

**Universidade de São Paulo  
Instituto de Física de São Carlos - IFSC**

**FCM 0410 Física para Engenharia Ambiental**

***Conservação da Energia***

**Prof. Dr. José Pedro Donoso**

## **Agradescimentos**

**O docente da disciplina, Jose Pedro Donoso, gostaria de expressar o seu agradecimento a Flávia O. S. de Sá Lisboa pelo auxílio na montagem da página /web/ da disciplina.**

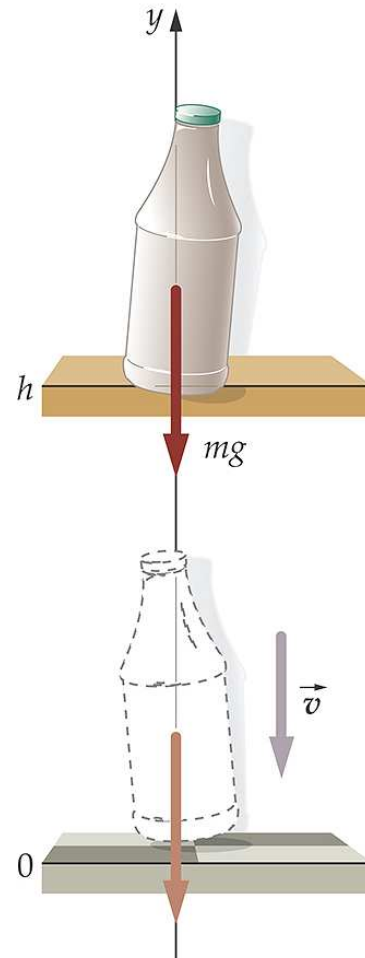
**Parte das figuras utilizadas nos slides foram obtidas do texto "*Física*" de P.A. Tipler e G. Mosca, através do acesso às páginas para os professores das editora LTC (Livros Técnicos e Científicos).**

## Montanha russa

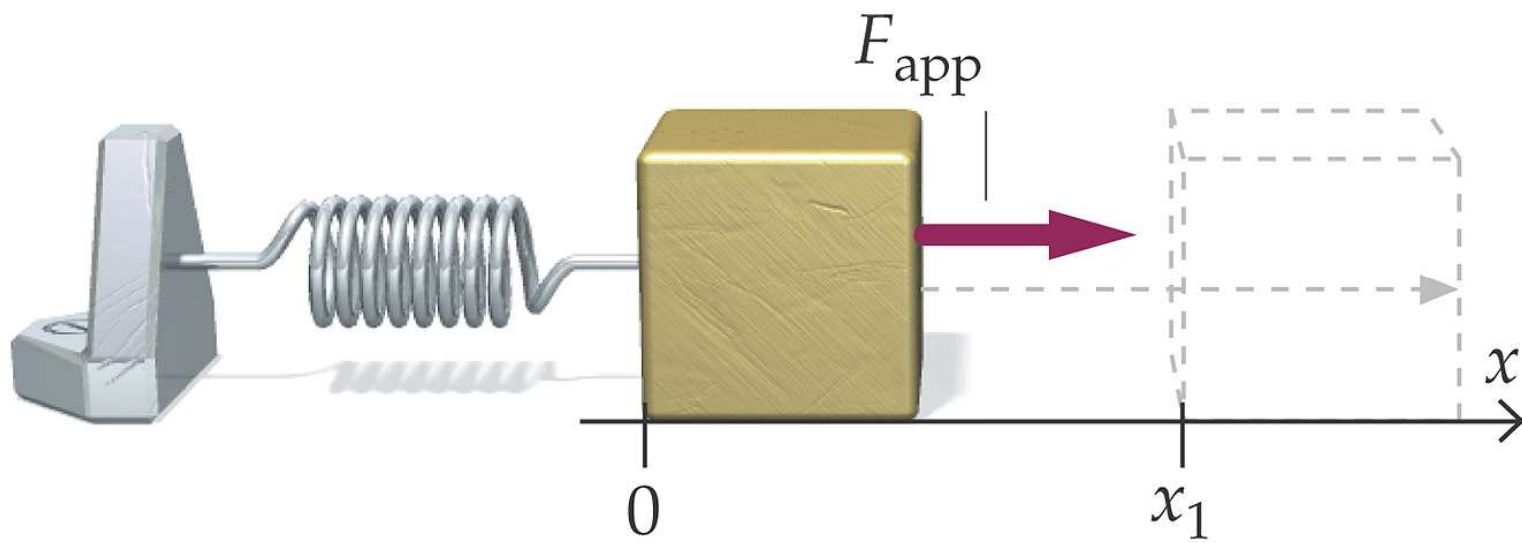


©2008 by W.H. Freeman and Company

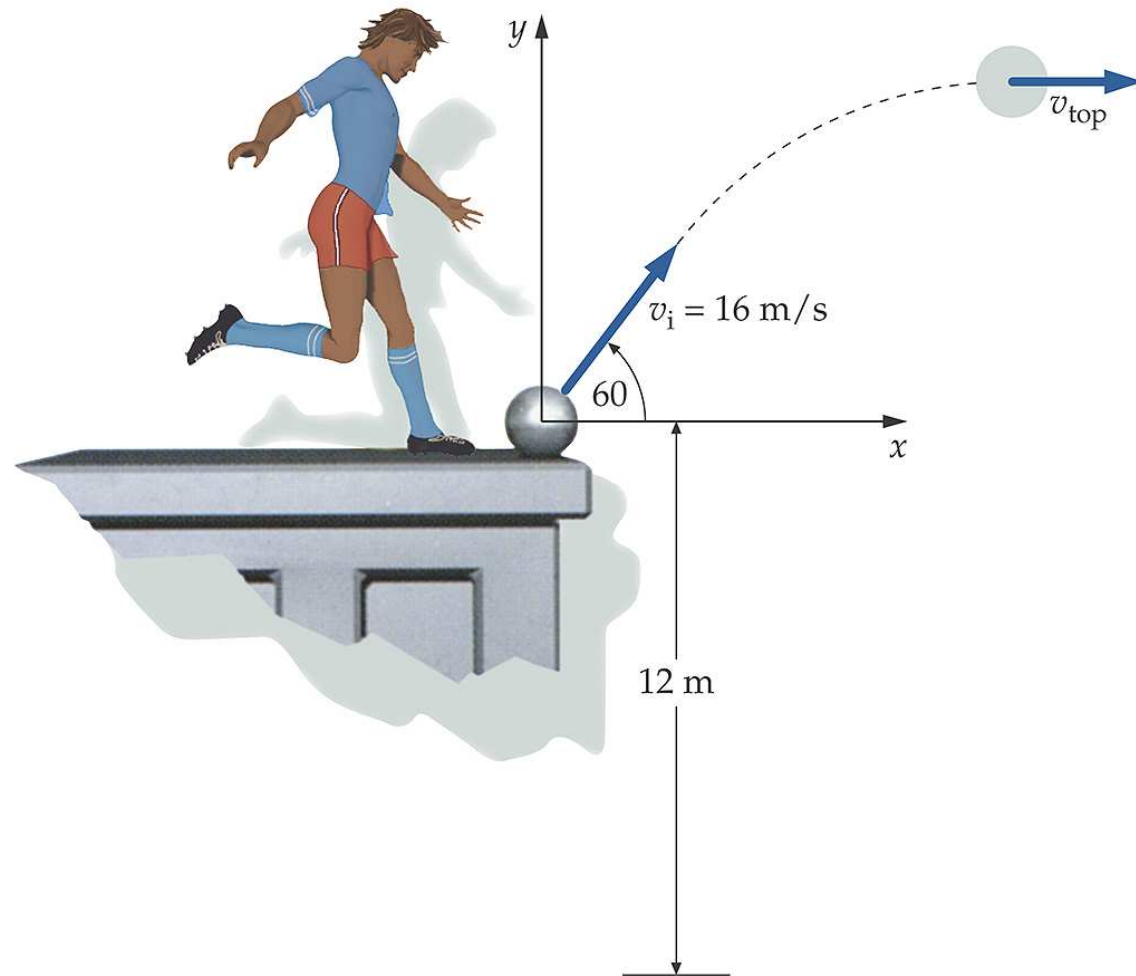
## Garrafa caindo: energia potencial e energia cinética



