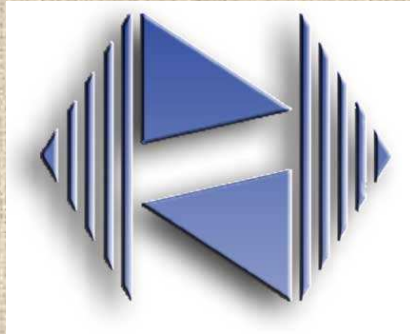




Universidade de São Paulo
Instituto de Física de São Carlos - IFSC

FCM 208 Física (Arquitetura)

Transferência de calor por radiação

Prof. Dr. José Pedro Donoso

Processos de Transferência de Calor

Os três processos através dos quais o calor passa de um lugar para outro são:

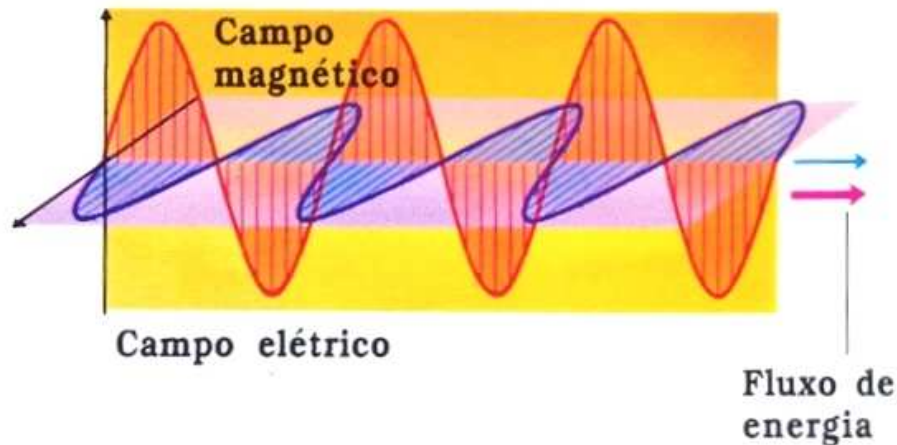
1 - **por condução**: quando existe uma diferença de temperatura em um meio, que pode ser um material sólido ou um fluido (líquido ou ar), usamos o termo *condução* para nos referir à transferência de calor que ocorre através do meio.

2 - **por convecção**: descreve a transferência de calor que ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento (o vento, por exemplo).

3 - **por radiação térmica**: toda superfície a uma temperatura maior que zero Kelvin, emite energia na forma de ondas eletromagnéticas. Assim, na ausência de um meio, existe uma transferência de calor por radiação entre duas superfícies que se encontram a diferentes temperaturas.

Mapa das ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas viajam em linha reta, com seus campos elétrico e magnético perpendiculares ao fluxo de energia.



A luz é uma onda eletromagnética

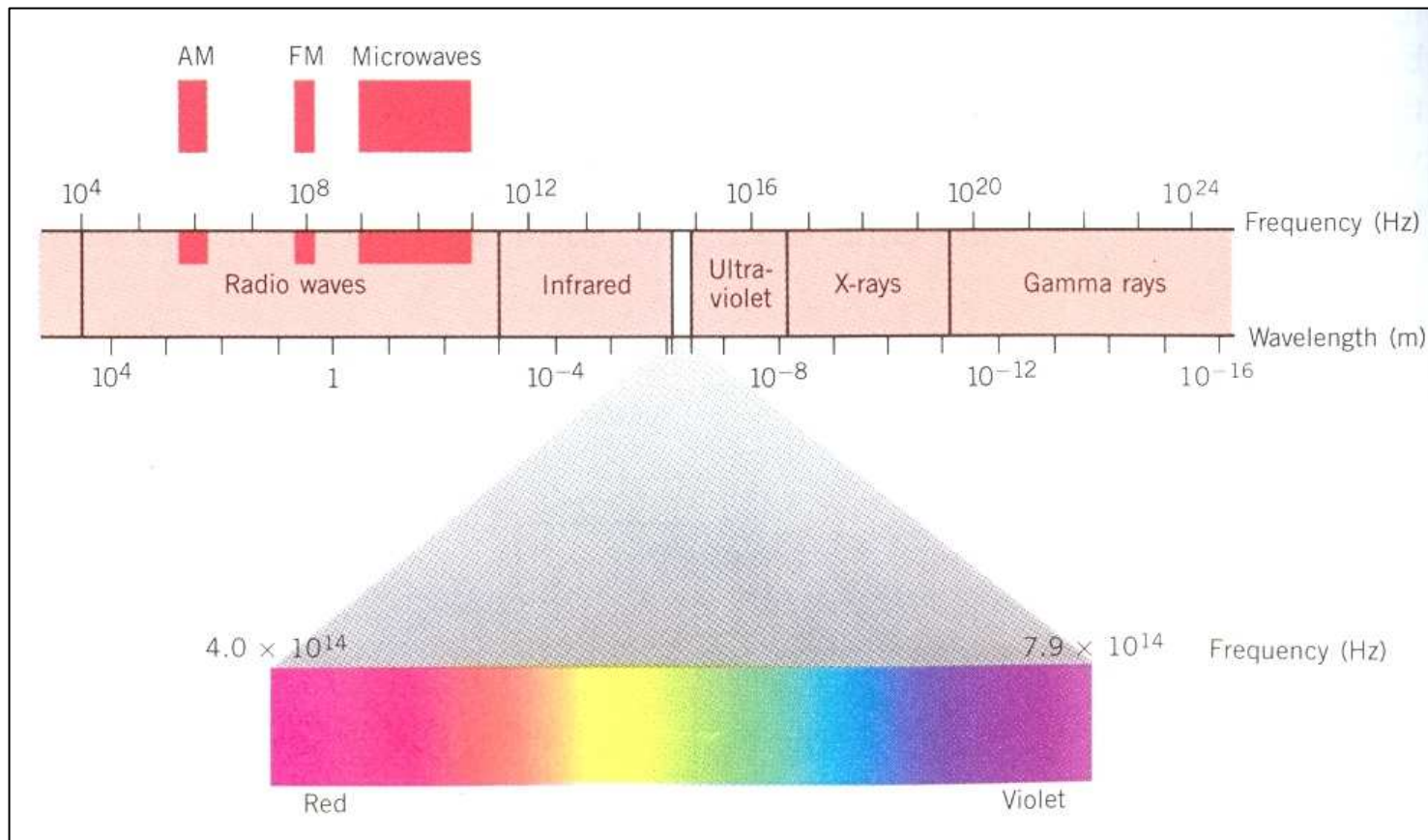
A energia luminosa viaja na forma de ondas eletromagnéticas. Estas ondas estão constituídas por uma componente de campo elétrico e uma componente de campo magnético, perpendiculares entre si e ambas oscilando numa frequência determinada.

As ondas eletromagnéticas são caracterizadas pelo comprimento de onda (λ) e a frequência (f).

