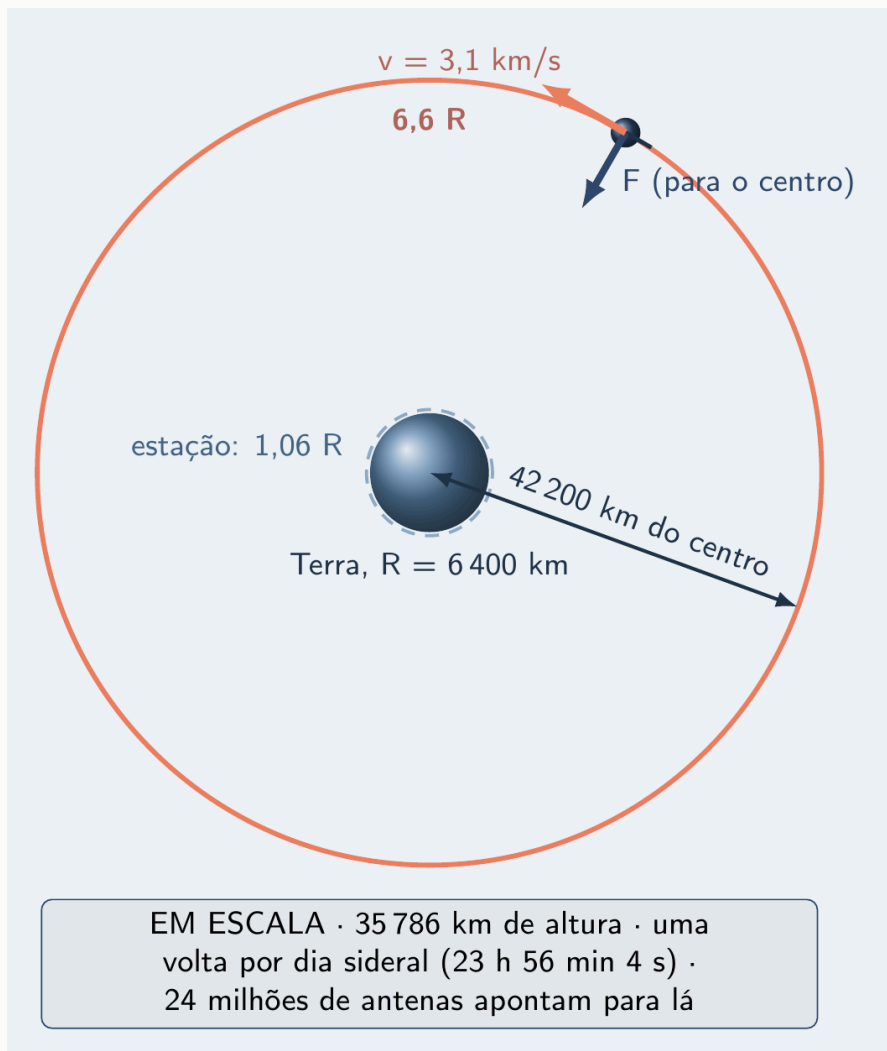


Mecânica III · Episódio 7

A antena que aponta para um ponto parado no céu

Geoestacionário e a órbita do GPS

O caso

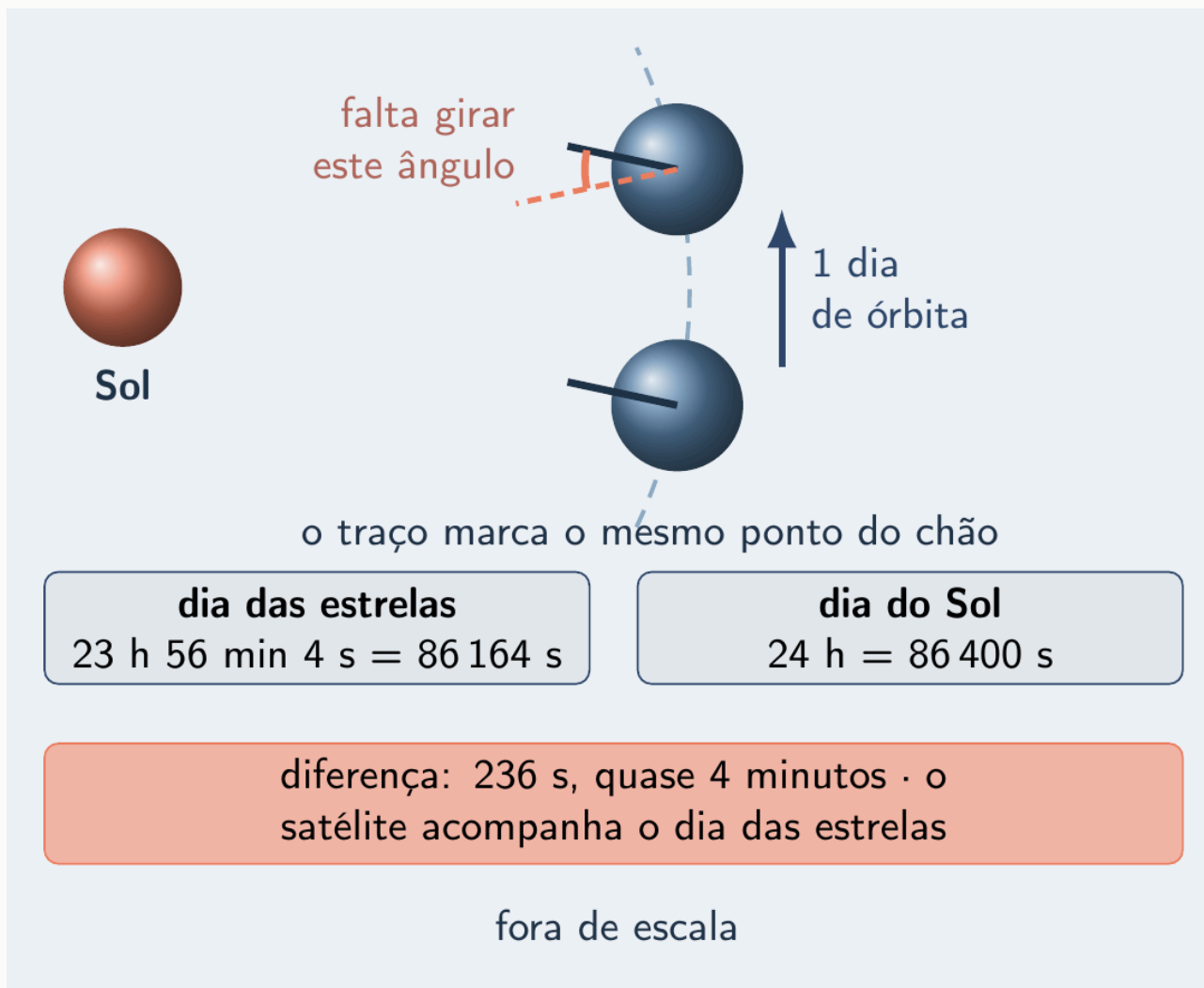


- antena no telhado: imóvel há anos
- satélite a **35 786 km** de altura
- **uma volta por dia** · mais de 3 km/s
- cerca de **24 milhões** de antenas no mesmo alvo
- GPS: 20 200 km, **duas voltas por dia**

Pergunta do episódio

Por que só ali, e só sobre o Equador, um satélite fica parado no céu?

Conceito 1 – Um dia, um raio



- condição 1: período igual ao **dia sideral**
- 23 h 56 min 4 s, ou 86 164 s
- condição 2: órbita **circular**
- período escolhido → raio decidido:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G M} r^3$$

Exemplo resolvido – a altura do satélite

Período de 86 164 s · $G M = 4,0 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ · raio da Terra: 6 400 km

