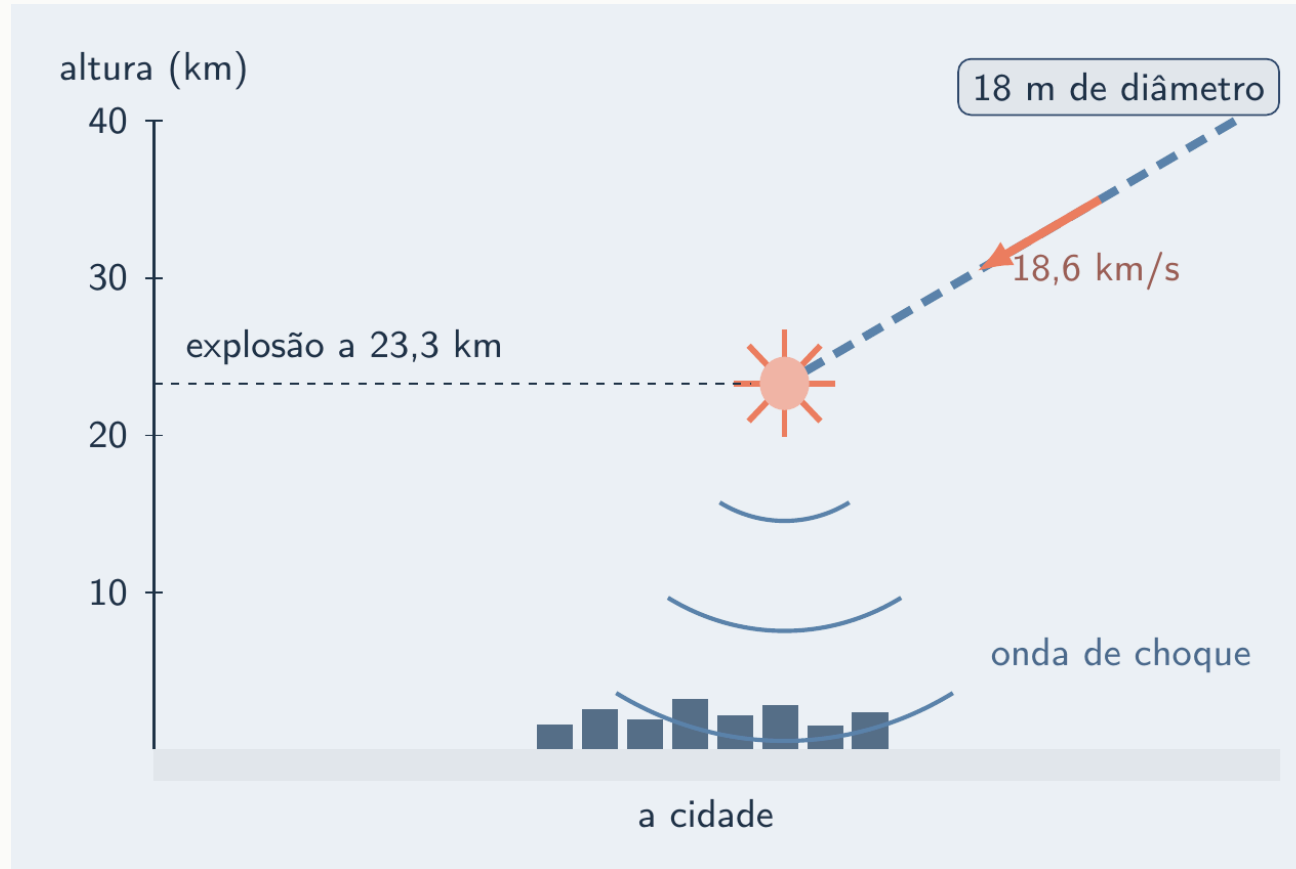


Mecânica II · Episódio 3

# A pedra que explodiu no céu com 30 Hiroshimas

Energia cinética e o quadrado da velocidade

# O caso



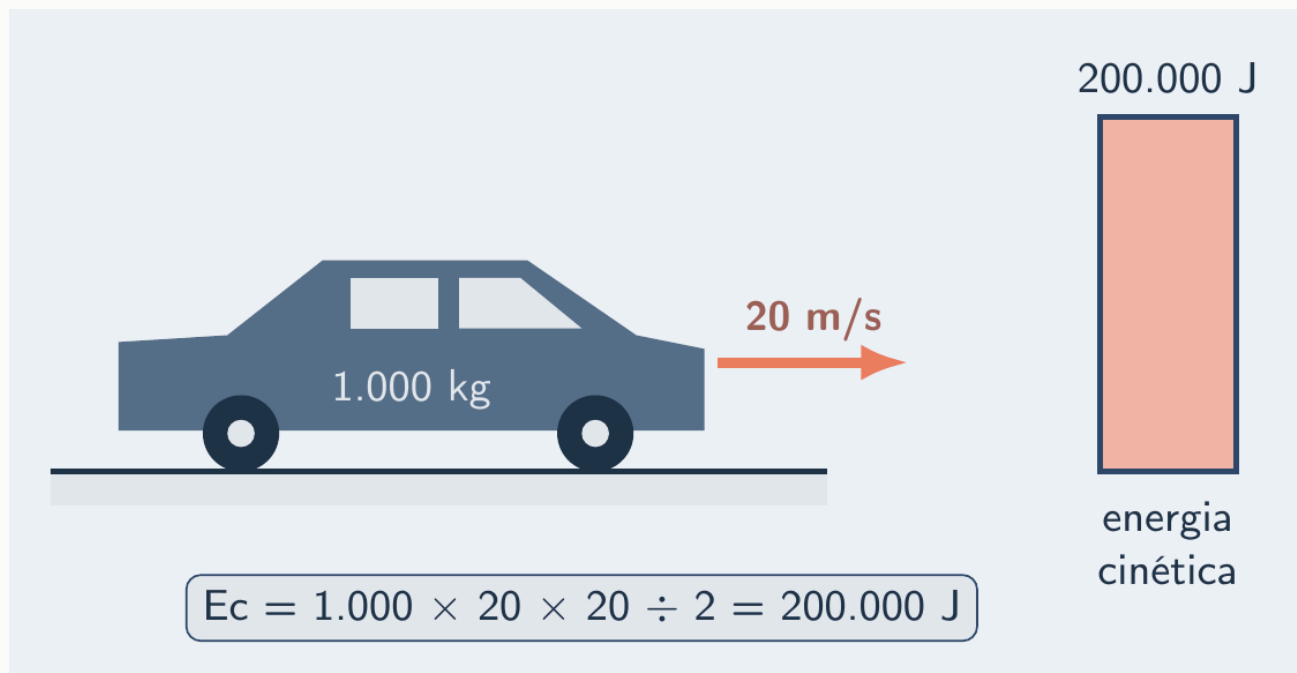
- Chelyabinsk, Rússia · 15/02/2013
- cerca de 18 m de diâmetro · 11 mil t · **18,6 km/s**
- explosão a 23,3 km de altura · cerca de 440 kt de TNT