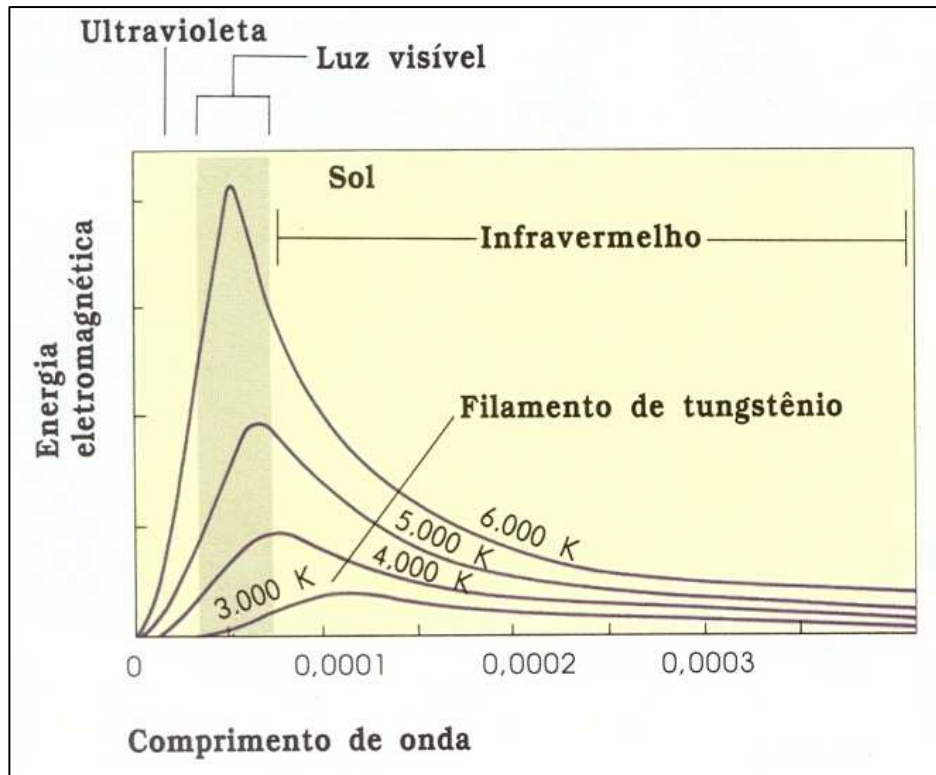
As ondas eletromagnéticas se propagam à **velocidade da luz**, $c = 300.000 \text{ km/s}$

A relação entre c e a frequência da onda é: **$c = \lambda f$**

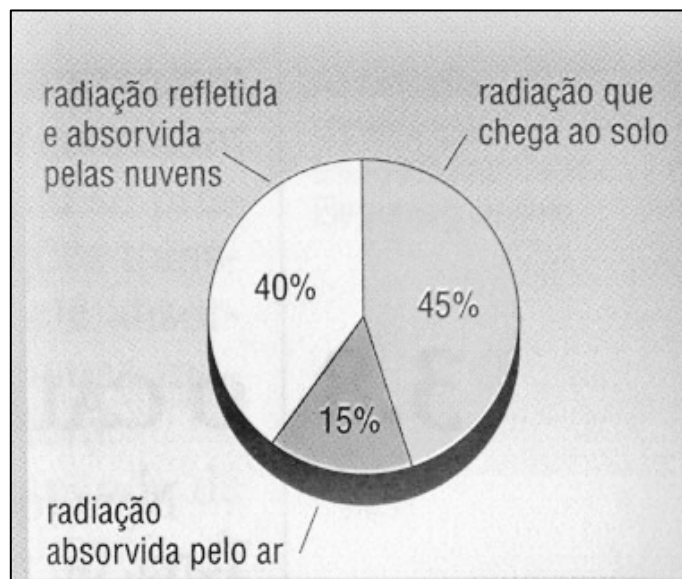
Espectro eletromagnético



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 γ . 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 1.79×10^{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 atmósfera e a superfície da Terra reflete 5%.



Fotografia feita com um filme ou um sensor sensível à radiação infravermelha mostrando a distribuição de temperaturas numa residência no inverno. As cores amarela, vermelha e branca indicam que está havendo grandes perdas de calor através de janelas, portas e paredes, onde o isolamento é deficiente.

Transferência de calor por radiação

Neste processo a energia é conduzida pelas ondas eletromagnéticas que emite o objeto. Estas ondas não precisam de meio material para sua passagem.

A taxa de emissão de uma superfície de área A e emissividade ϵ , é

$$\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t} \right) = \epsilon A \sigma T^4$$

onde T é a temperatura da superfície (em graus Kelvin) e

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{-K}^4$$

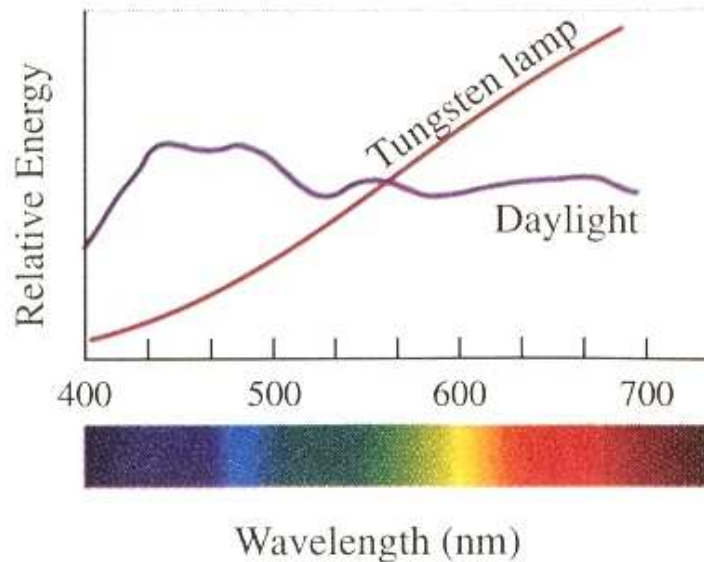


Fotografia de uma mão feita com um filme sensível a radiação infravermelha mostrando a **distribuição de temperaturas**. Esta técnica é utilizada em medicina para detectar qualquer alteração no fluxo sanguíneo ou a presença de infeções