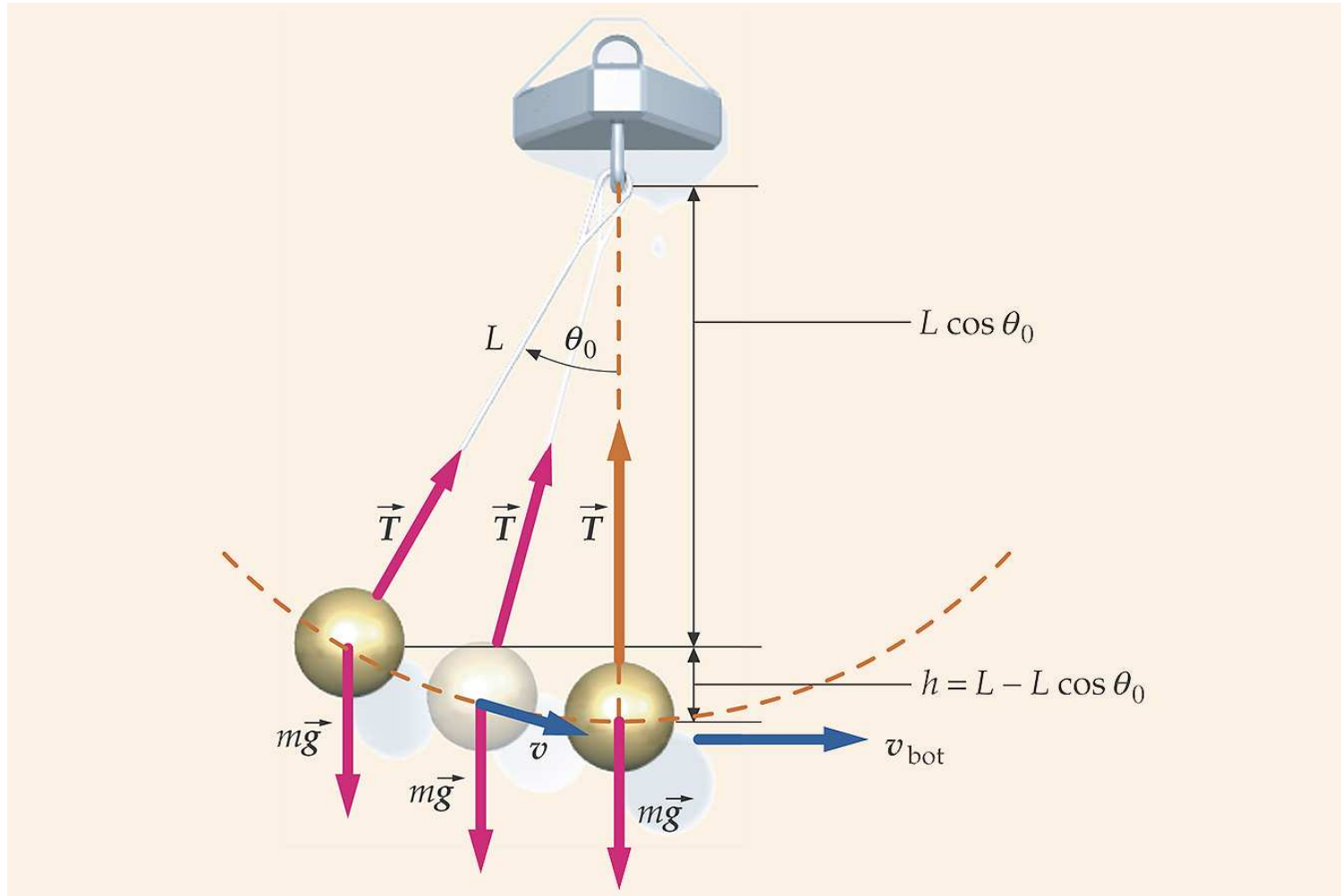
## Energía potencial elástica



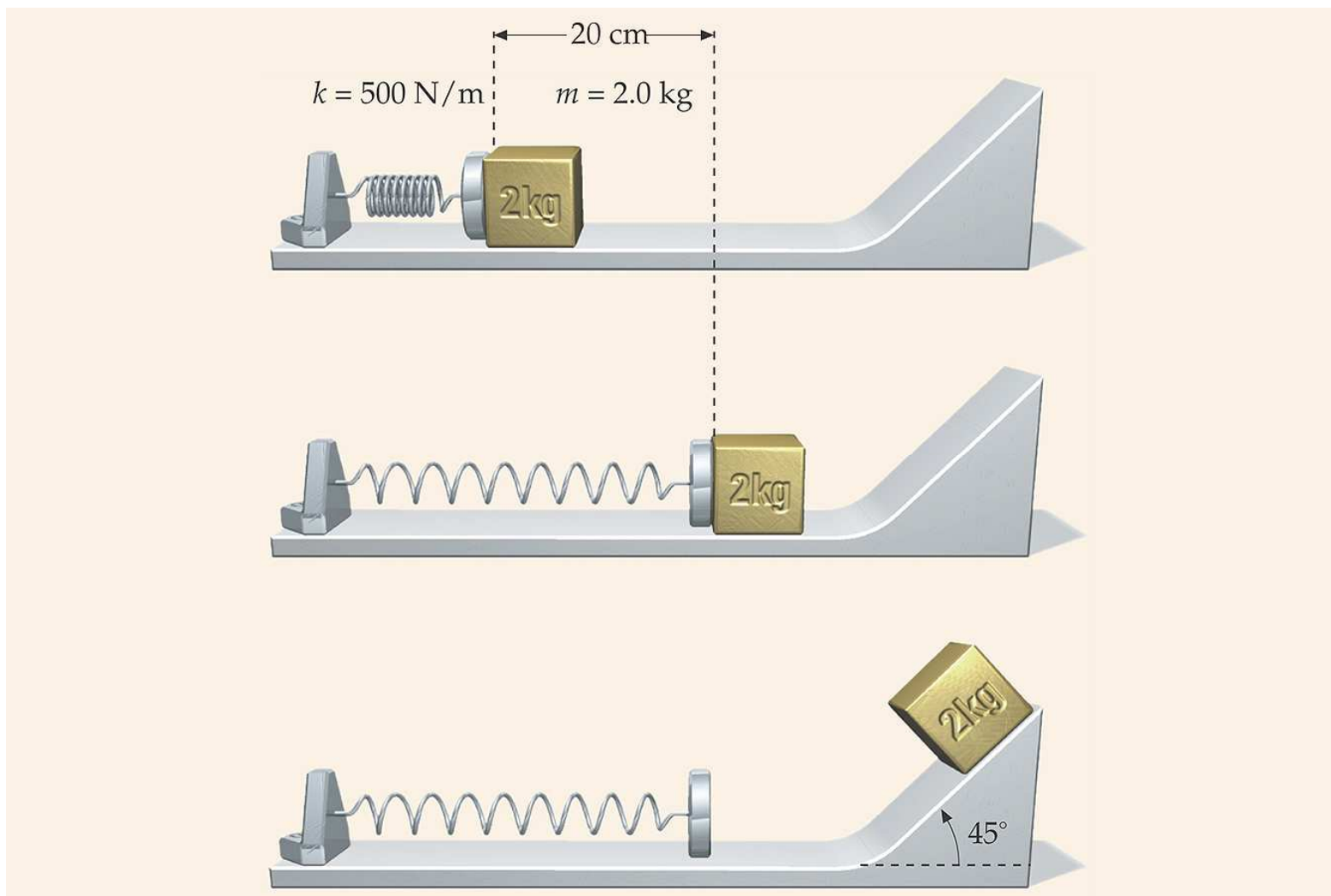
## Exemplo: conservação de energia



## Conservação de energia num pêndulo

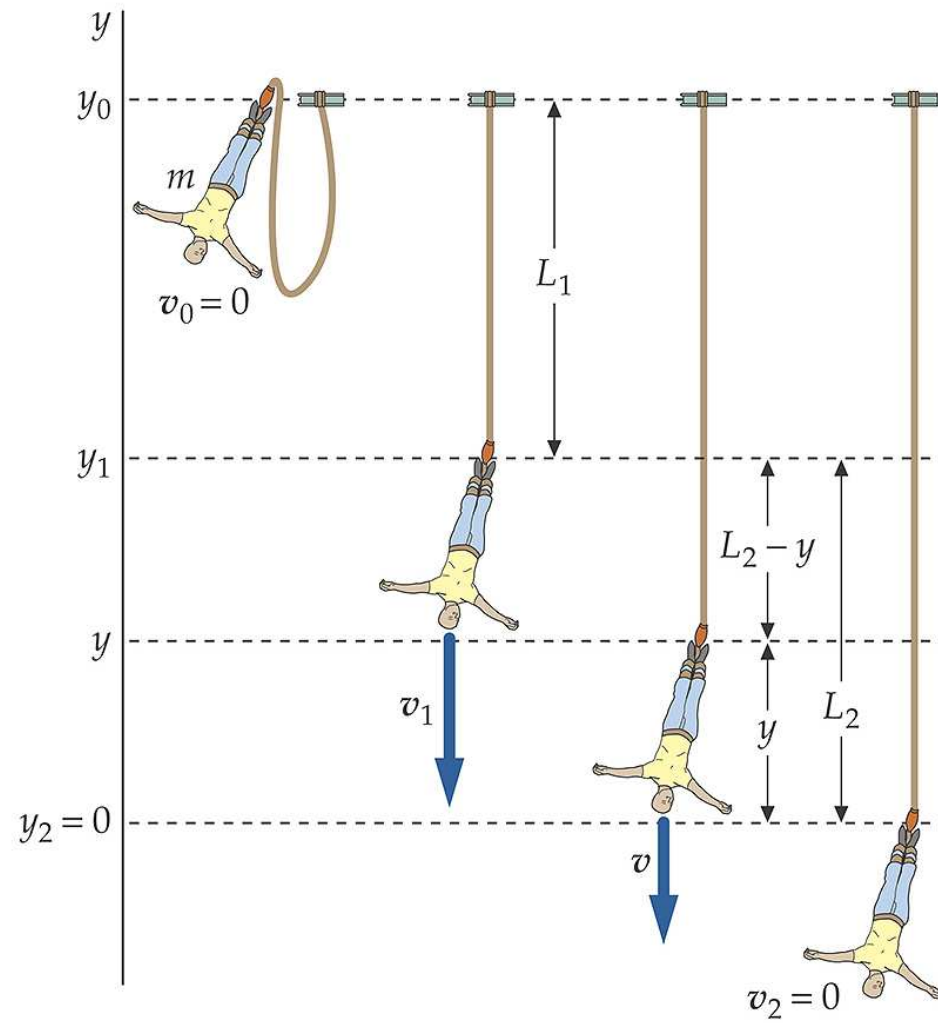


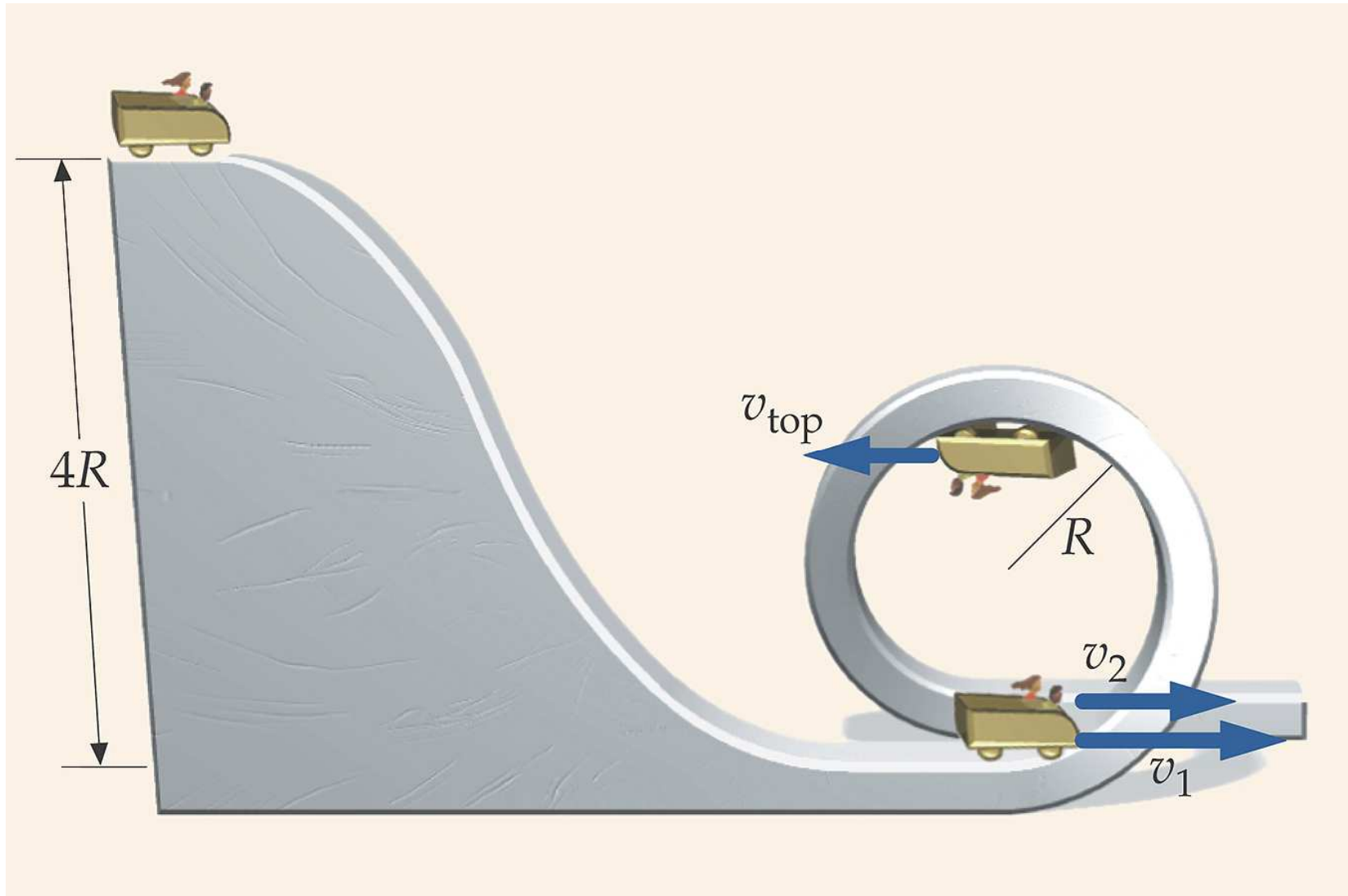
## Conservação de energia: bloco empurrando uma mola