Fórmula:

$$r = \sqrt[3]{\frac{G M T^2}{4\pi^2}}$$

$$h = r - R$$

Substituição:

$$r = \sqrt[3]{7,5 \times 10^{22}}$$

$$h = 42\,200 - 6\,400$$

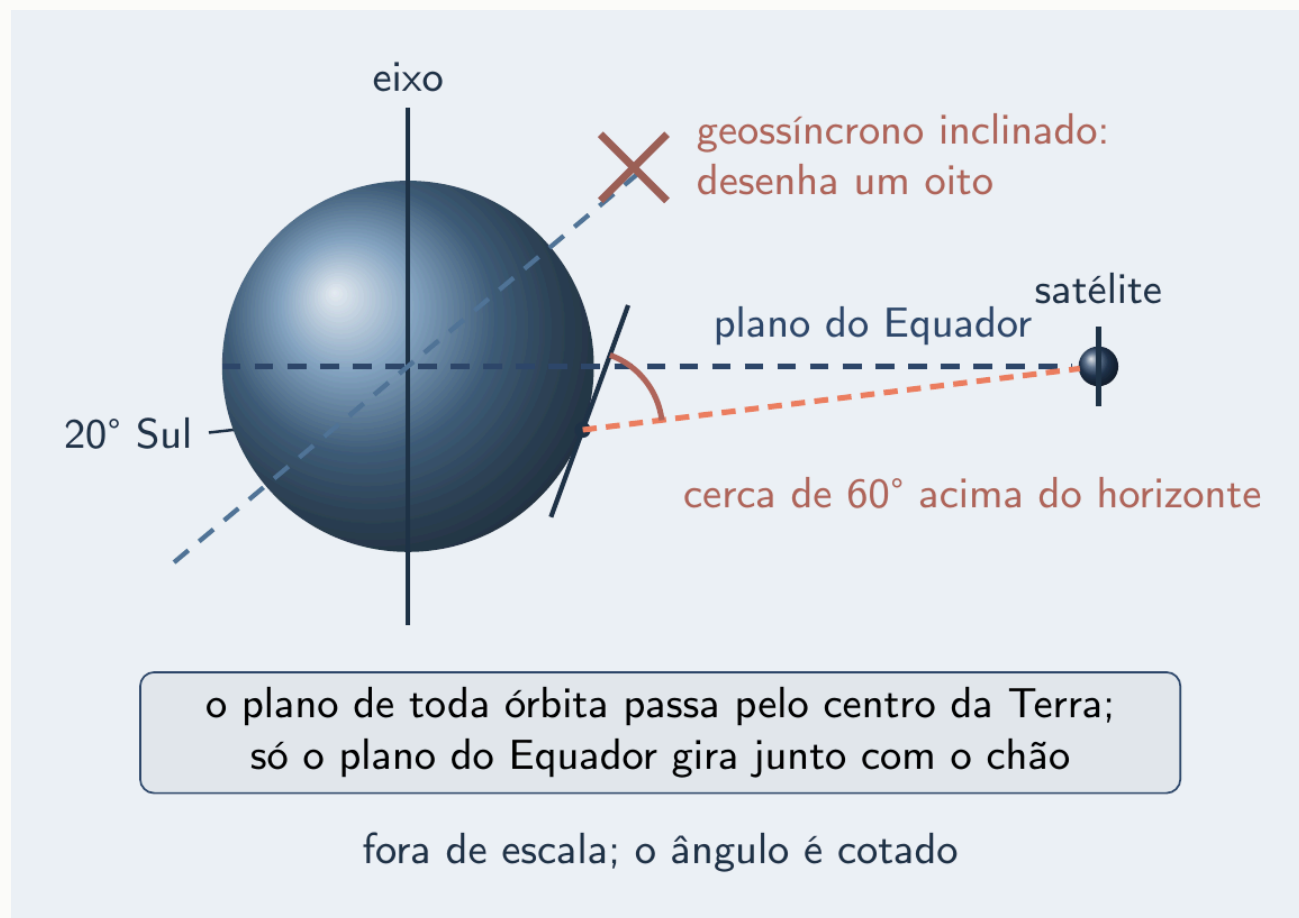
Resultado:

$$r \approx \mathbf{42\,200 \text{ km}}$$

$$h \approx \mathbf{35\,800 \text{ km}}$$

- medido: 35 786 km

Conceito 2 – Só sobre o Equador



- plano de toda órbita: passa pelo **centro** da Terra
- condição 3: **plano do Equador**
- inclinada, mesmo período: **geossíncrono** (faz um oito)
- fora do Equador: antena **inclinada**, nunca a pino