E. Hecht, *Physics*, Brooks & Cole, 1994

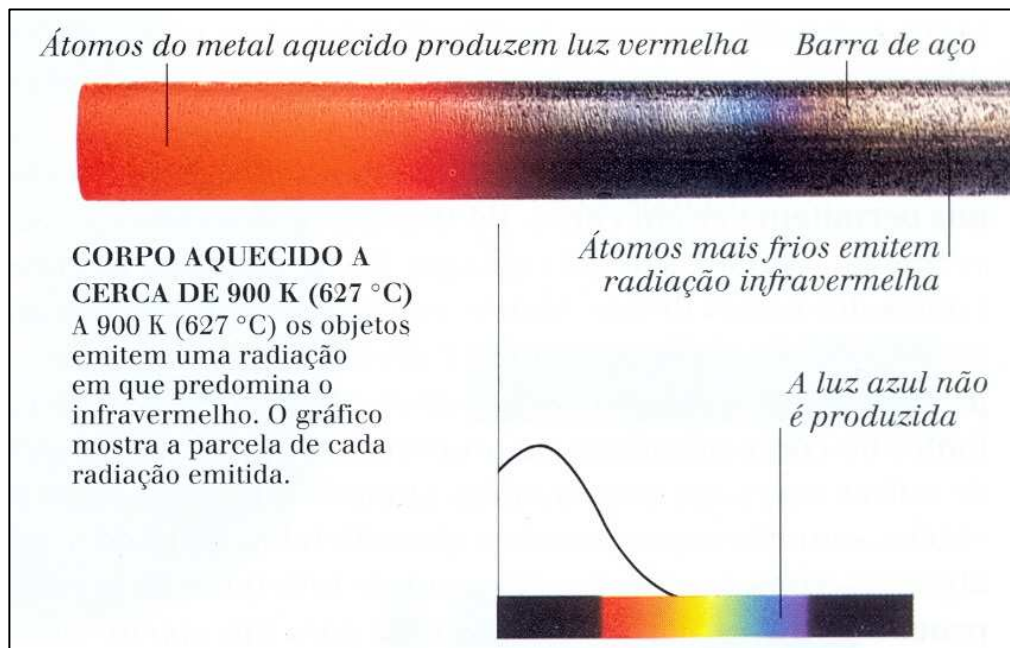
Aplicação

Na operação de um termograma, o aparelho deteta a radiação emitida pela pele de uma pessoa. Como as lesões (infeções e tumores) tem temperaturas mais elevadas que os tecidos que a circundam, os aparelhos de termografia conseguem deteta-los. Qual a diferença entre as taxas de radiação da pele a 34 °C (307 K) e a 35 °C (308 K)? (Resposta: 1.3%)



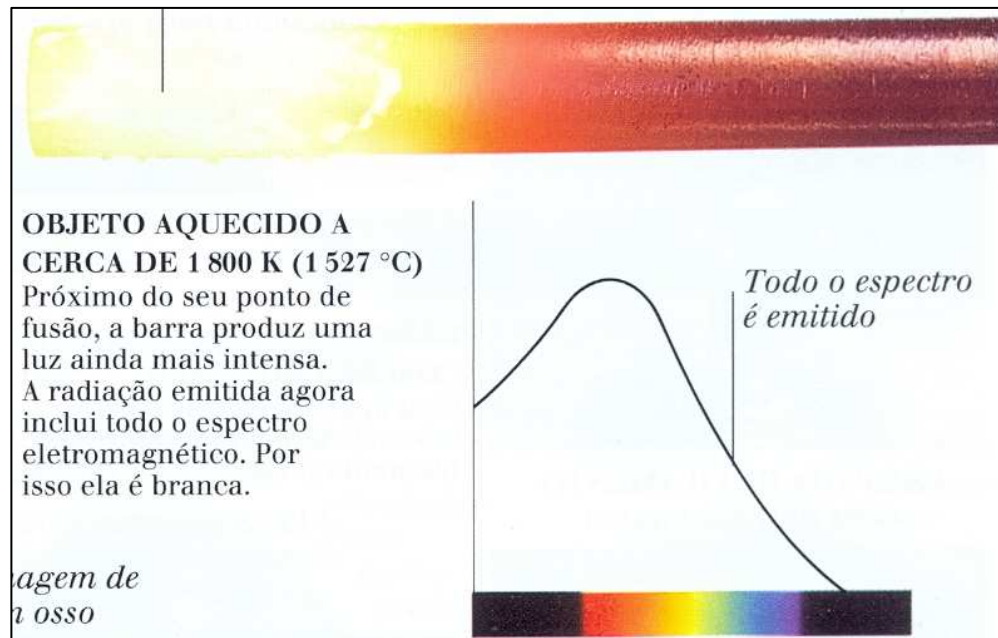
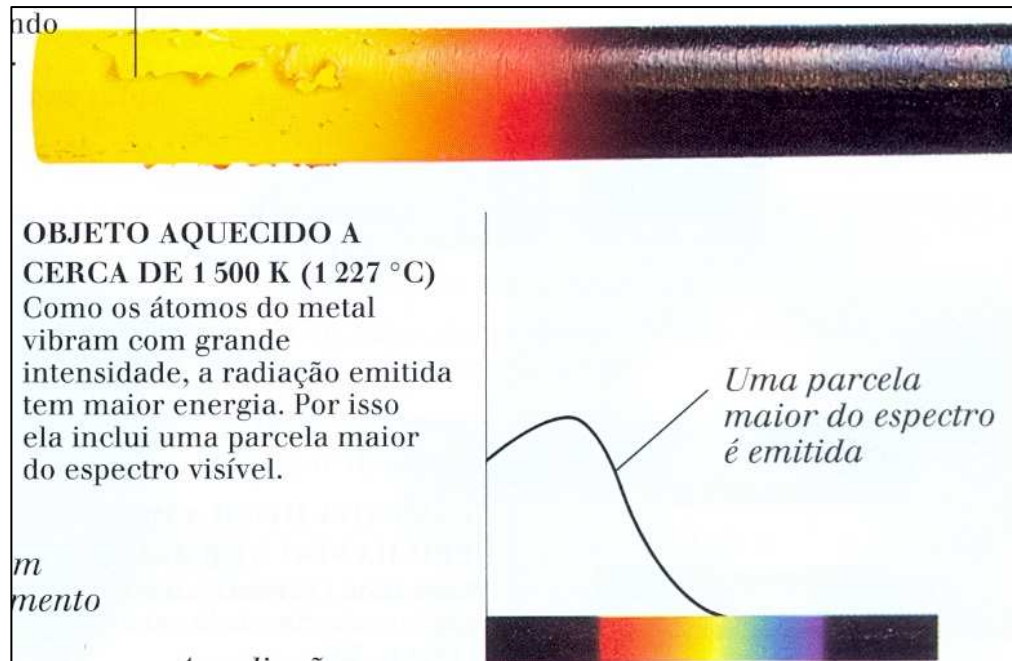
Newton foi o primeiro em reconhecer que a luz branca resulta de uma mistura de todas as cores do espectro visível. A figura mostra a **distribuição das frequências da luz** de uma lâmpada incandescente (filamento de tungstênio) e da luz solar

E. Hecht, *Physics*, Brooks & Cole, 1994



Radiação de corpos aquecidos

As figuras ilustram a variação do comprimento de onda da radiação emitida por uma barra de aço em função da temperatura



Radiação de corpos aquecidos

As figuras ilustram a variação do comprimento de onda da radiação emitida por uma barra de aço em função da temperatura

J. Challoner, *Física*
Atlas Visuais (Editora Atica, 1997)

(a) Uma pessoa nua tem uma área superficial de 1.4 m^2 . A temperatura da pele é 36°C ($T = 309 \text{ K}$) e a emissividade é $\varepsilon \sim 0.9$. Considerando que esta pessoa está numa sala a 20°C (293 K), qual a perda de calor da pessoa? Compare seu resultado com a taxa de metabolismo basal de uma pessoa sentada ($\sim 120 \text{ W}$).

(b) Considerando que os seres humanos liberam calor nessa taxa metabólica, qual a taxa de transferência de calor numa sala de aula com 30 estudantes?

(c) Quanto calor os estudantes transferem para a sala de aula em 1 hora? Compare seu resultado com a energia necessária para elevar a temperatura de 1 tonelada de água em 4°C , $Q_m = mC\Delta T$, onde $C = 4190 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ é a capacidade calorífica da água.

Respostas: (a) $\Delta Q/\Delta t = \varepsilon A \sigma (T^4 - T_o^4) = 125 \text{ W}$; (b) 3.8 kW

(c) $Q = 1.35 \times 10^7 \text{ J}$, $Q_m = 1.7 \times 10^7 \text{ J}$

Após o crepúsculo, a energia radiante pode ser sentida por uma pessoa situada próxima de um muro de tijolos. Estes muros tem uma temperatura de aprox. 43 °C (316 K) e emissividade $\varepsilon \sim 0.9$. Qual o calor emitido para o ambiente por 1 m² de muro de tijolos a essa temperatura ?