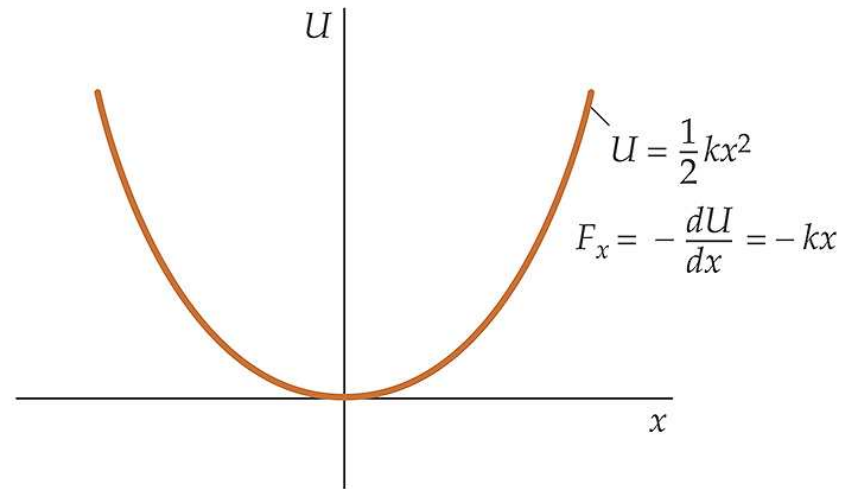
## Salto de *Bungee - jump*



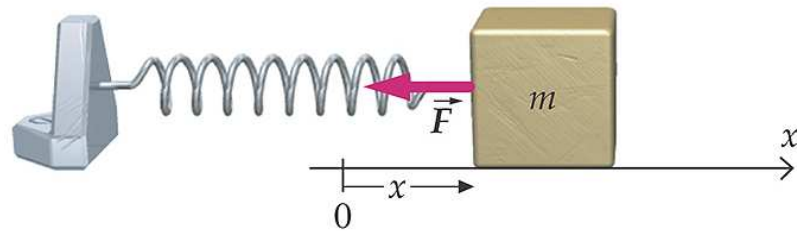


©2008 by W.H. Freeman and Company

## Energia potencial e Equilíbrio

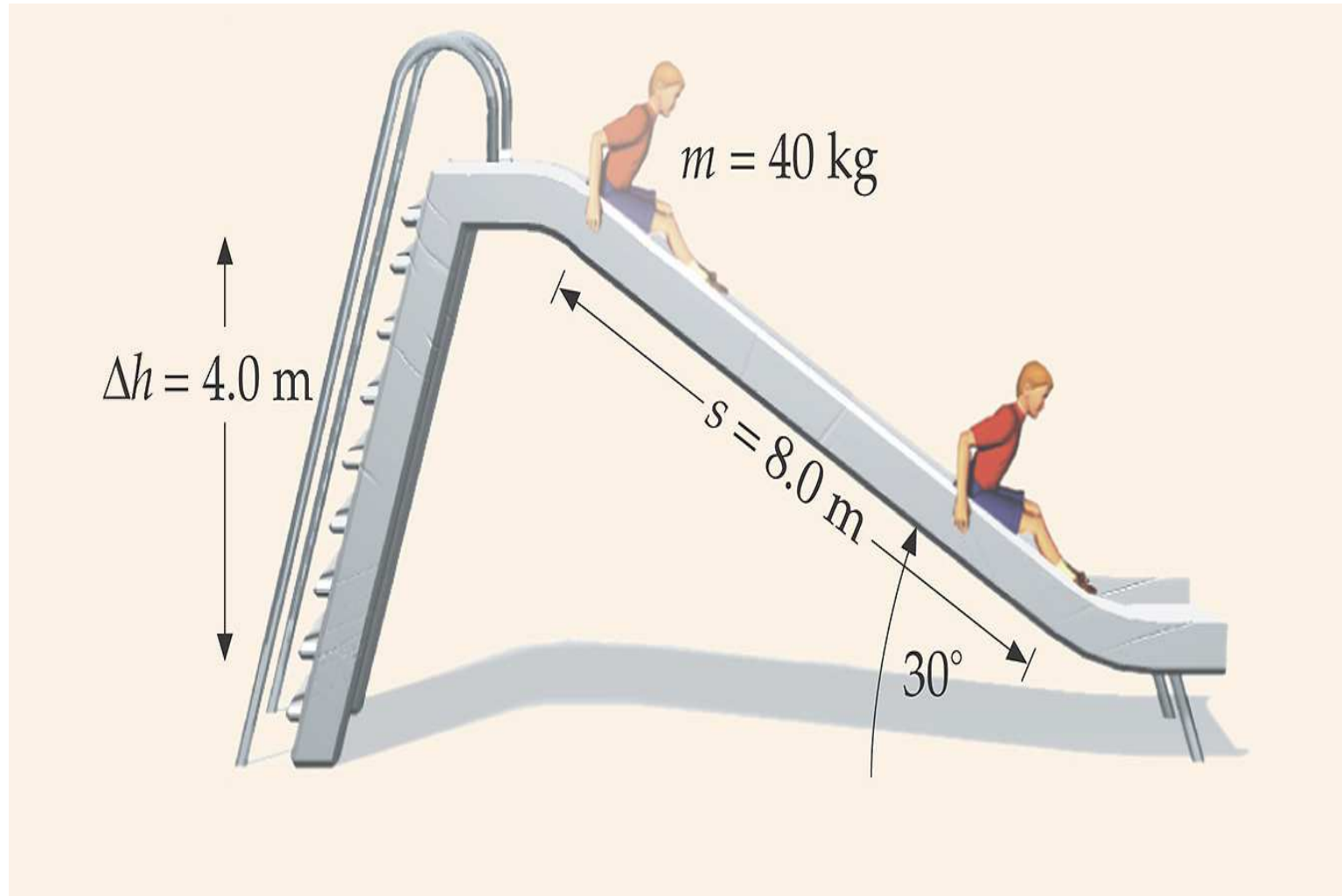


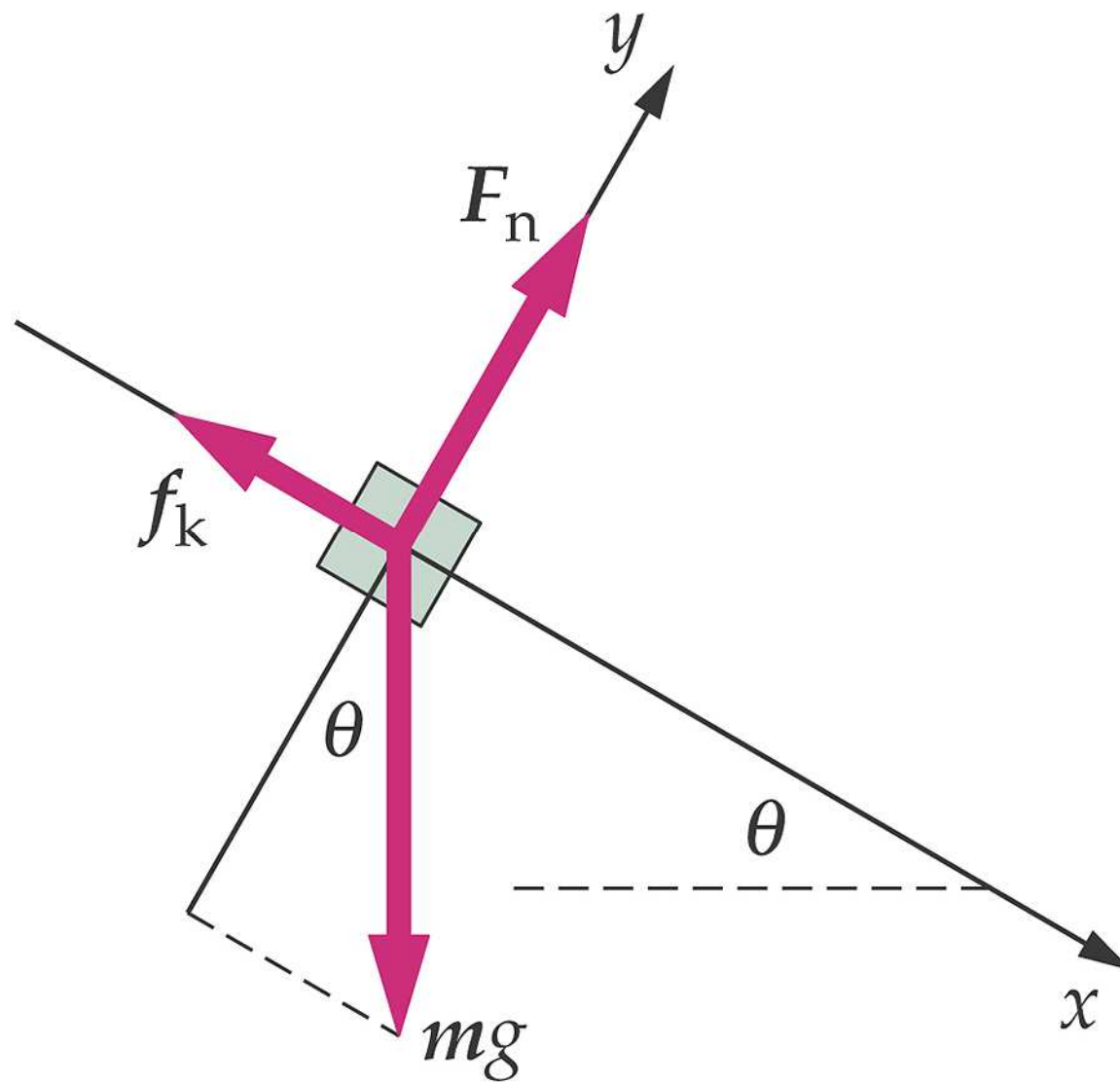
(a)



(b)