Exemplo resolvido – uma volta em quilômetros

Raio da órbita: 42 200 km, percorrido uma vez por dia

Fórmula:

Substituição:

Resultado:

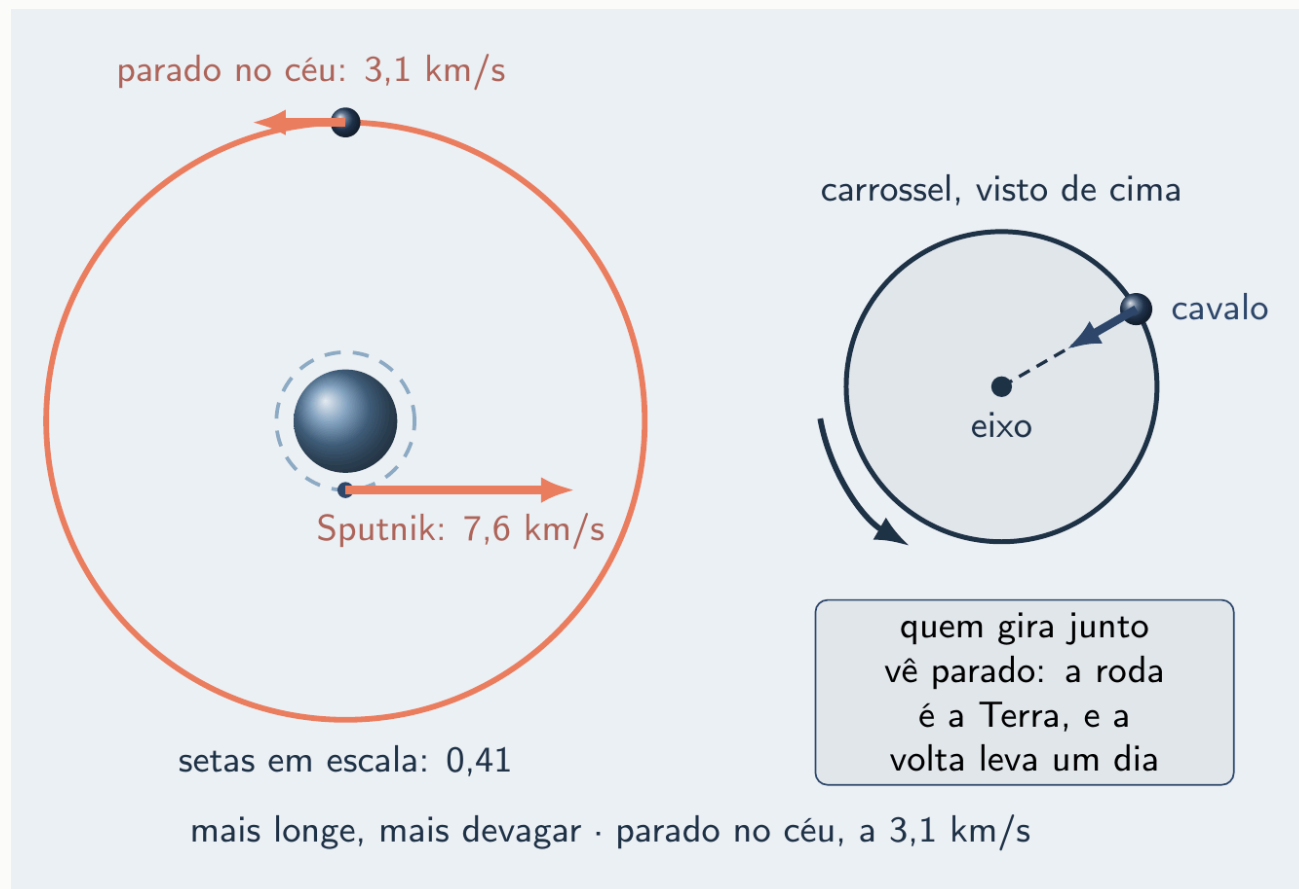
$$C = 2\pi r$$

$$C = 2 \cdot 3,14 \cdot 42\,200$$

$$C \approx \mathbf{265\,000\,km}$$

- todo dia · sem motor

Conceito 3 – Parado é relativo



- telhado: satélite imóvel
- estrelas: satélite em círculo
- mesma velocidade angular do chão
- resultante **não nula**:
gravitacional, para o centro
- mais longe → **mais devagar**