Resposta: $\Delta Q/\Delta t = 133 \text{ W}$

Geração e consumo de energia no Brasil

Matriz de geração de energia no Brasil:

81% hidroelétrica
16% termoeletrica
~2% nuclear.

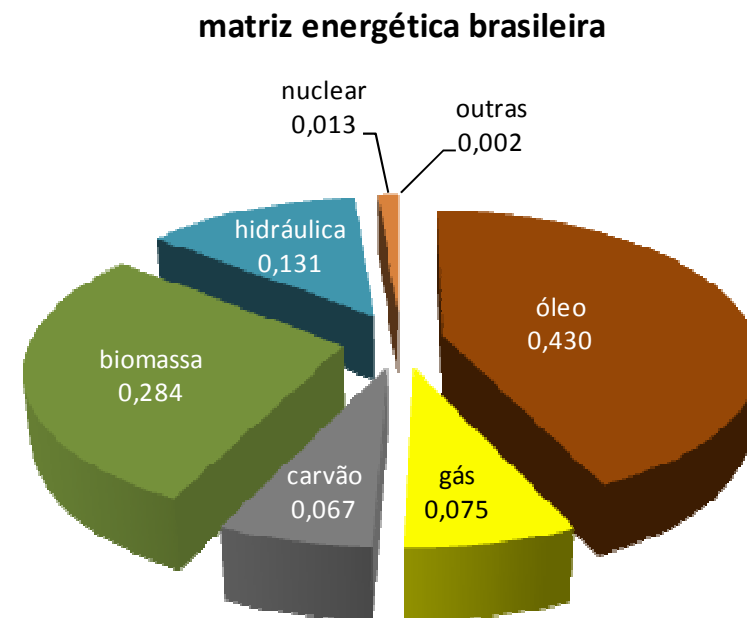
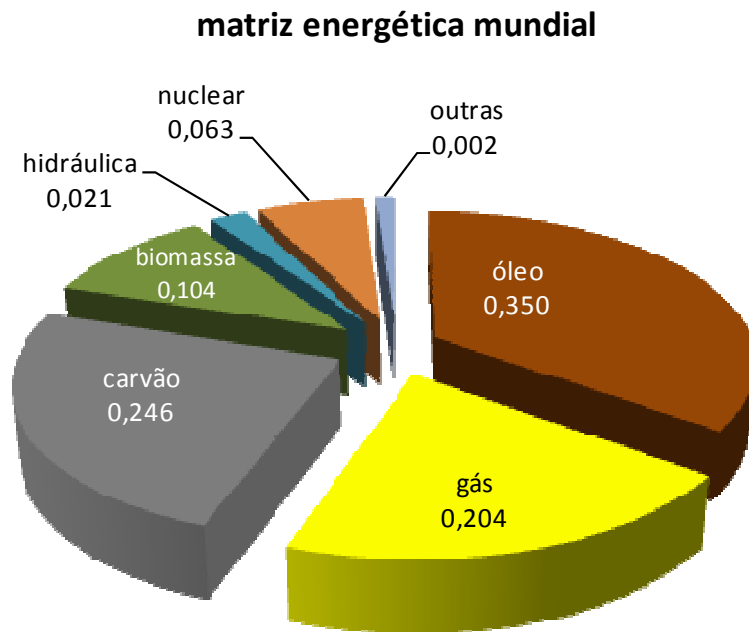
Consumo de energia:

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

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

Transição da matriz energética

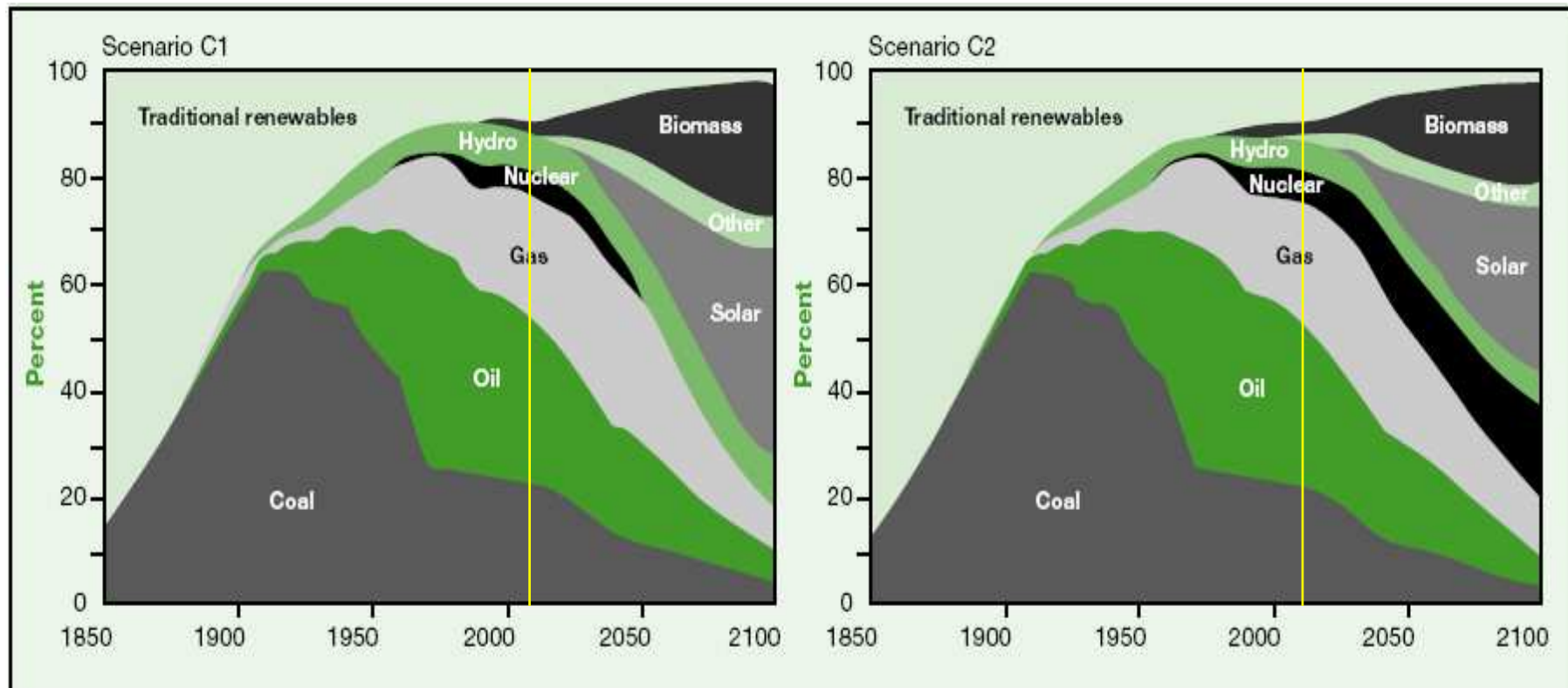
cenário atual



Slide fornecido pelo
Prof. Paulo Seleglim (EESC)

Transição da matriz energética

história e perspectivas para 2100



Slide fornecido pelo Prof. Paulo Seleglim (EESC)