## Escorregador: conservação de energia levando em consideração o atrito

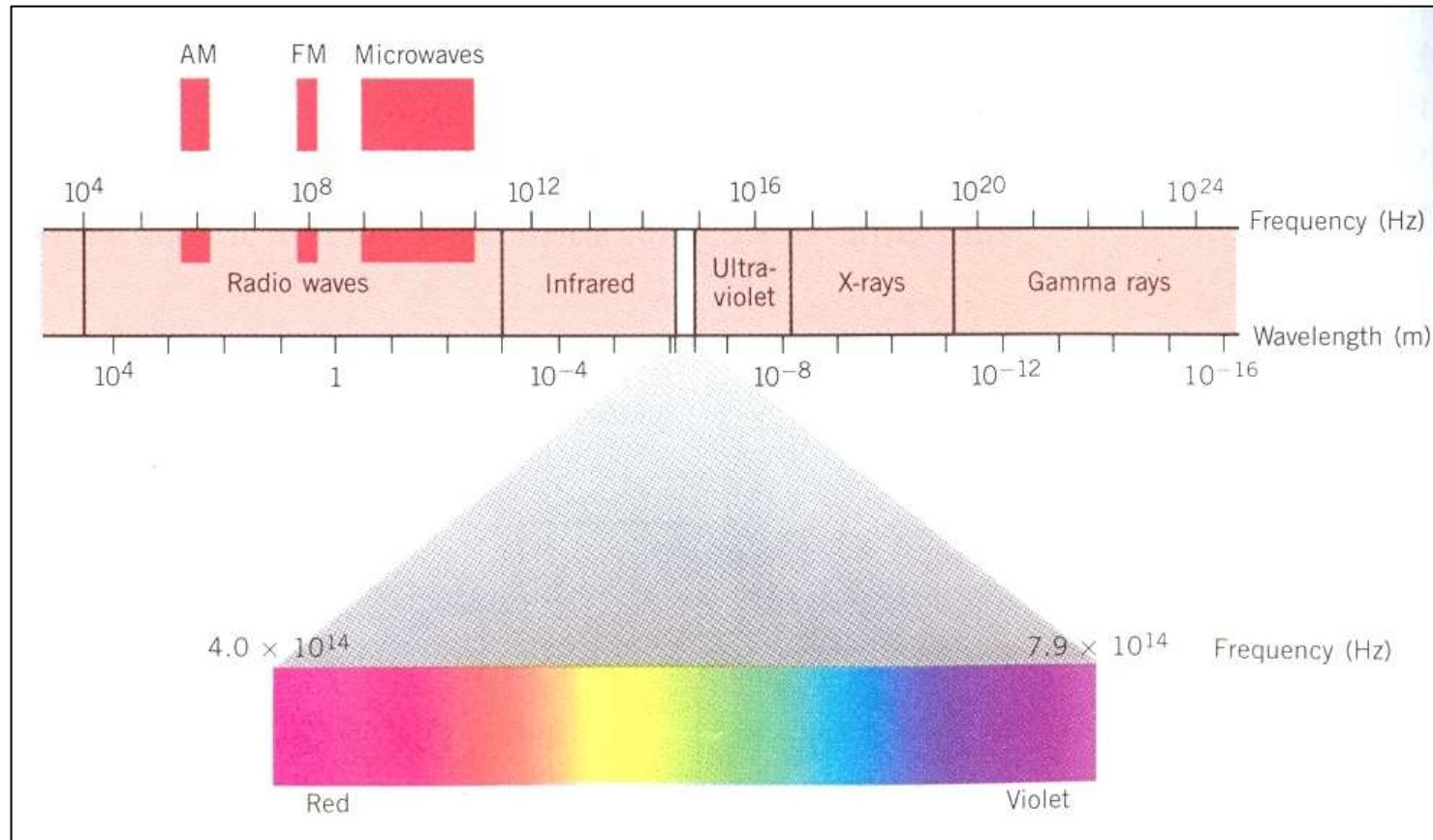




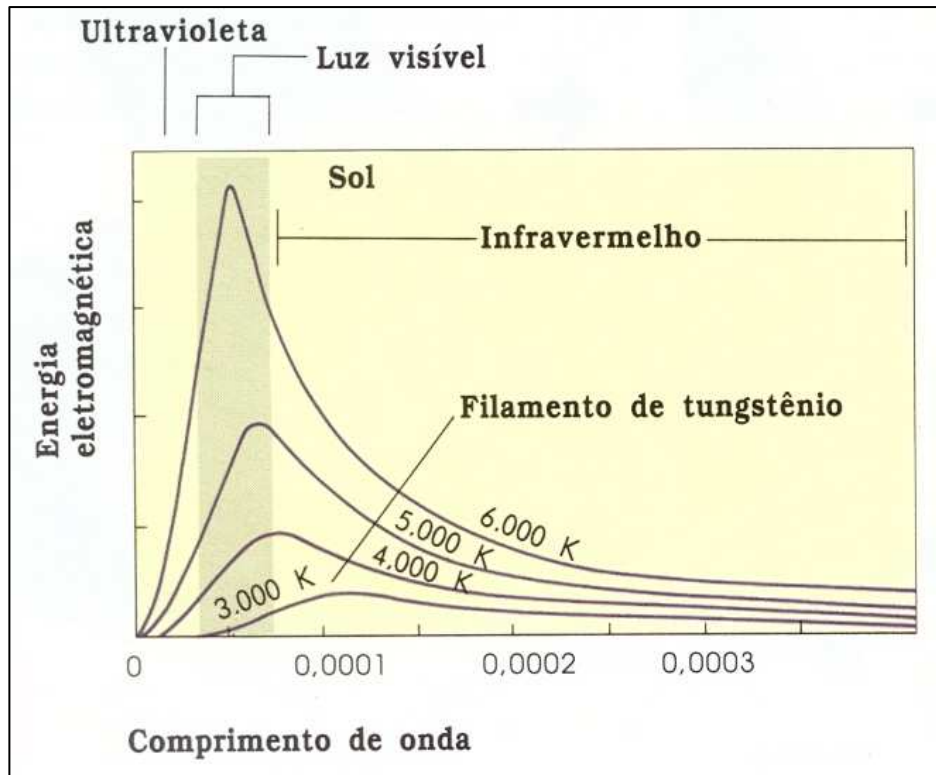


©2008 by W.H. Freeman and Company

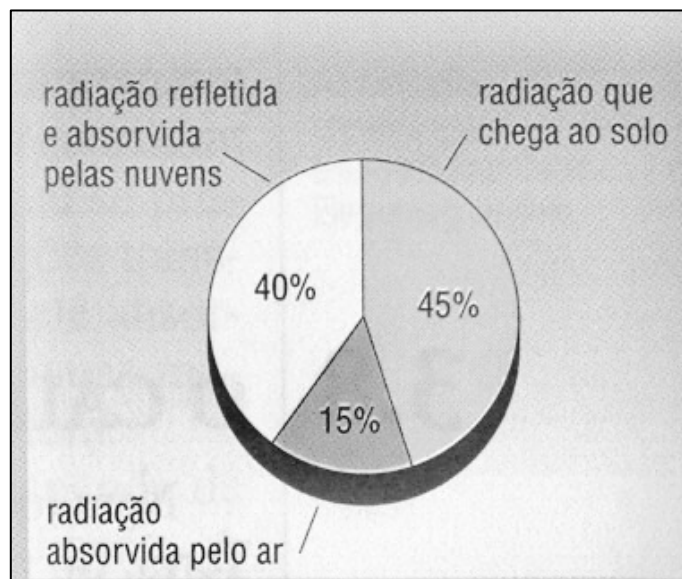
## Espectro eletromagnético



Em ordem crescente de energia, o espectro inclui: as ondas de rádio, a radiação infravermelha, a luz visível, a luz ultravioleta, os raios-X, e os raios  $\gamma$ . A radiação *Infravermelha* compreende os raios de comprimentos de onda maiores do que os da luz visível e que são notados por sua ação calórica.



O calor que sentimos ao aproximar uma mão de uma lâmpada incandescente é essencialmente um resultado de radiação infravermelha emitida pelo filamento incandescente e absorvida pela mão. Todos os objetos emitem radiação eletromagnética (chamada de **radiação térmica**) por causa de sua temperatura.



Cada segundo, a Terra recebe  $1.79 \times 10^{17}$  J de energia, mas menos da metade chega à superfície. Quando a radiação solar encontra a atmosfera terrestre, 25% desta radiação são refletidos de volta para o espaço; outros 25% são absorvidos pelos gases da atmosfera e a superfície da Terra reflete 5%.



## Geração e consumo de energia no Brasil

Matriz de geração de energia no Brasil:

81% hidroelétrica  
16% termoelétrica  
~2% nuclear.

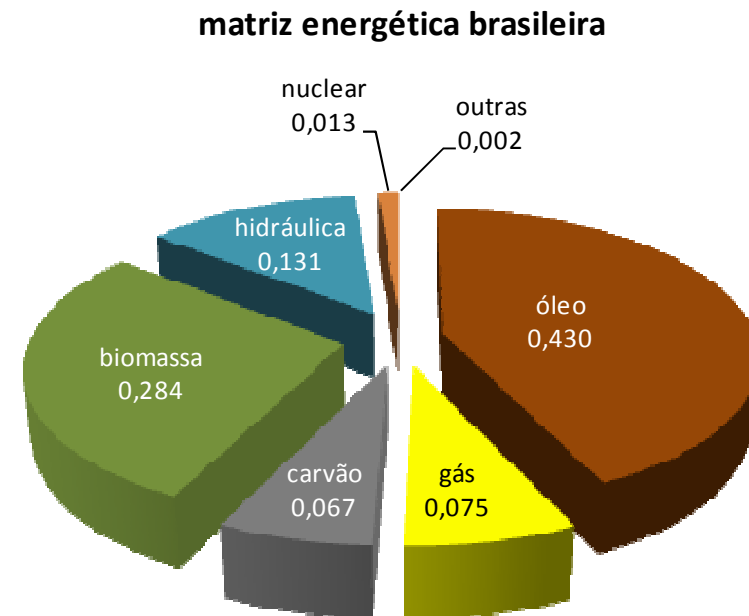
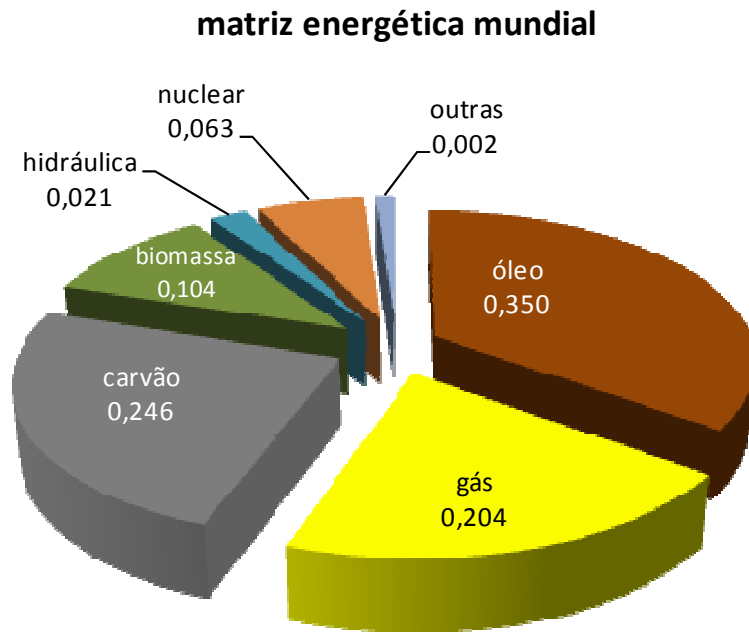
Consumo de energia:

setor industrial : 43% do consumo total,  
setor residencial : 27%  
comercial por 15%  
outros setores por 15%.