Exemplo resolvido – a velocidade do satélite

Raio de $4,22 \times 10^7$ m · período de 86 164 s

Fórmula:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Substituição:

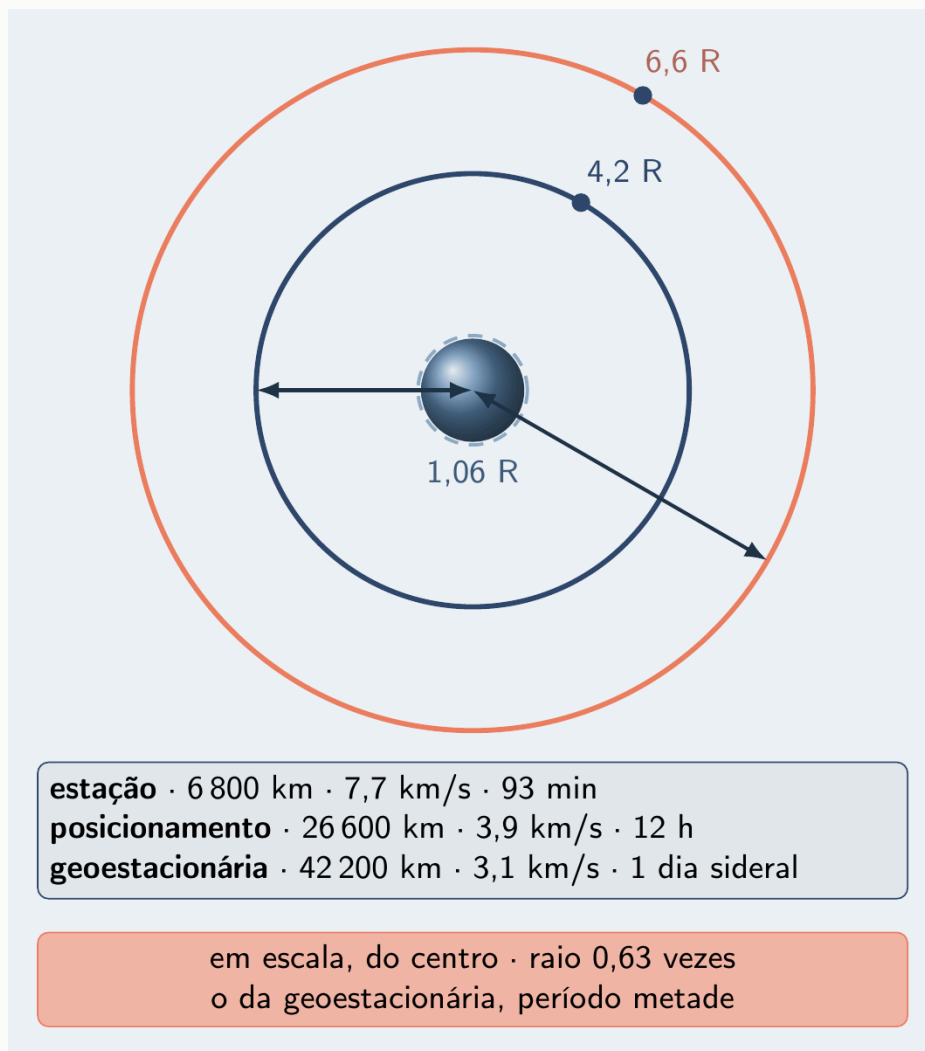
$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 4,22 \times 10^7}{86\,164}$$