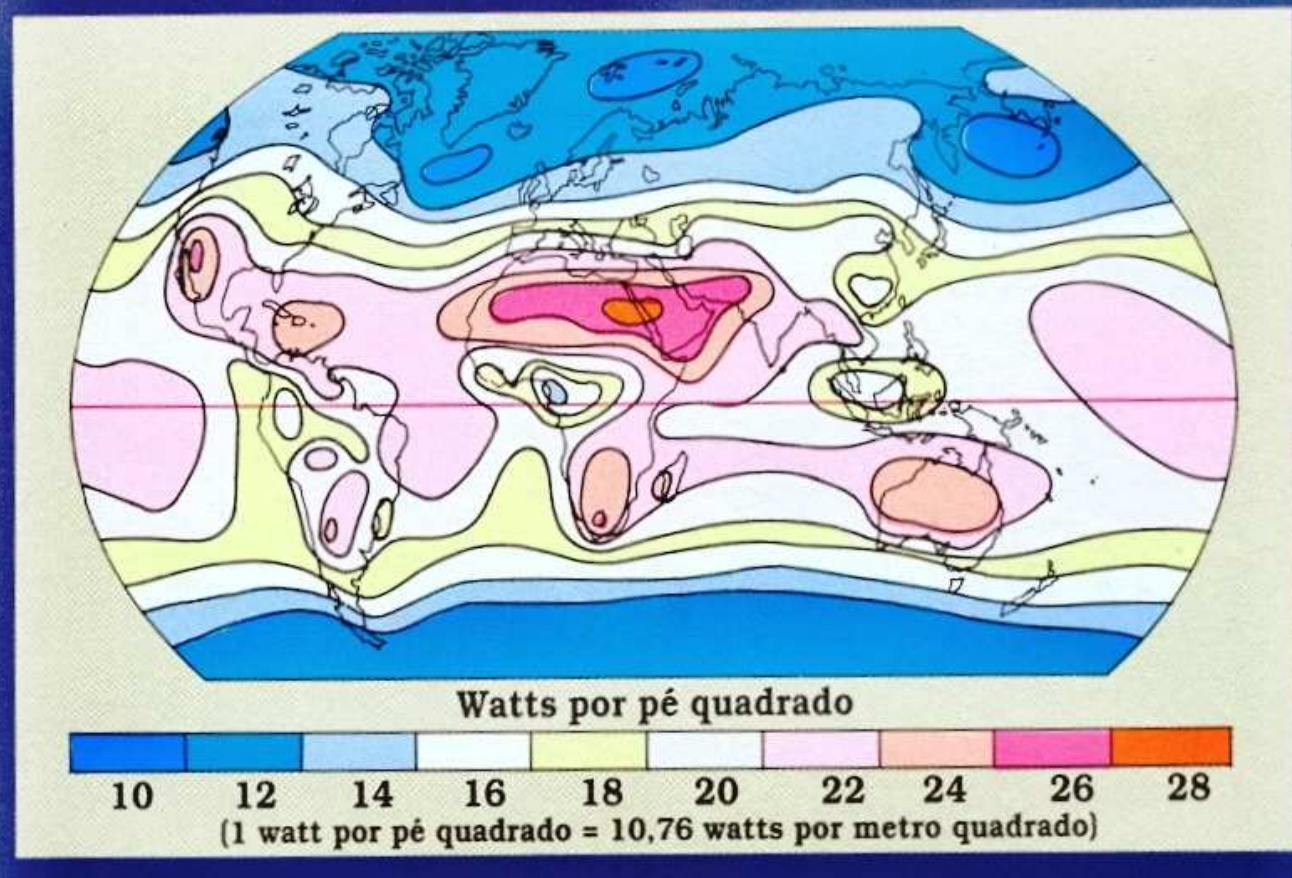
Energia Solar

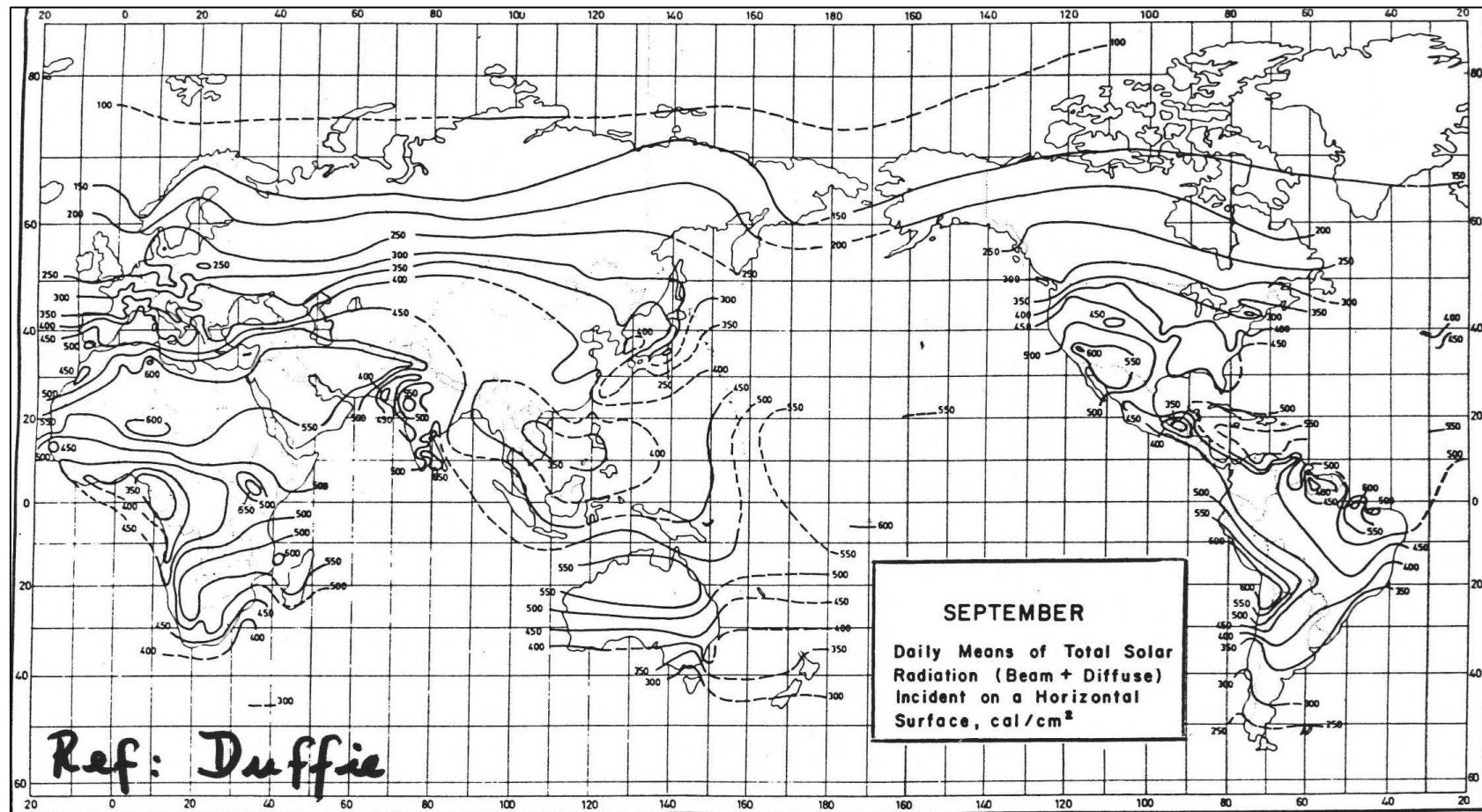
A radiação solar no espaço interestelar é de 1353 W/m^2 , chamada de *constante solar*. A energia que atinge o solo da Terra é menor por causa da absorção na atmosfera. A quantidade de radiação solar por unidade de área que atinge um ponto específico da Terra depende da latitude, da declinação e da estação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