**As usinas termoelétricas e muitas plantas industriais utilizam gás natural como combustível. O Brasil importa da Bolívia aproximadamente a metade do gás que consome. São 24 milhões de metros cúbicos de gás natural por dia, através de um gasoduto de 3.150 quilômetros de extensão começou a operar em julho de 1999**

# Transição da matriz energética

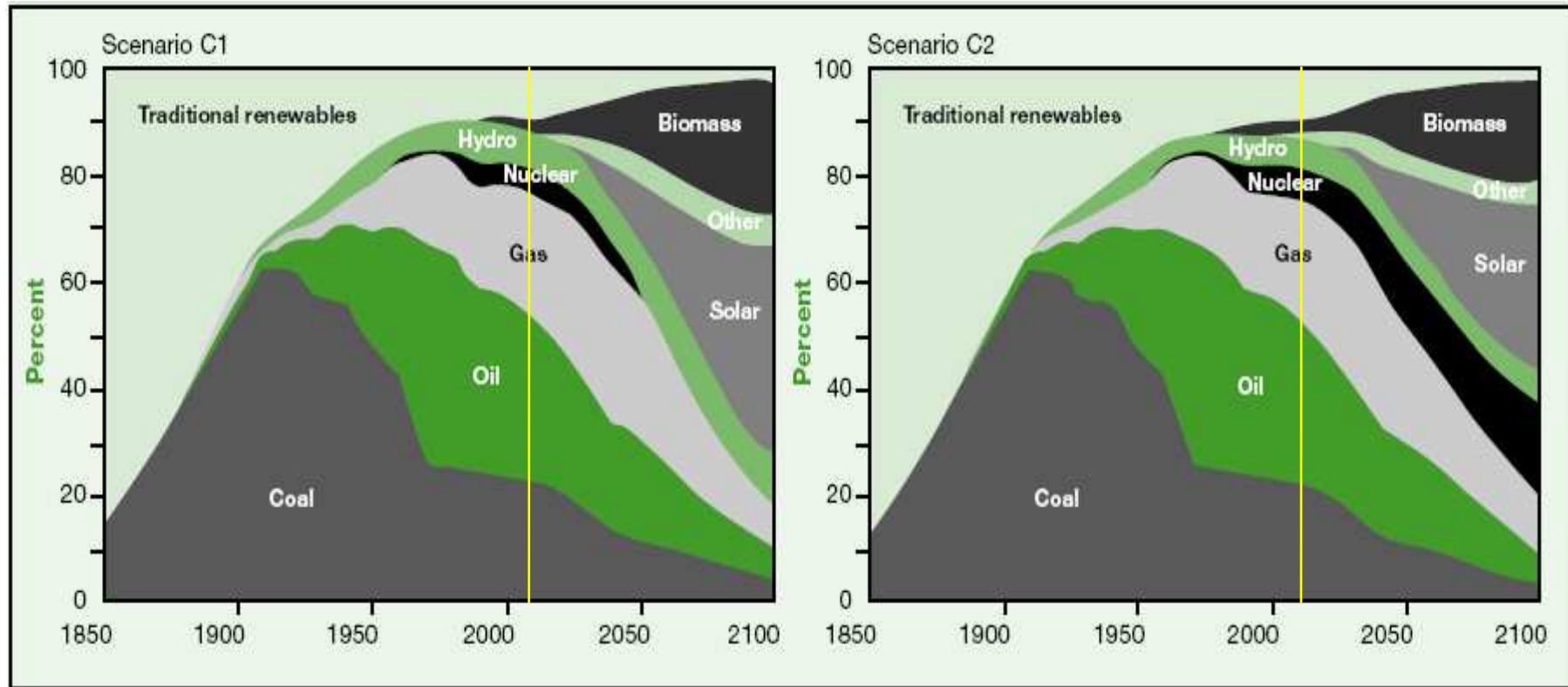
## cenário atual



Slide fornecido pelo  
Prof. Paulo Selegim (EESC)

# Transição da matriz energética

## história e perspectivas para 2100



Slide fornecido pelo Prof. Paulo Selegim (EESC)

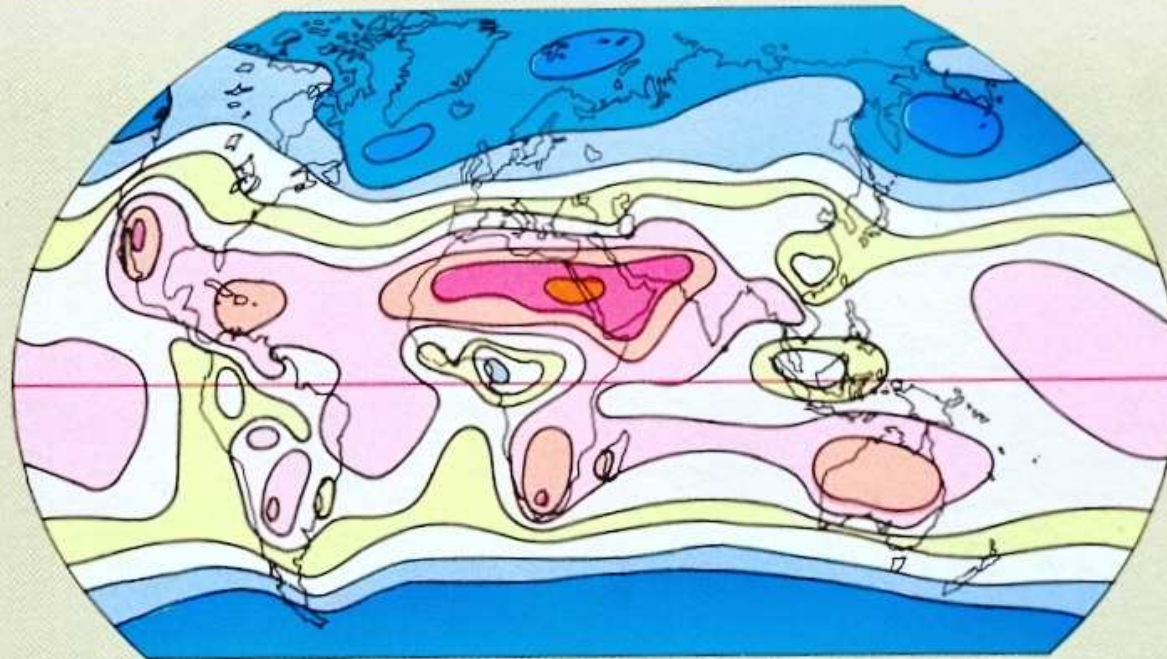
## Energia Solar

A radiação solar no espaço interestelar é de  $1353 \text{ W/m}^2$ , chamada de *constante solar*. A energia que atinge o solo da Terra é menor por causa da absorção na atmosfera. A quantidade de radiação solar por unidade de área que atinge um ponto específico da Terra depende da latitude, da declinação e da estação do ano.

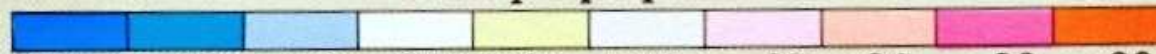
A transmissão da energia solar para a Terra se dá por meio de radiação eletromagnética, sendo que 97% da radiação solar está contida na região visível e infravermelho do espectro eletromagnético. A tabela indica a fração da radiação solar e a quantidade de radiação em cada região do espectro. A soma das energias em cada região dá os  $1353 \text{ W/m}^2$  da constante solar.

	<i>Radiação ultravioleta</i>	<i>Visível</i>	<i>Infravermelho</i>
Comprimento de onda	$\lambda < 0.38 \mu\text{m}$	$0.38 \leq \lambda \leq 0.78 \mu\text{m}$	$\lambda \geq 0.78 \mu\text{m}$
Fração	7%	47%	46%
Energia (em $\text{W/m}^2$ )	95	640	618

## Distribuição da energia solar

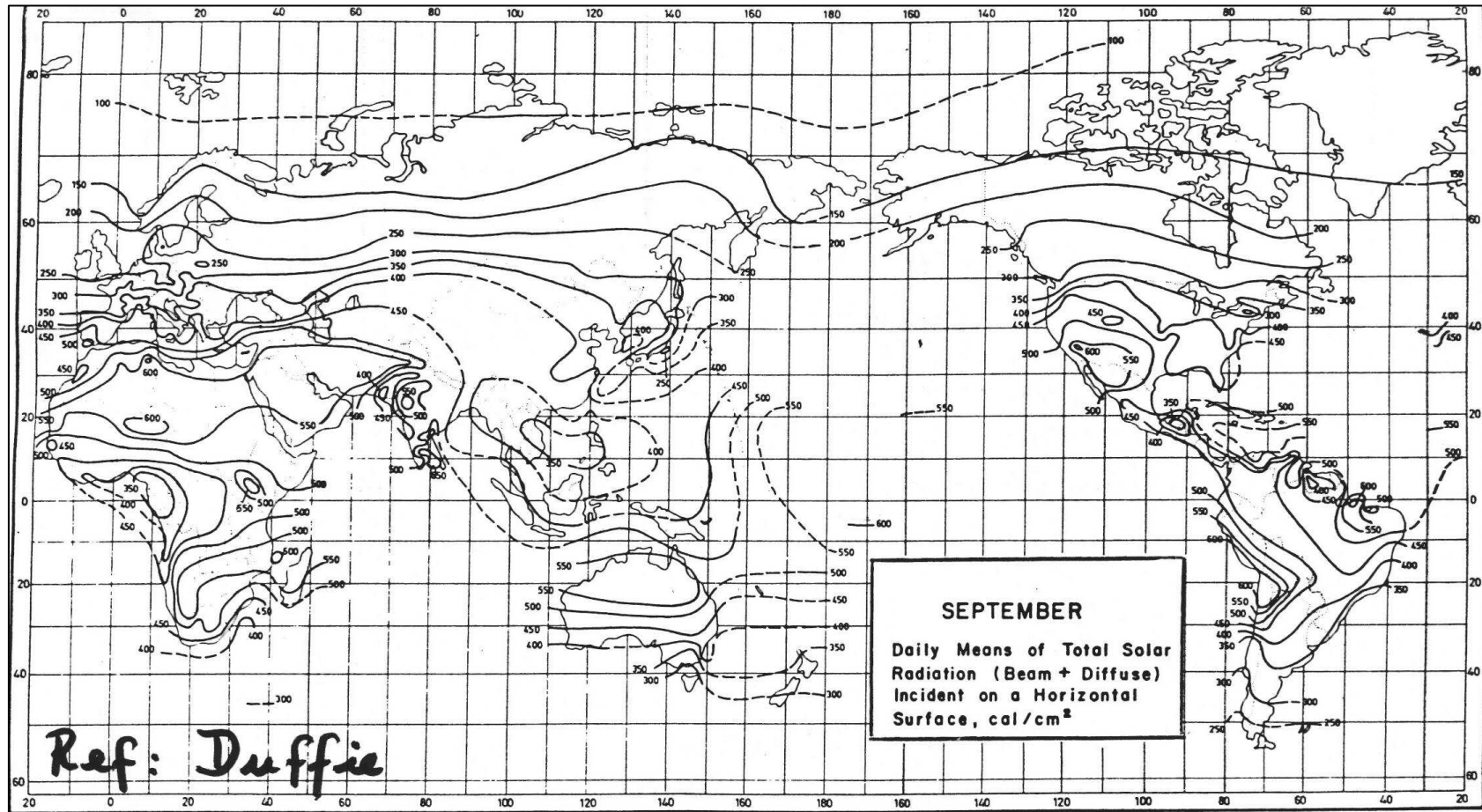


Watts por pé quadrado



10 12 14 16 18 20 22 24 26 28

(1 watt por pé quadrado = 10,76 watts por metro quadrado)