- vidros quebrados em cerca de  $500 \text{ km}^2$  · 1 600+ feridos

## Pergunta do episódio

---

**Por que uma pedra rápida guarda tanta energia?**

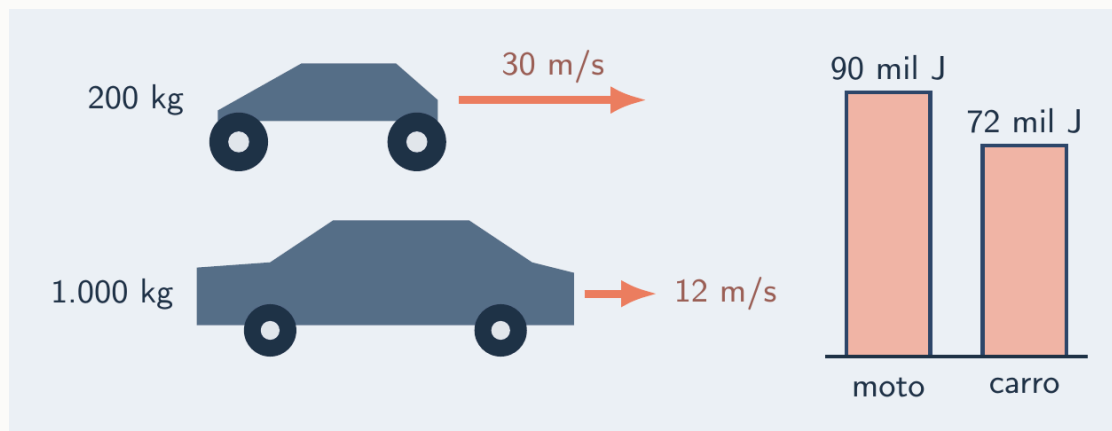
# Conceito 1 – Energia cinética



$$E_c = \frac{m v^2}{2}$$

- em joules · escalar · nunca negativa · barra, não seta
- velocidade é vetor;  $E_c$  usa só o módulo