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

Distribuição da energia solar



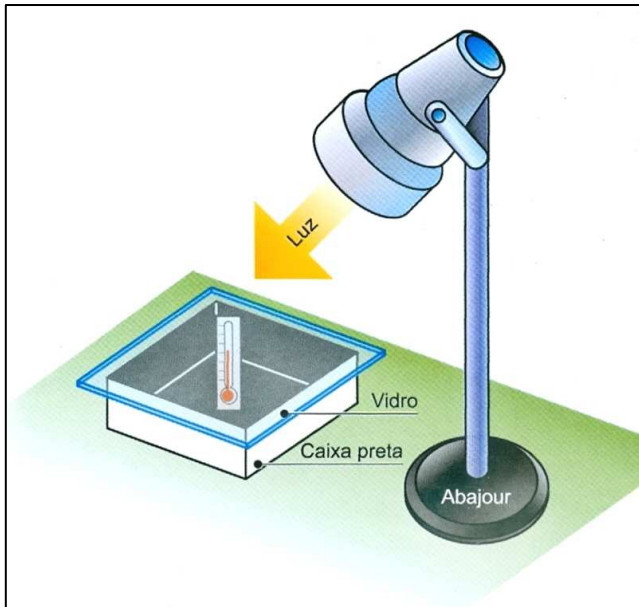


"Solar Engineering of thermal processes", J.A. Duffie e W. Beckman (Wiley, 1980)

O Brasil apresenta um ótimo índice de **radiação solar**, principalmente no Nordeste, onde possui valores típicos entre 1752 kW-h/m² e 2190 kW-h/m². 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.

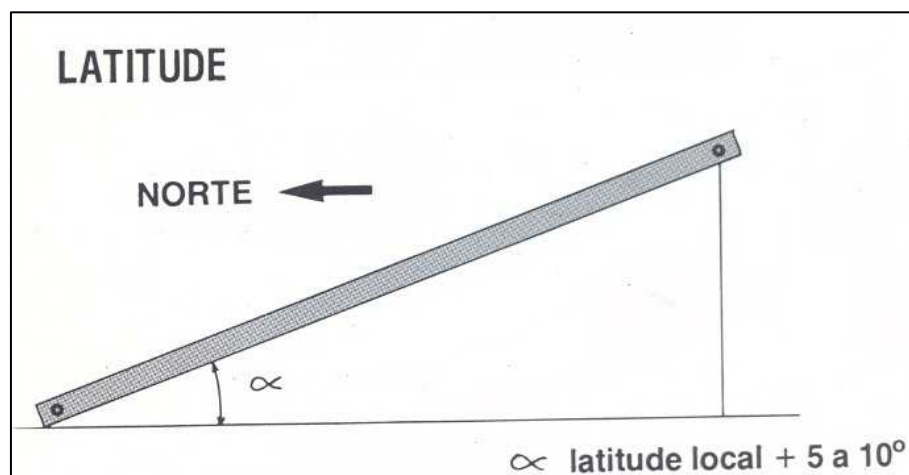
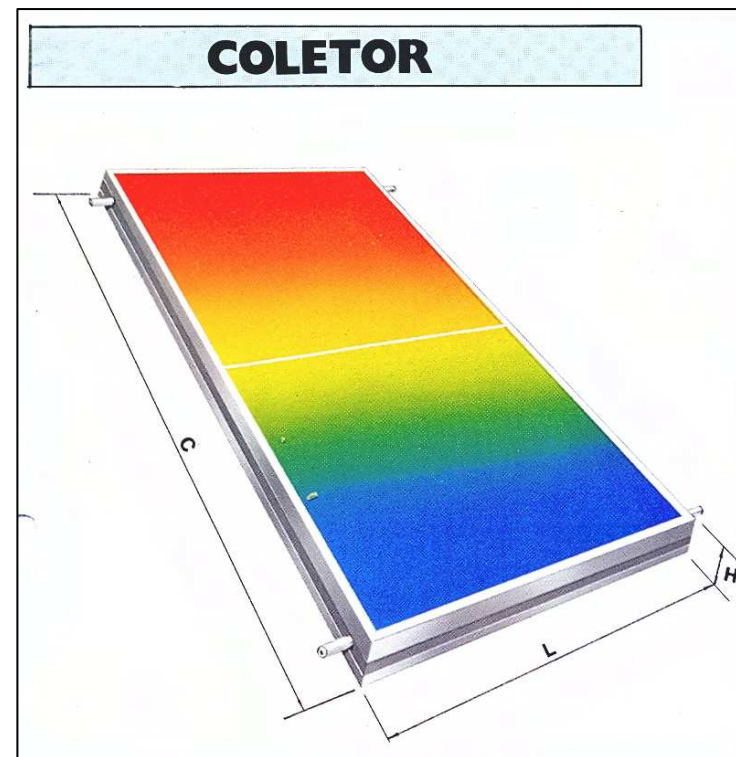
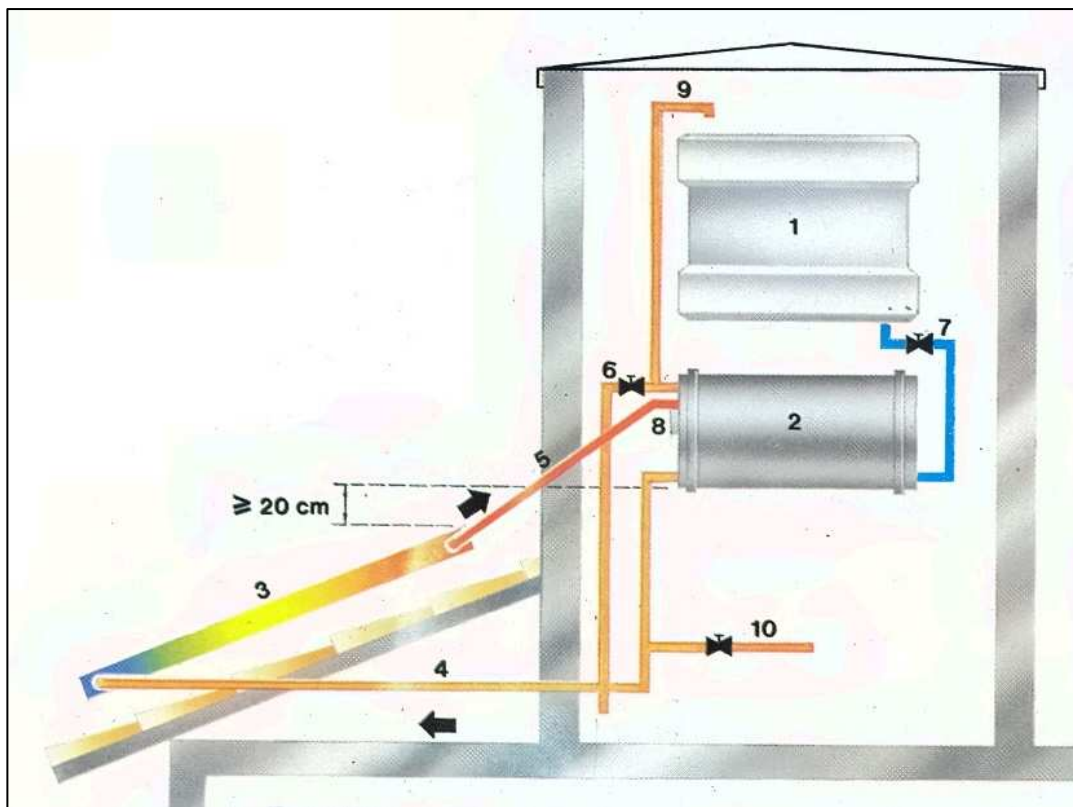
A forma predominante de aquecimento de água no Brasil é o **chuveiro elétrico**, o qual possui alta eficiência e baixo desperdício. Mais, apesar do baixo custo do aparelho, o uso do chuveiro representa um elevado investimento para as concessionárias (em torno de US\$ 900 por chuveiro instalado) considerando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