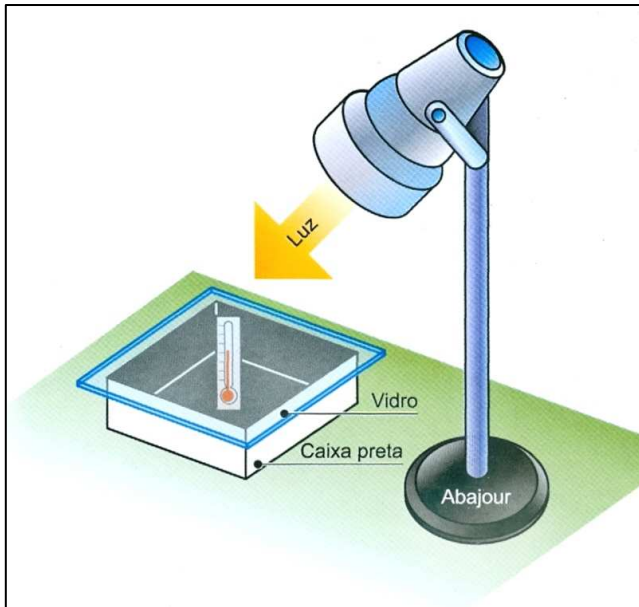


“Solar Engineering of thermal processes”, J.A. Duffie e W. Beckman (Wiley, 1980)

O Brasil apresenta um ótimo índice de **radiação solar**, principalmente no Nordeste, onde possui valores típicos entre 1752 kW-h/m<sup>2</sup> e 2190 kW-h/m<sup>2</sup>. Por este motivo a energia solar esta sendo cada vez mais empregada no país para aquecimento de água.

Conforme os levantamentos de consumo de energia elétrica, o setor residencial responde por 24% do consumo total no país e dentro desse setor, o aquecimento de água tem participação de 26%. Desta forma, o **aquecimento de água** é responsável por 6% de todo o consumo nacional de energia elétrica.

A forma predominante de aquecimento de água no Brasil é o **chuveiro elétrico**, o qual possui alta eficiência e baixo desperdício. Mais, apesar do baixo custo do aparelho, o uso do chuveiro representa um elevado investimento para as concessionárias (em torno de US\$ 900 por chuveiro instalado) considerando apenas os investimentos na geração.

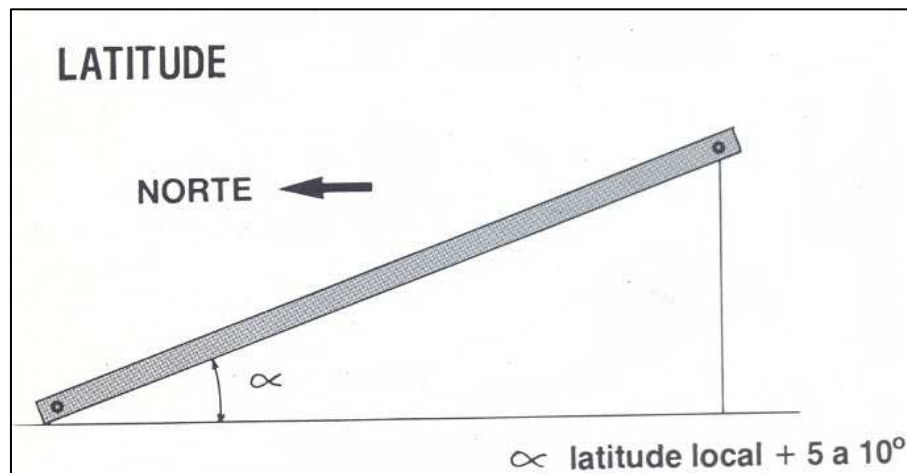
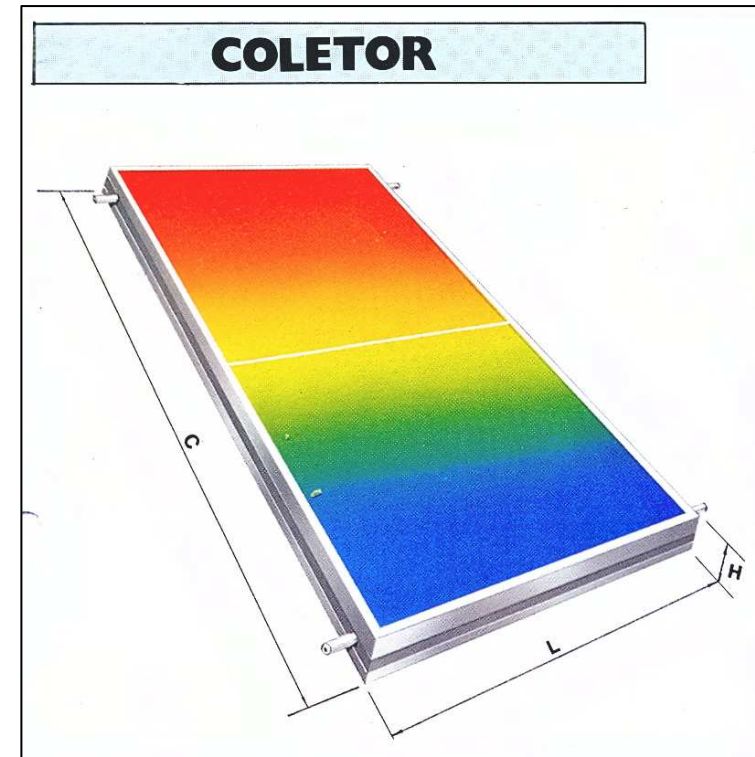
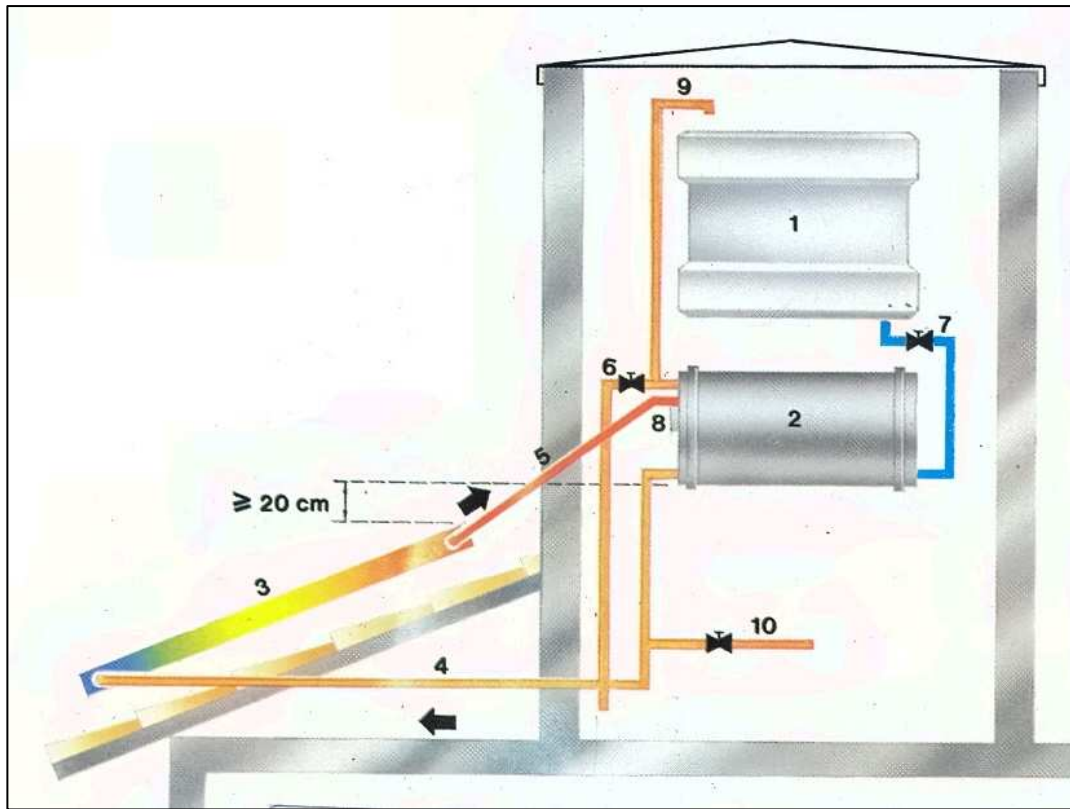


Os **coletores solares** usados em sistemas de aquecimento de água são caixas contendo uma superfície de vidro e um sistema de tubulações de cobre (bom condutor térmico).