# Exemplo resolvido – moto contra carro



Moto 200 kg a 30 m/s · carro 1 000 kg a 12 m/s

**Fórmula:**

$$E_{\text{moto}} = \frac{m v^2}{2}$$

$$E_{\text{carro}} = \frac{m v^2}{2}$$

**Substituição:**

$$E_{\text{moto}} = \frac{200 \cdot 900}{2}$$

$$E_{\text{carro}} = \frac{1\,000 \cdot 144}{2}$$

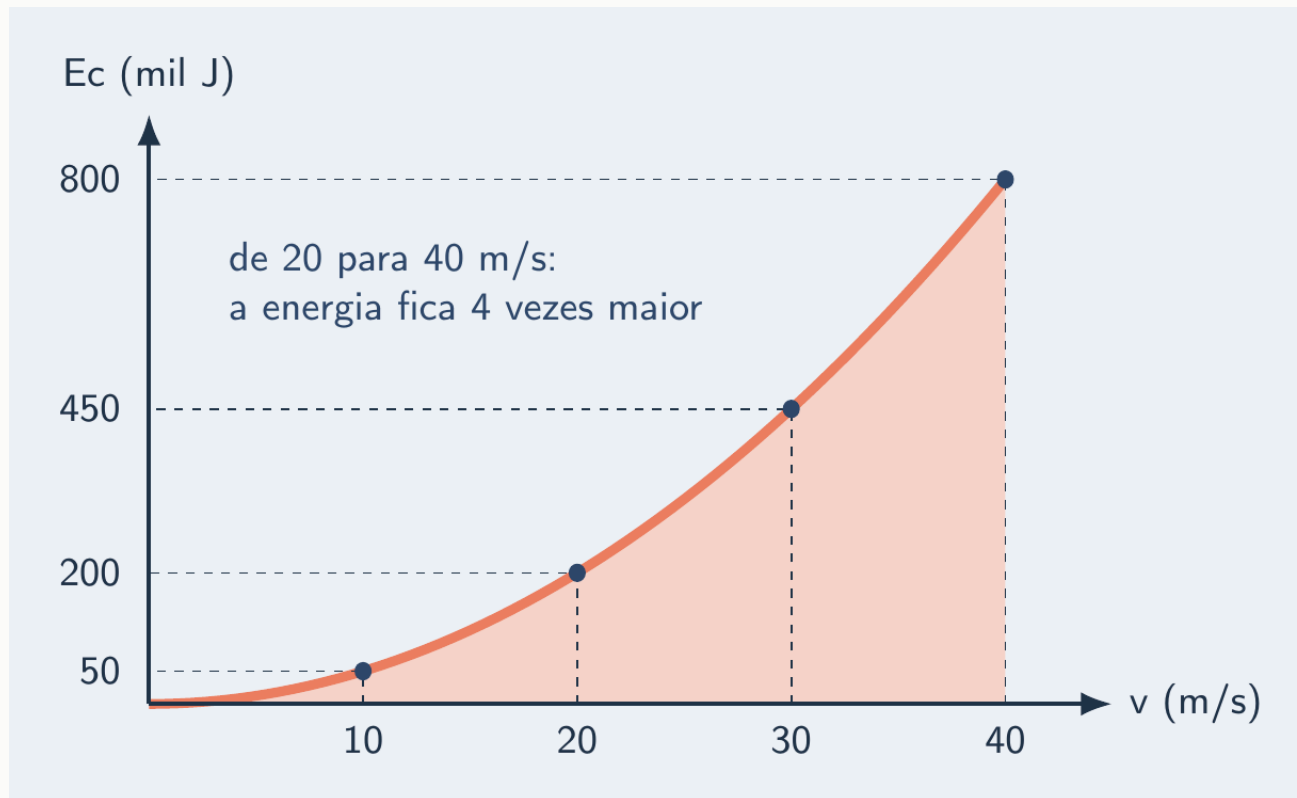
**Resultado:**

$$E_{\text{moto}} = \mathbf{90\,000\,J}$$

$$E_{\text{carro}} = \mathbf{72\,000\,J}$$

- a moto leva **mais** energia

# Conceito 2 – O quadrado



- massa dobra  $\rightarrow E_c$  dobra
- velocidade dobra  $\rightarrow E_c$  **4 vezes** · triplica  $\rightarrow$  **9 vezes**
- frenagem cresce no mesmo ritmo