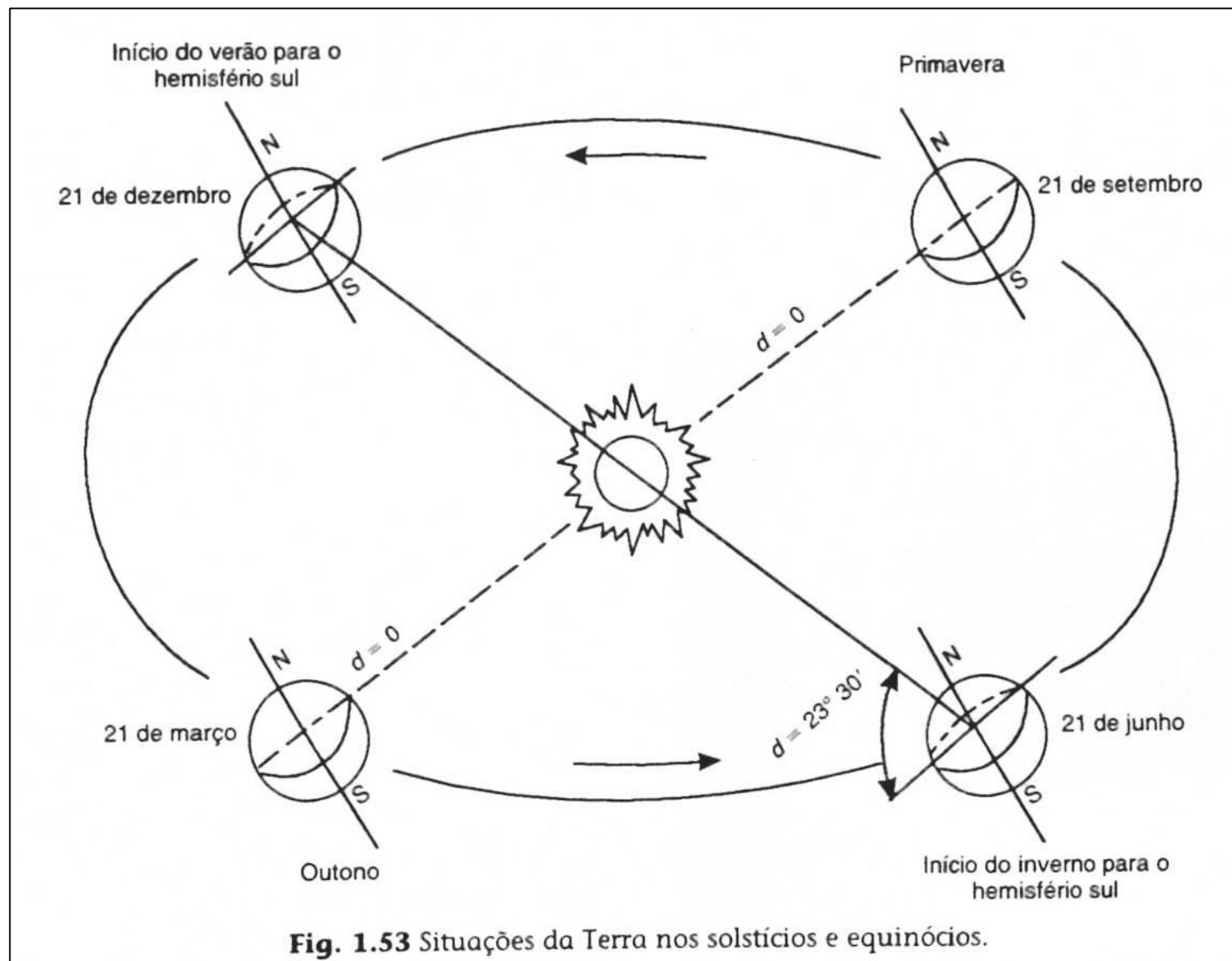
Os **coletores solares** usados em sistemas de aquecimento de água são caixas contendo uma superfície de vidro e um sistema de tubulações de cobre (bom condutor térmico).

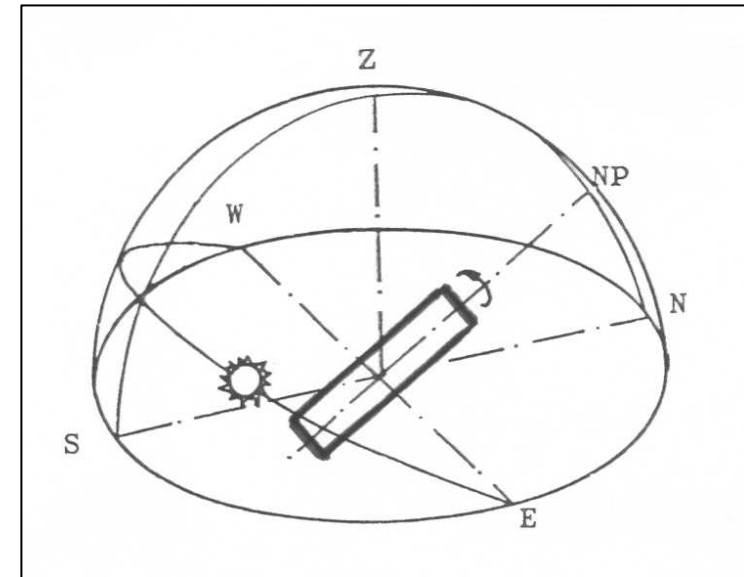
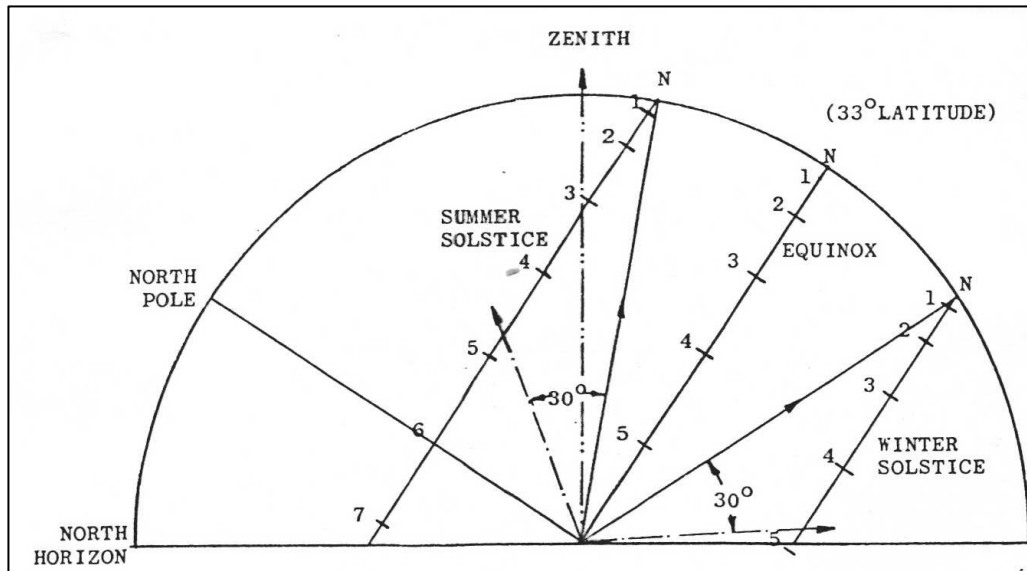


