

$$p_{total} = \mathbf{0}$$

Conceito 7 – Patinadores e astronauta



- repouso + "se empurram / salta / lança" → conta do recuo
- gelo: atrito desprezível · espaço: nenhum
- astronauta de 80 kg + ferramenta de 2 kg a 4 m/s → recua 0,1 m/s

Exemplo resolvido – patinadores

60 kg e 40 kg parados · o de 60 kg sai a 2 m/s

Fórmula:

$$0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

Substituição:

$$0 = 60 \cdot 2 + 40 v$$

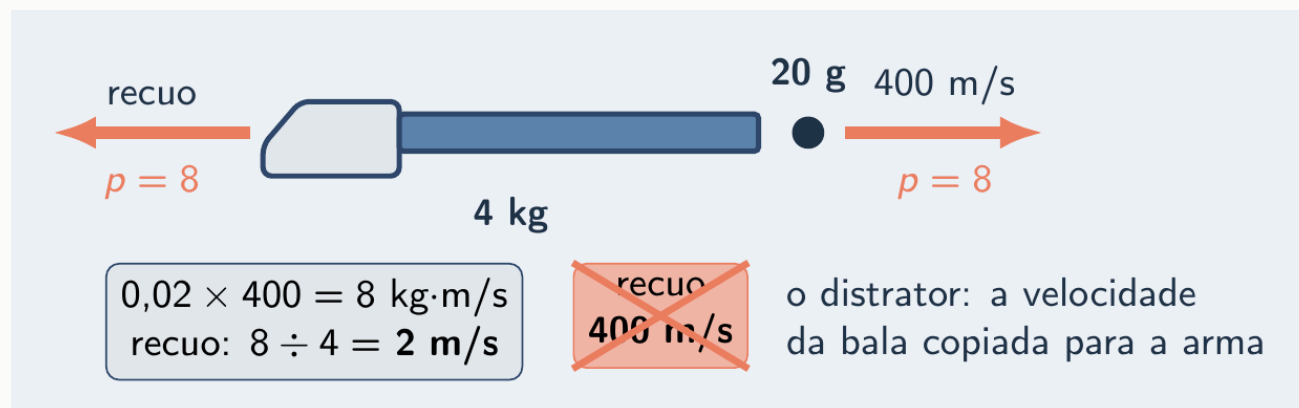
Resultado:

$$v = -3 \text{ m/s}$$

- razão inversa das massas:

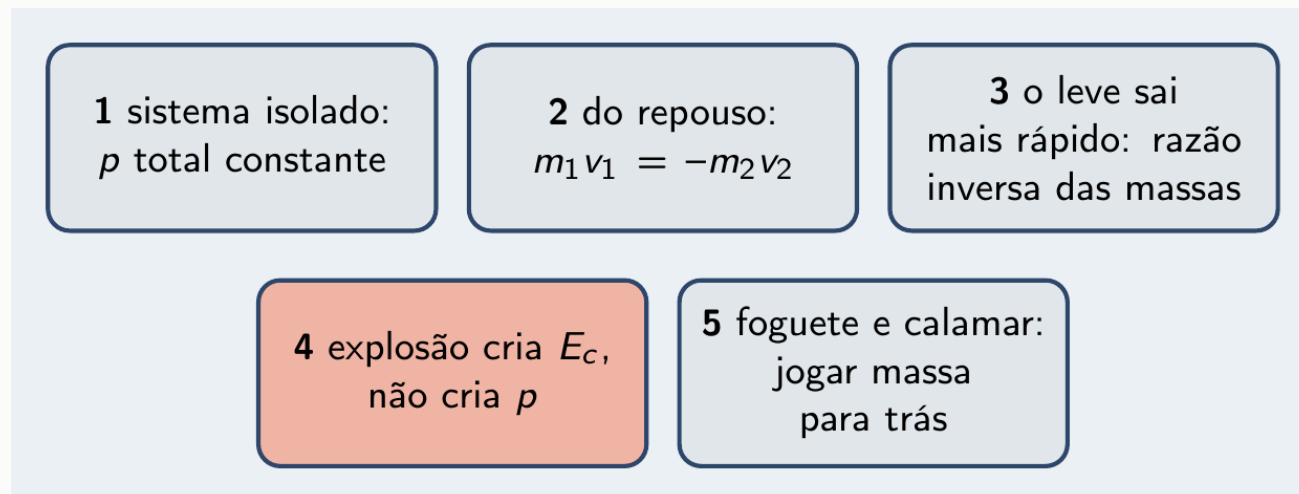
$$\frac{3}{2} = \frac{60}{40}$$

Radar ENEM



- ✗ mesma velocidade para os dois (o "400 m/s")
- ✗ somar módulos: $2\,000 + 2\,000$
- ✗ parar em $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ sem dividir pela massa
- ✗ exigir E_c conservada na explosão
- ✓ 20 g viram 0,02 kg antes da conta

Resumo em cinco peças



1. isolado: p total fixo
2. do repouso: setas opostas iguais
3. leve sai mais rápido
4. explosão: E_c sobe, p não
5. jato: massa para trás

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m2/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/m2/c9/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m2/c9/lista>

Livro da minissérie



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

<https://professorcanario.com.br/mecanica2/livro/>