## Exemplo resolvido – dobrou a velocidade

---

Carro de 1 000 kg a 20 m/s ( $E_1$ ) e depois a 40 m/s ( $E_2$ )

Fórmula:

$$E_1 = \frac{m v_1^2}{2}$$

$$E_2 = \frac{m v_2^2}{2}$$

Substituição:

$$E_1 = \frac{1\,000 \cdot 400}{2}$$

$$E_2 = \frac{1\,000 \cdot 1\,600}{2}$$

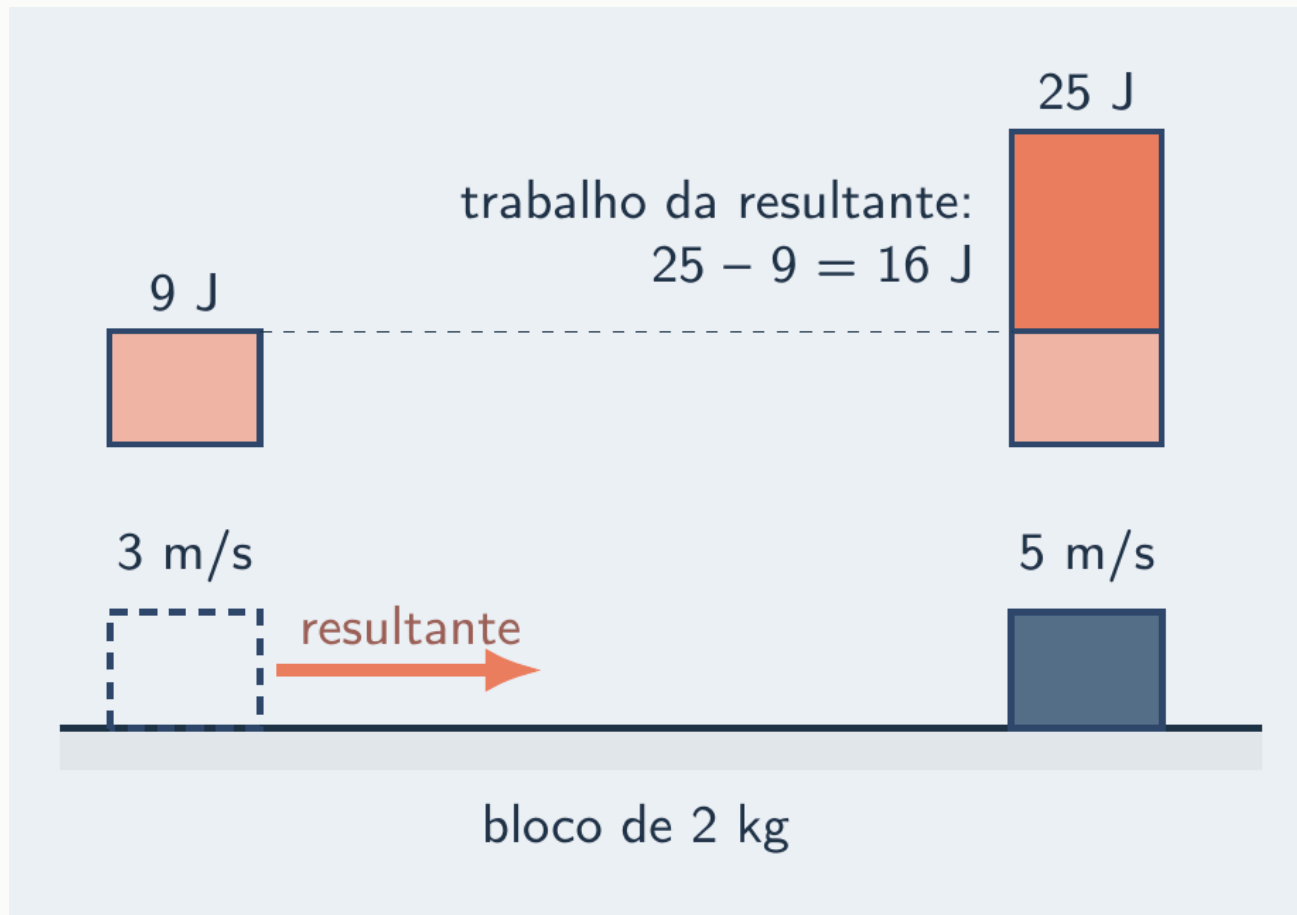
Resultado:

$$E_1 = 2 \times 10^5 \text{ J}$$

$$E_2 = 8 \times 10^5 \text{ J}$$

- 4 vezes mais

# Conceito 3 – Teorema trabalho-energia



$$W_{\text{res}} = E_{c,f} - E_{c,i}$$

- trabalho positivo acelera ·  
negativo freia · nulo mantém  
o módulo
- é Torricelli multiplicado por  $\frac{m}{2}$

## Exemplo resolvido — o bloco

---

Bloco de 2 kg vai de 3 m/s a 5 m/s

Fórmula:

$$W = E_{c,f} - E_{c,i}$$

Substituição:

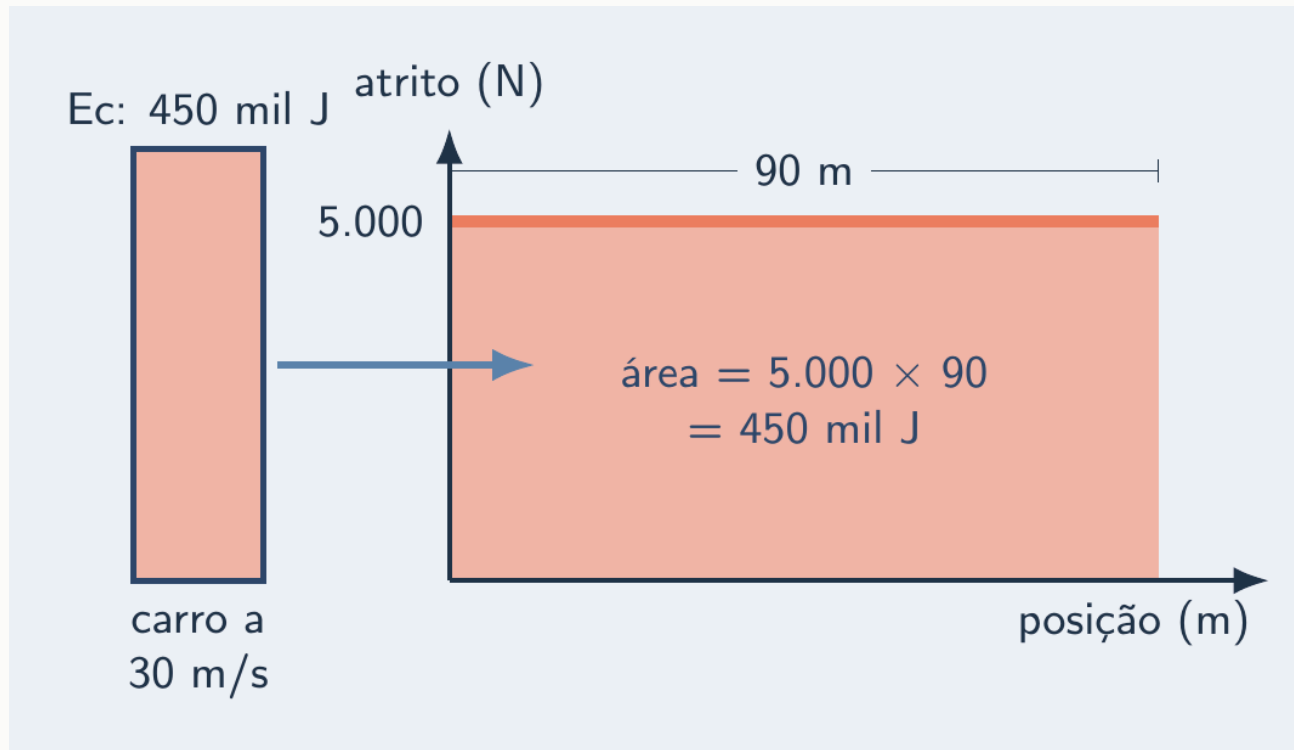
$$W = \frac{2 \cdot 25}{2} - \frac{2 \cdot 9}{2} = 25 - 9$$

Resultado:

$$W = \mathbf{16\ J}$$

- positivo: acelerou

## Conceito 4 – Frear tira Ec



- parar:  $E_{c,f} = 0$
- força constante:
$$F d = \frac{m v^2}{2}$$
- sem relógio · velocidade em m/s