Resultado:

$$v \approx \mathbf{3,1 \text{ km/s}}$$

- Sputnik: 7,6 km/s · razão 0,41

Conceito 4 – O sistema de posicionamento



- 24 satélites nominais, 6 planos inclinados
- altura: **20 200 km** · nenhum parado no céu
- meio dia sideral por volta
- raios em escala: 1,06 R, depois 4,2 R, depois 6,6 R

Exemplo resolvido – o período a 20 200 km

Raio: 6 400 km + 20 200 km · $G M = 4,0 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$

Fórmula:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{G M}}$$

Substituição:

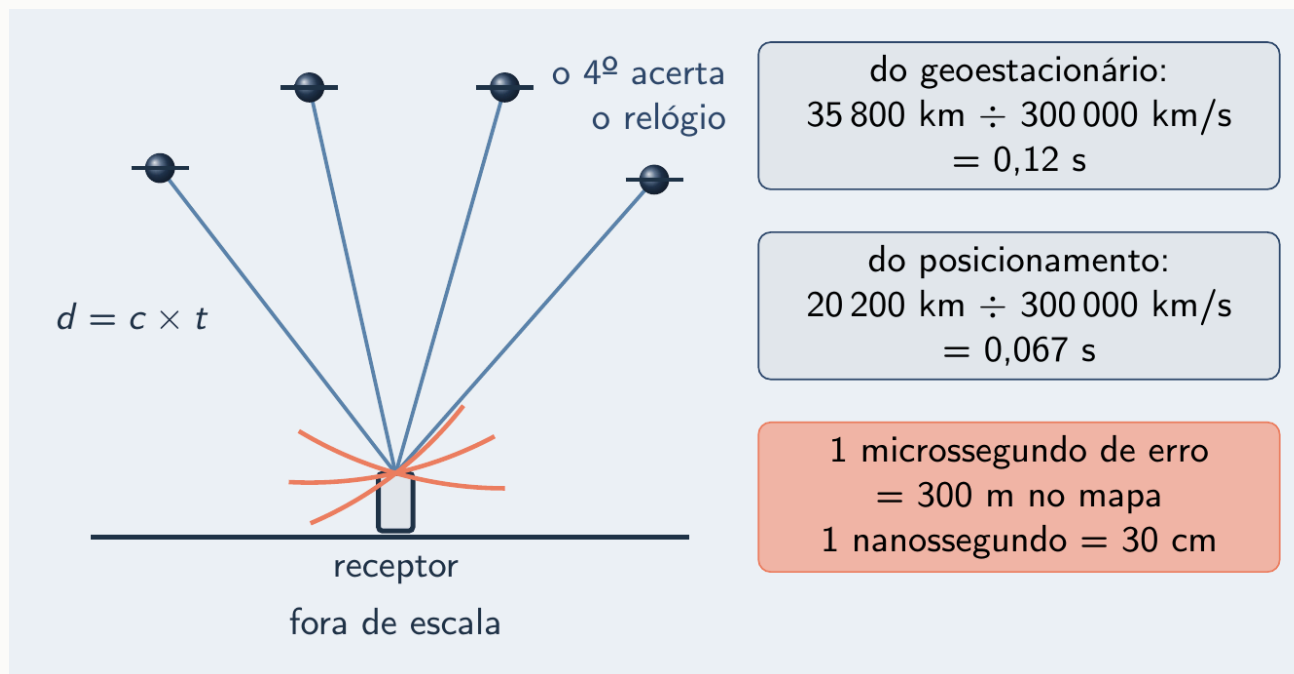
$$T = 6,28 \sqrt{\frac{(2,66 \times 10^7)^3}{4,0 \times 10^{14}}}$$

Resultado:

$$T \approx \mathbf{12 \text{ h}}$$

- 43 100 s; medido: 11 h 58 min

Conceito 5 – Quatro relógios, um endereço



- $d = ct$
- atraso do sinal → distância
 - 3 distâncias: o ponto · a 4ª: acerta o relógio
 - relógio do satélite e relatividade: Física Moderna