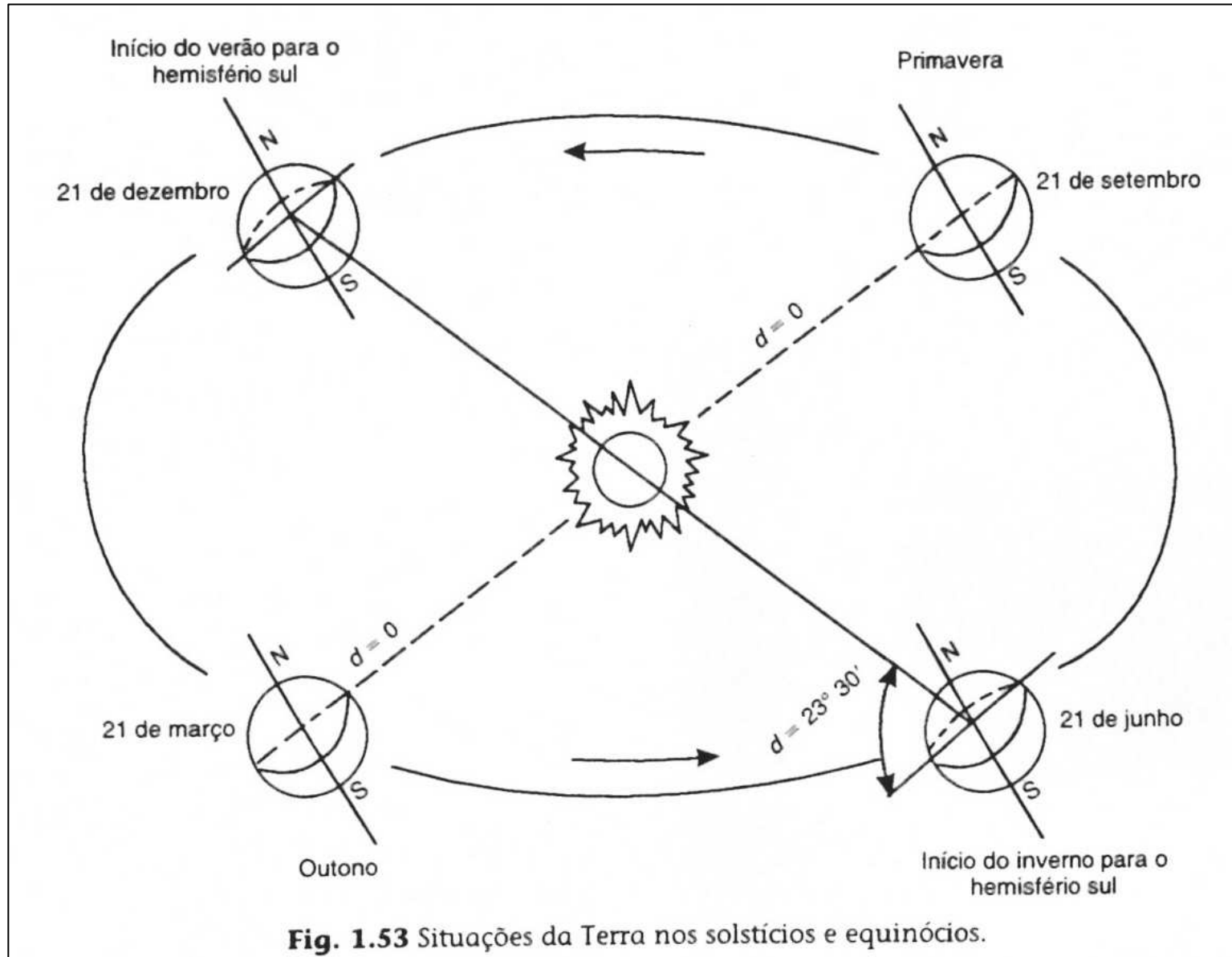


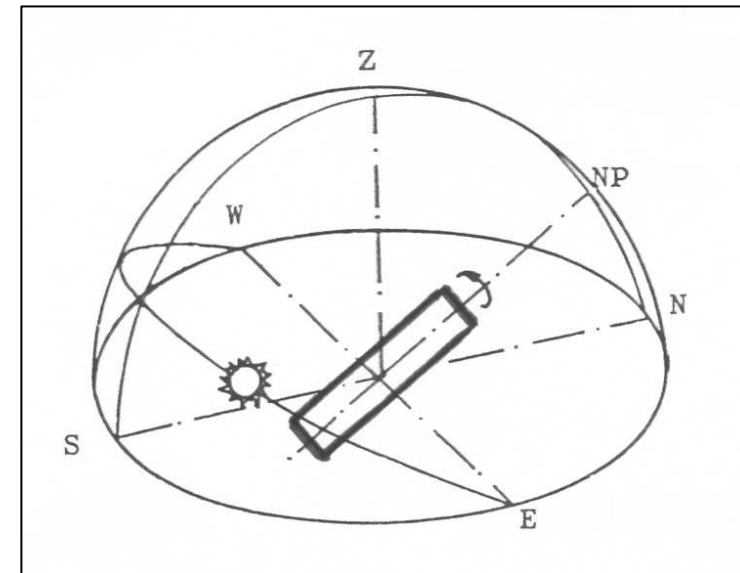
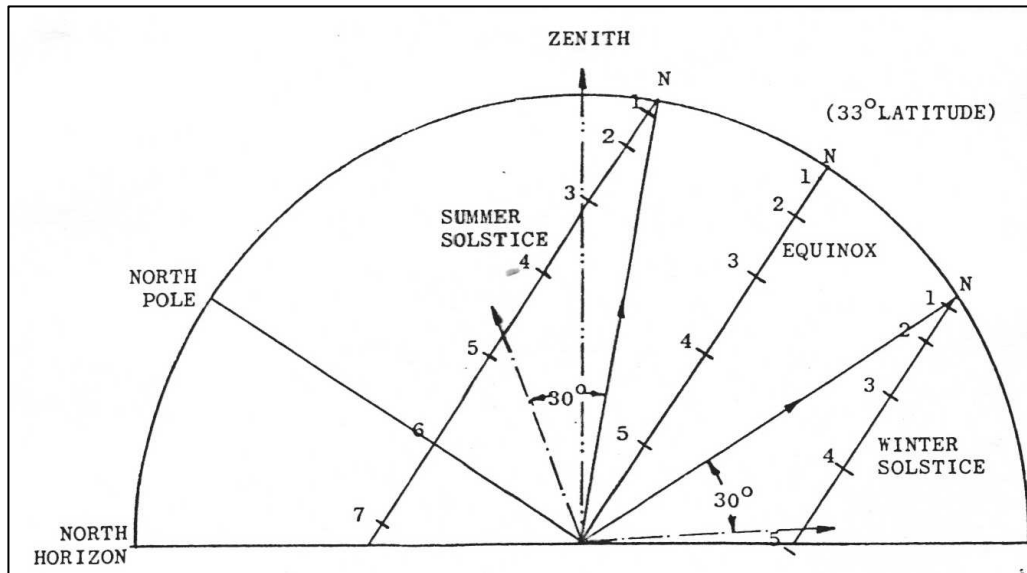
O coletor absorve a radiação solar e aquece a água que circula pela tubulação. Esta água quente (60o a 90o C) é armazenada num reservatório térmico cujas paredes estão recobertas por um material termicamente isolante.





- 1 - Reservatório de água fria
- 2 - Reservatório de água quente
- 3 - Coletor
- 4 - Descida de água para o coletor
- 5 - Subida de água quente do coletor para o reservatório
- 6 - Consumo
- 7 - Entrada de água fria
- 8 - Sistema auxiliar de aquecimento
- 9 - Respiro
- 10 - Dreno





## Aplicação:

Considere um coletor solar de placas planas no Estado de S. Paulo, que recebe uma radiação solar média por unidade de área de  $630 \text{ W/m}^2$  durante 8 horas por dia

a) Determine a energia disponível, por unidade de área, por dia.

b) Considerando que a eficiência do coletor é de 30%, qual a energia efetivamente disponível?

c) Determine a energia necessária ( $Q = mC\Delta T$ ) para aquecer 100 litros de água do reservatório, de  $25^\circ$  a  $75^\circ \text{ C}$ . A capacidade calorífica da água  $C = 4190 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

d) Qual a área do coletor solar a ser instalado para aquecer os 100 litros de água?

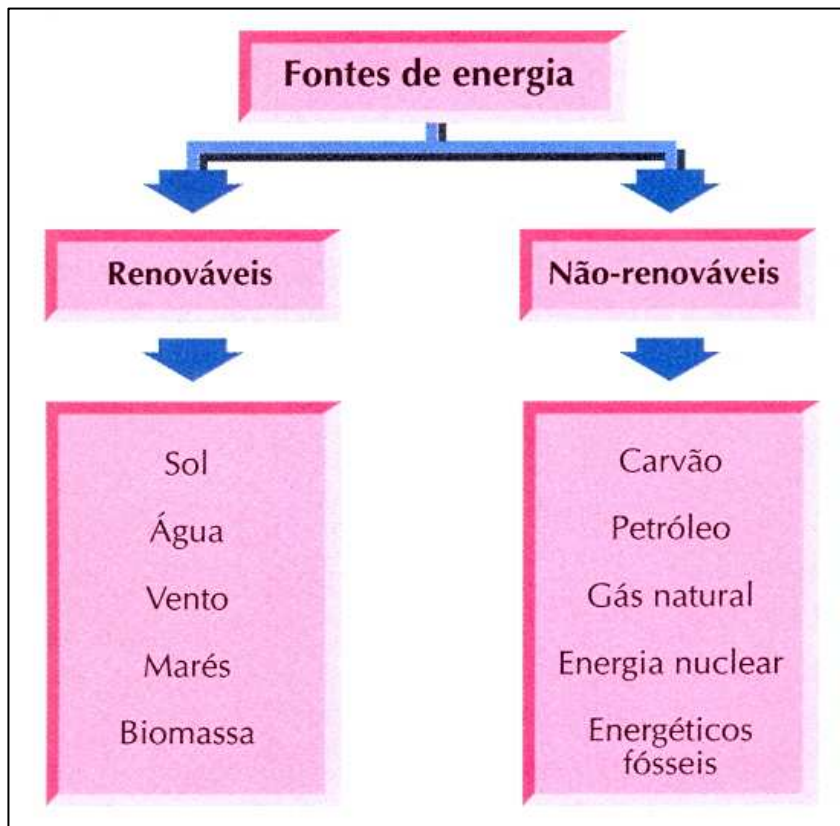
e) Considerando que os chuveiros elétricos contribuem para um consumo residencial de  $\sim 100$  kW-h ao mês, qual a área do coletor solar necessário para suprir esta energia? Compare sua resposta com a do item (d)

f) A placa de coletor solar comercial típico tem cerca de  $2 \text{ m}^2$  de área. Qual a potência incidente num coletor de 2 placas? Qual a potência coletada (eficiência = 30%)?

g) Qual o tempo exigido para aquecer os 100 litros de água?

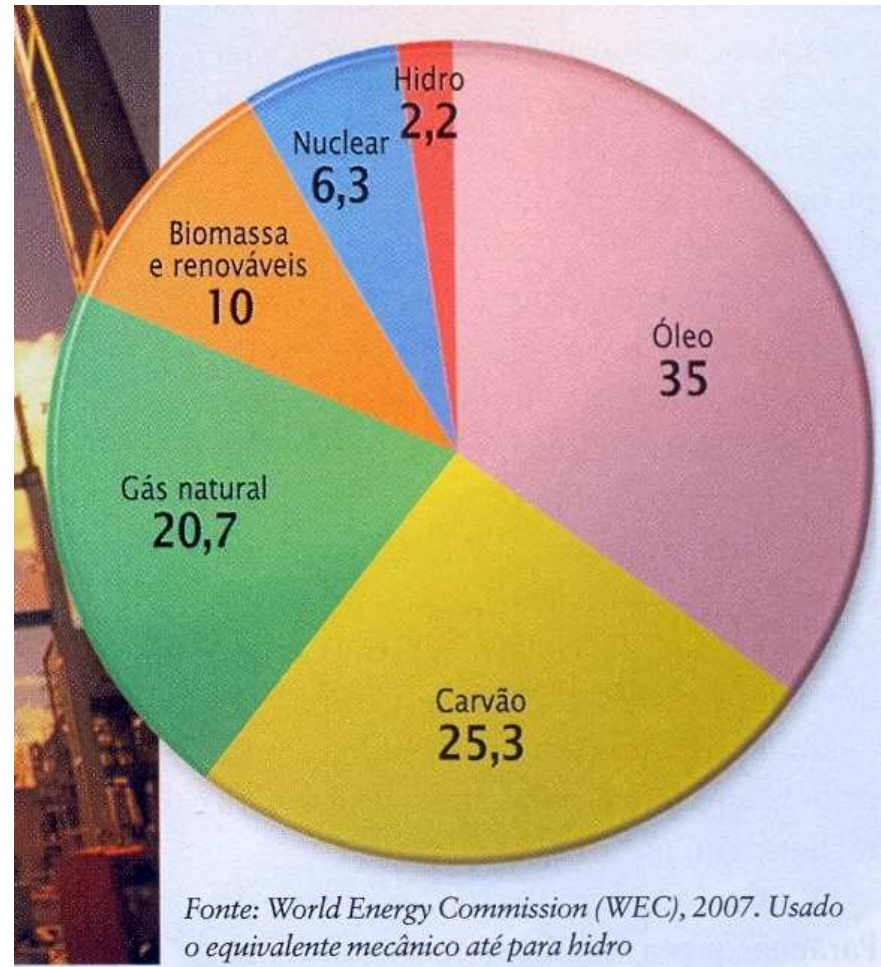
h) Faça uma avaliação da economia anual de energia elétrica e comente a viabilidade e a competitividade do investimento do aquecedor solar.