## Exemplo resolvido – a marca de pneu

---

Carro de 1 000 kg a 108 km/h para em 90 m

Fórmula:

$$v = \frac{108}{3,6}$$

$$W = 0 - \frac{m v^2}{2}$$

$$F = \frac{|W|}{d}$$

Substituição:

$$v = \frac{108}{3,6}$$

$$W = -\frac{1\,000 \cdot 900}{2}$$

$$F = \frac{450\,000}{90}$$

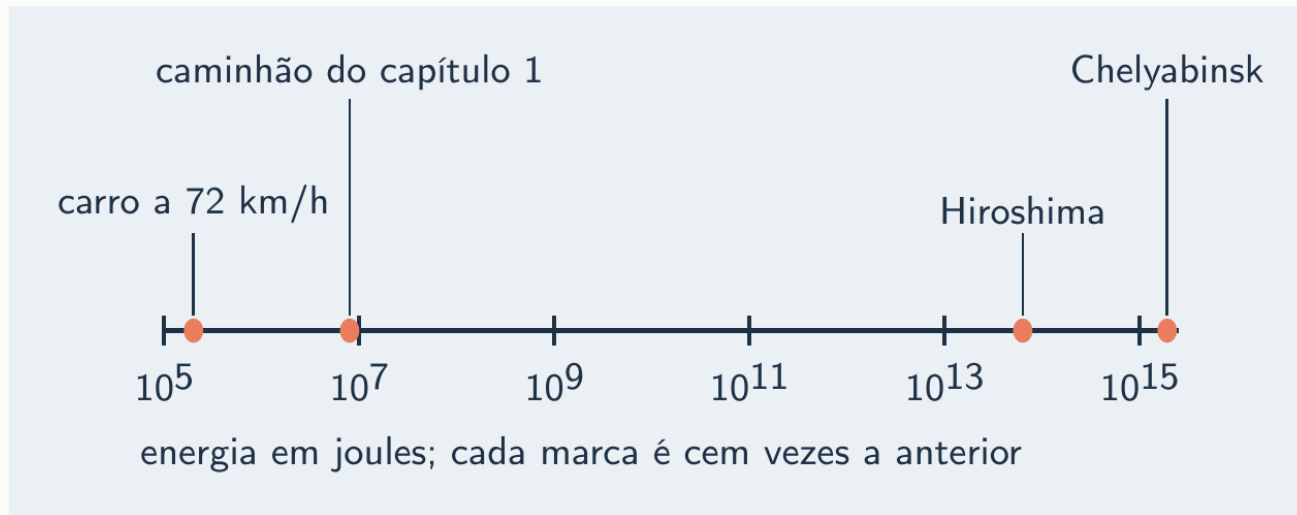
Resultado:

$$v = \mathbf{30\,m/s}$$

$$W = \mathbf{-4,5 \times 10^5\,J}$$

$$F = \mathbf{5\,000\,N}$$

# Conceito 5 – Escala do céu



- quilotonelada de TNT:  
 $1 \text{ kt} = 4,18 \times 10^{12} \text{ J}$
- Hiroshima: cerca de 15 kt
- por quilograma, a pedra superava o TNT mais de 40 vezes

# Exemplo resolvido – Chelyabinsk

---

Massa de  $1,1 \times 10^7$  kg a  $1,86 \times 10^4$  m/s

Fórmula:

$$E_c = \frac{m v^2}{2}$$

$$n = \frac{E_c}{1 \text{ kt}}$$

Substituição:

$$E_c = \frac{1,1 \cdot 3,46}{2} \times 10^{15}$$

$$n = \frac{1,9 \times 10^{15}}{4,18 \times 10^{12}}$$

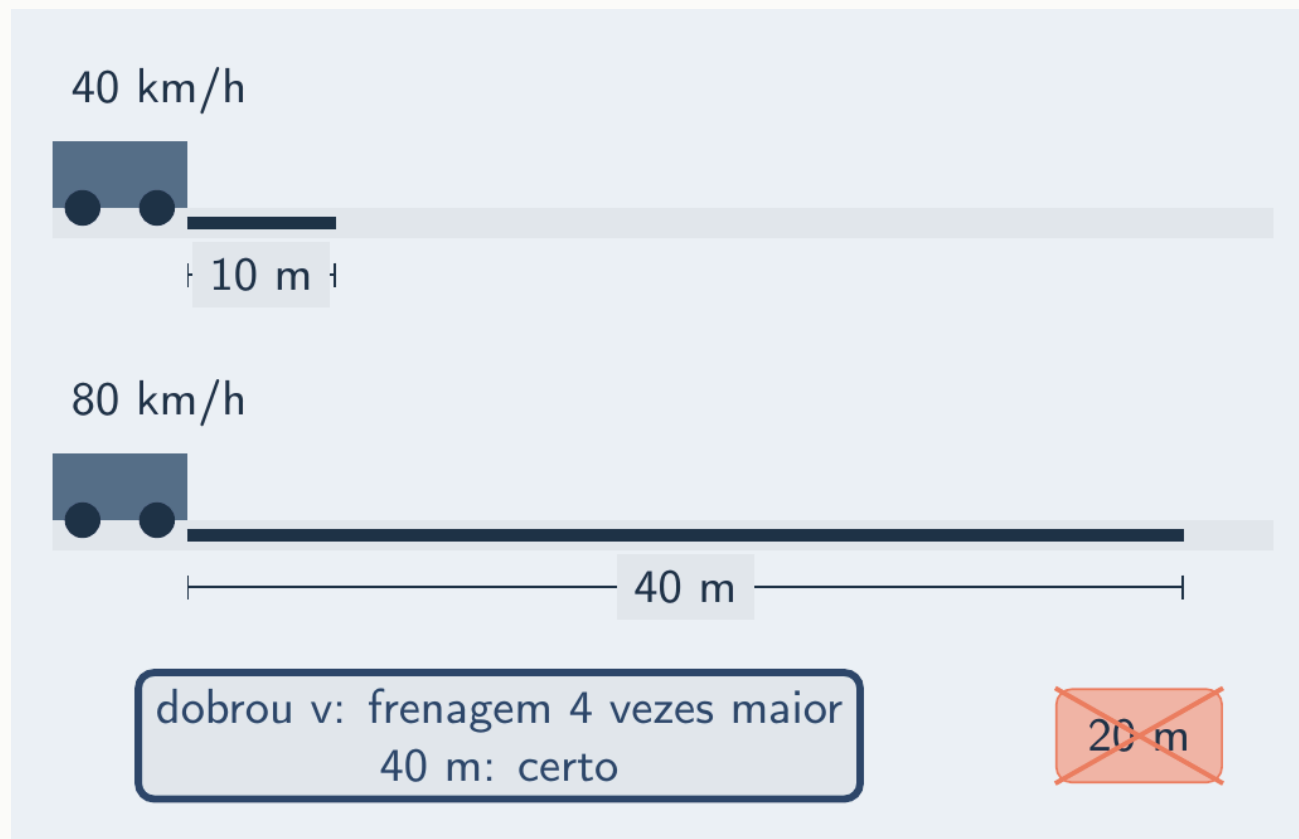
Resultado:

$$E_c \approx \mathbf{1,9 \times 10^{15} \text{ J}}$$

$$n \approx \mathbf{455}$$

- cerca de **455 kt** · medido: cerca de 440 kt

# Radar ENEM



- ~~X~~ velocidade dobra → frenagem dobra (20 m)
- ~~X~~ km/h dentro do quadrado
- ~~X~~  $mv^2$  sem dividir por 2
- ~~X~~ mais pesado, mais energia, sempre
- ✓ velocidade dobra → frenagem 4 vezes (**40 m**)

# Resumo em cinco peças

---

1  $E_c = m \times v \times v \div 2$ : escalar, sem seta

2 dobrou a velocidade: 4 vezes a energia

3 trabalho da resultante =  $E_c$  final –  $E_c$  inicial

4 frear: força  $\times$  distância =  $m \times v \times v \div 2$

5 a pedra do céu: cerca de  $1,9 \times 10^{15}$  J

1.  $E_c = \frac{m v^2}{2}$

2.  $v$  dobra,  $E_c$  quadruplica

3.  $W_{\text{res}} = \Delta E_c$

4. frenagem:  $F d = E_c$

5. pedra: cerca de 30  
Hiroshimas

# Treine no jogo

---



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m2/c3/lista>

Canarinho · lista do Episódio 3

# Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

## Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/m2/c3/video>

## Lista no app



As questões deste episódio,  
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m2/c3/lista>

## Livro da minissérie



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

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