Exemplo resolvido – atraso e erro

Sinal a $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ · altura de $3,58 \times 10^7 \text{ m}$ · relógio errado em 10^{-6} s

Fórmula:

$$t = \frac{d}{c}$$

$$\Delta d = c \Delta t$$

Substituição:

$$t = \frac{3,58 \times 10^7}{3,0 \times 10^8}$$

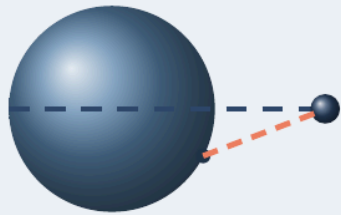
$$\Delta d = 3,0 \times 10^8 \cdot 10^{-6}$$

Resultado:

$$t \approx \mathbf{0,12 \text{ s}}$$

$$\Delta d = \mathbf{300 \text{ m}}$$

Radar ENEM



só sobre
o Equador

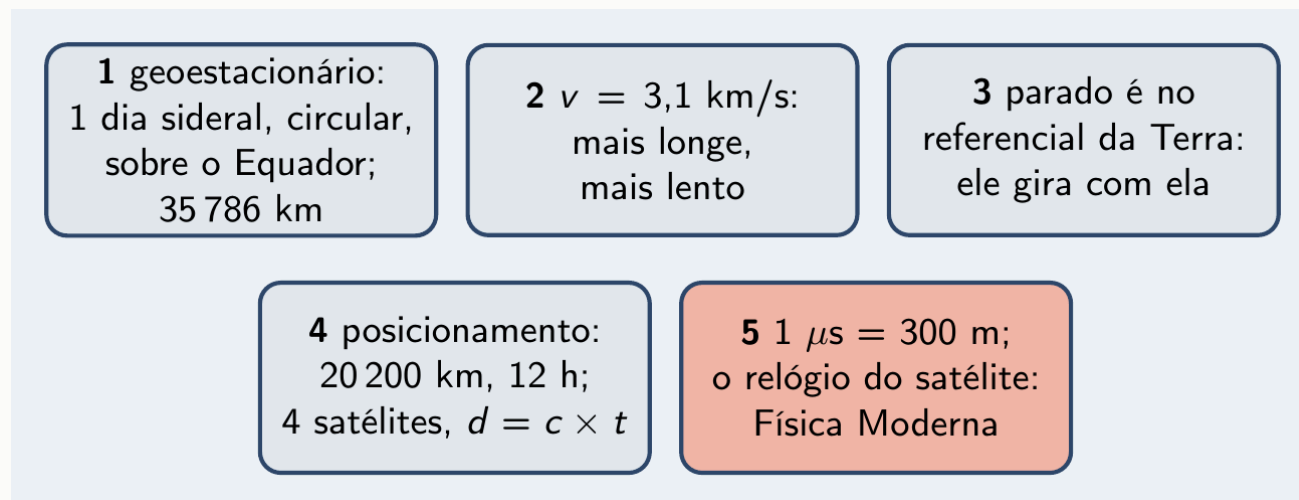
período = dia sideral;
circular, sobre o Equador;
uma altitude só: 35 786 km;
 $v = 3,1 \text{ km/s}$: mais devagar;
parado no referencial da Terra;
 $d = c \times t$: $1 \mu\text{s} = 300 \text{ m}$

~~parado sobre São Paulo;
parado, logo sem velocidade;
o mais alto é o mais rápido;
satélite mais pesado, outra altitude~~

uma força só, a gravitacional,
e ela não é zero

- ✗ parado sobre São Paulo
- ✗ parado, logo sem velocidade
- ✗ o mais alto é o mais rápido
- ✗ satélite pesado, outra altitude
- ✓ dia sideral, circular, Equador · ✓ $d = c t$

Resumo em cinco peças



1. três condições, uma altitude
2. 3,1 km/s: longe e lento
3. parado só para a Terra
4. GPS: 12 h, quatro satélites
5. microssegundo vale 300 m

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m3/c7/lista>

Canarinho · lista do Episódio 7

Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/m3/c7/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m3/c7/lista>

Livro da minissérie



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

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