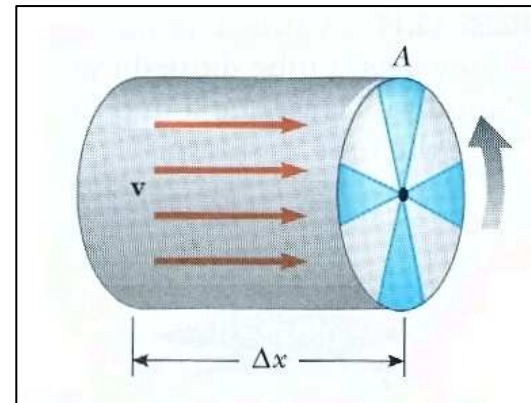
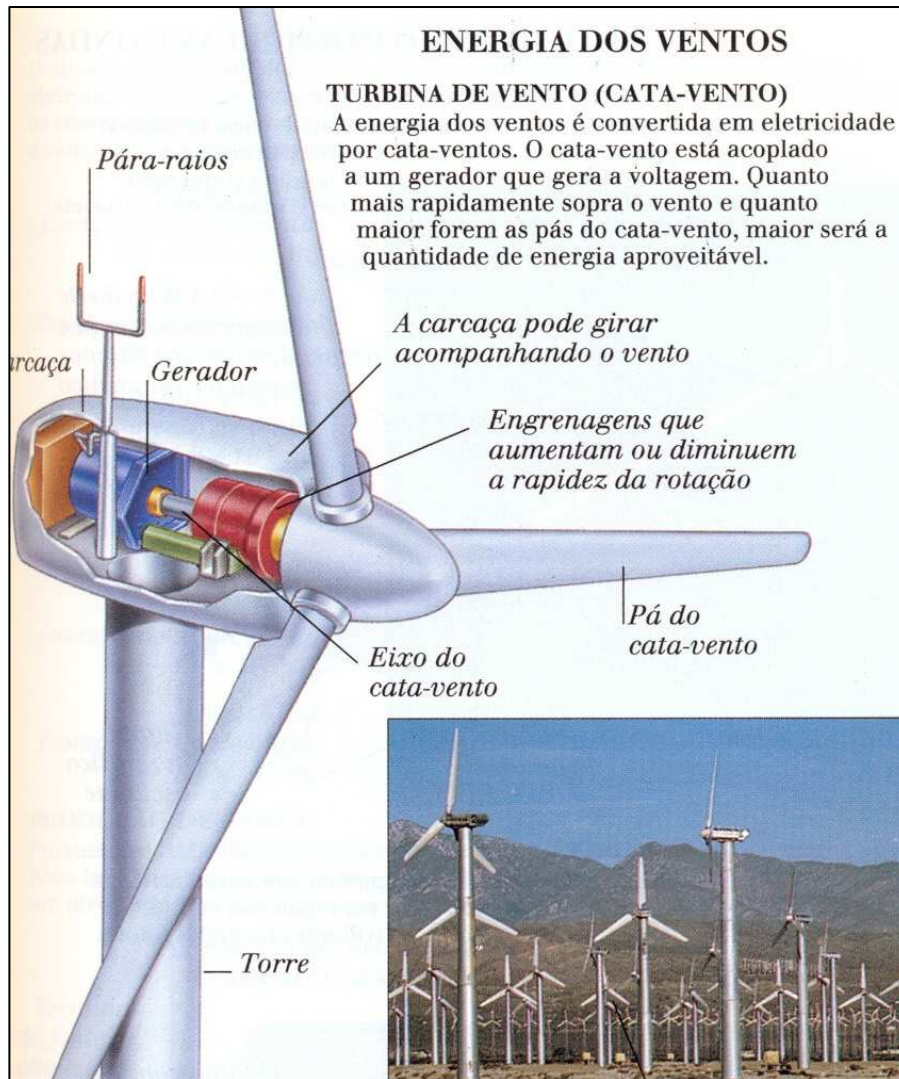
**Respostas:** (a)  $1.81 \times 10^7 \text{ J/m}^2$  (b)  $5.43 \times 10^6 \text{ J/m}^2$  (c)  $2.1 \times 10^7 \text{ J}$  (d)  $3.9 \text{ m}^2$  (e)  $2.5 \text{ m}^2$  (f)  $2.5 \times 10^3 \text{ W}$  e  $756 \text{ W}$  (g) 7.7 horas (h) Os chuveiros representam 20 a 25% do consumo residencial. Numa conta de R\$ 160 por mês, a economia pode chegar a cerca de R\$ 500 ao ano, nos preços atuais



Perspectivas. Prof Luiz Pinguelli Rosa  
 Scientific American 32 (Brasil, 2009)

## Energia primária no mundo





Energia cinética de uma coluna de vento:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Vv^2 = \left(\frac{1}{2}\rho v^2\right)V$$

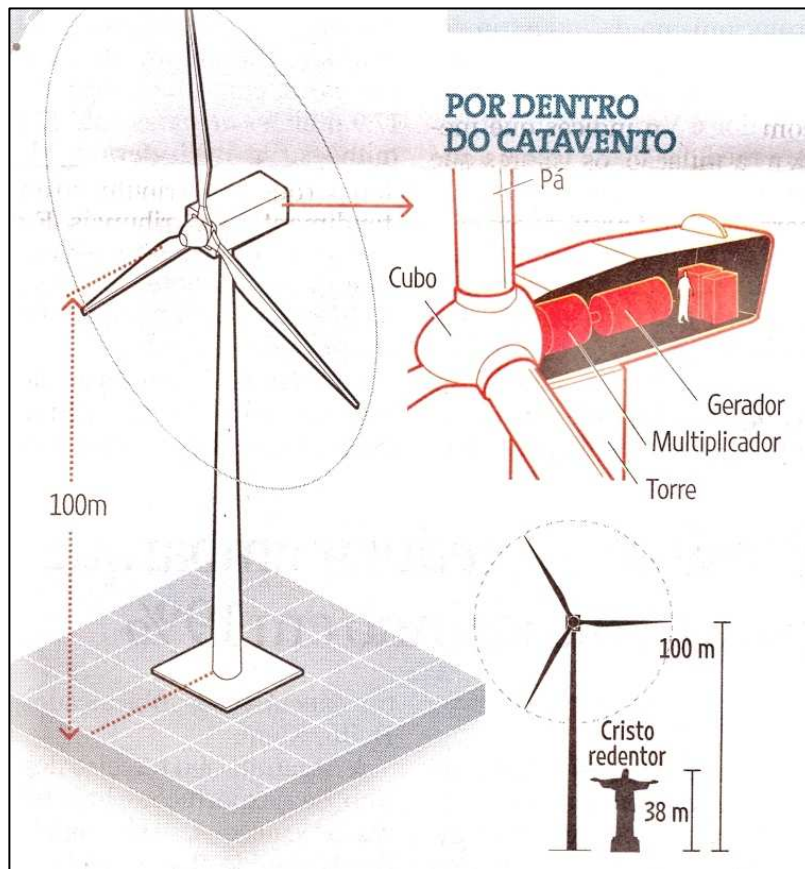
Fluxo de ar através da coluna:

$$\text{Fluxo} = \left(\frac{\text{Volume}}{\text{tempo}}\right) = \frac{A\Delta x}{\Delta t} = A \frac{\Delta x}{\Delta t} = Av$$

A taxa com que a energia é transferida fornece a **potência**  $P$ :

$$P = \left(\frac{\text{Energia}}{\text{Volume}}\right) \left(\frac{\text{Volume}}{\text{tempo}}\right) = \left(\frac{1}{2}\rho v^2\right)(Av) = \frac{1}{2}\rho v^3 A$$

R.A. Serway, J.W. Jewett,  
Princípios de Física (Thomson, 2004)



## Aplicação

Qual a potência fornecida por um gerador eólico se a velocidade do vento for 10 m/s. O comprimento das pás é  $R = 40$  m. Considere uma eficiência de 17%

## Solução:

Área do catavento :  $A = \pi R^2 = 5 \times 10^3 \text{ m}^2$

Potência:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 = \frac{1}{2} (1.2) (5 \times 10^3) (10)^3 = 3 \text{ MW}$$

Potência disponível:  $0.17(3) \approx 0.5 \text{ MW}$

## Potência gerada por outras fontes de energia:

Uma usina Termoelétrica gera 150 MW. Seriam necessárias 300 geradores eólicos para competir com a potência gerada por uma Termoelétrica. Um reator nuclear gera 1 GW e uma tonelada de carvão gera apenas 170 kW.

## Referências bibliográficas

- *Física*. Resnick, Halliday, Krane (Editora LTC, 1996)
- *Física Básica para Arquitetura*. José de Lima Acioli (Editora UnB, 1994)
- *Fundamentos da transferência de calor e de massa*. Incropera & de Witt
- *Transferência de calor*. M.N. Ozisic
- *Física*. P. Tipler (Editora LTC 2000)
- *Física*. R.A Serway (Editora LTC, 1996)
- *Transferência de Calor*. J.P. Holmen (McGraw-Hill, 1983)
- *Chemistry*. Brown – LeMay – Burnsten, Chap. 18, 7a edição (1997)
- *Environmental Physics*. E. Boeker, R. Van Grondelle (Wiley 1995)
- *Energy and environment*. EH Thorndike (1978)
- *Solar Engineering of thermal processes*. J.A. Duffie e W. Beckman (Wiley, 1980)
- *Levantamento dos Recursos de Energia Solar no Brasil*. FR Martins, EB Pereira, MP Souza Echer. Revista Brasileira Ensino de Física 26, 145 (2004)
- *Energia Solar*. Ricardo Aldabó (Editora Artliber, São Paulo, 2002)
- *Física*. Ferraro, Penteado, Soares, Torres (Ed. Moderna 2005)