O coletor absorve a radiação solar e aquece a água que circula pela tubulação. Esta água quente (60o a 90o C) é armazenada num reservatório térmico cujas paredes estão recobertas por um material termicamente isolante.



- 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 W/m^2 durante 8 horas por dia

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

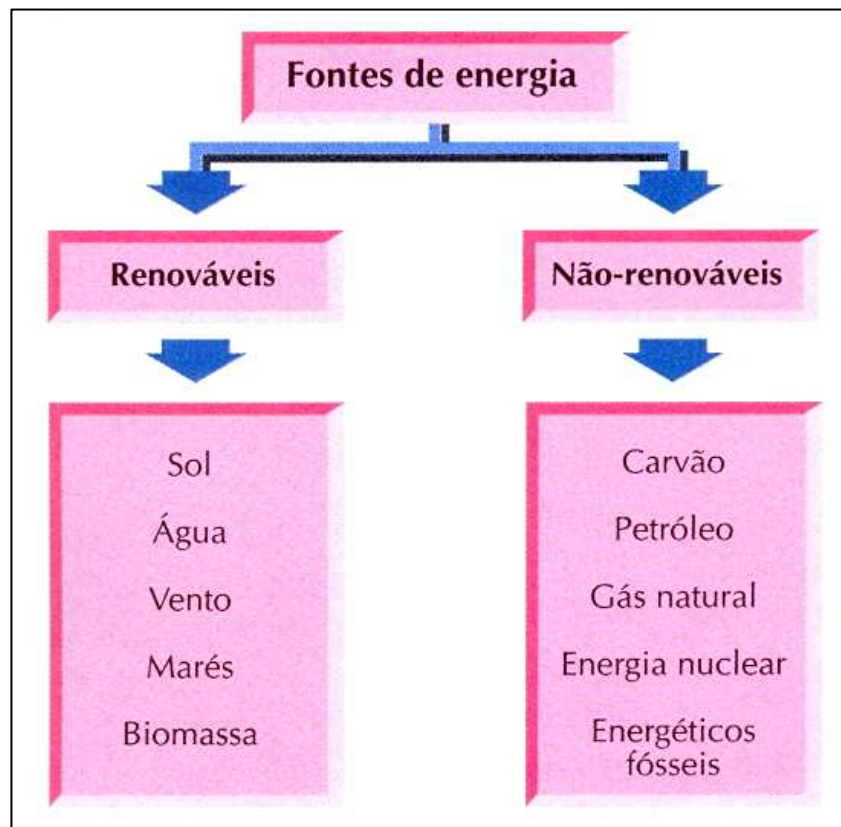
b) Considerando que a eficiência do coletor é de 30%, qual a energia efetivamente disponível?

c) Determine a energia necessária ($Q = mC\Delta T$) para aquecer 100 litros de água do reservatório, de 25° a 75° 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?

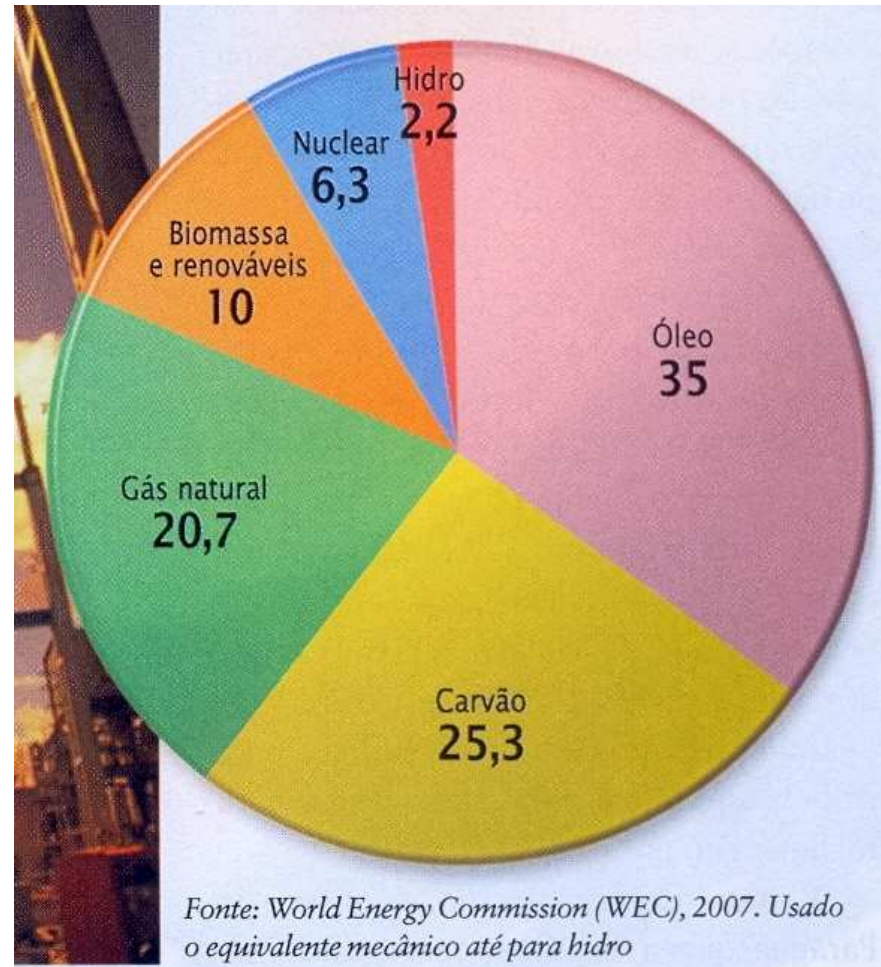
- e) Considerando que os chuveiros elétricos contribuem para um consumo residencial de ~ 100 kW-h ao mês, qual a área do coletor solar necessário para suprir esta energia? Compare sua resposta com a do item (d)
- f) A placa de coletor solar comercial típico tem cerca de 2 m^2 de área. Qual a potência 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 m^2 (e) 2.5 m^2 (f) $2.5 \times 10^3 \text{ W}$ e 756 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



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)