



# Tópicos em Sensoriamento remoto

Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno  
Universidade Federal do Paraná  
Departamento de Geomática

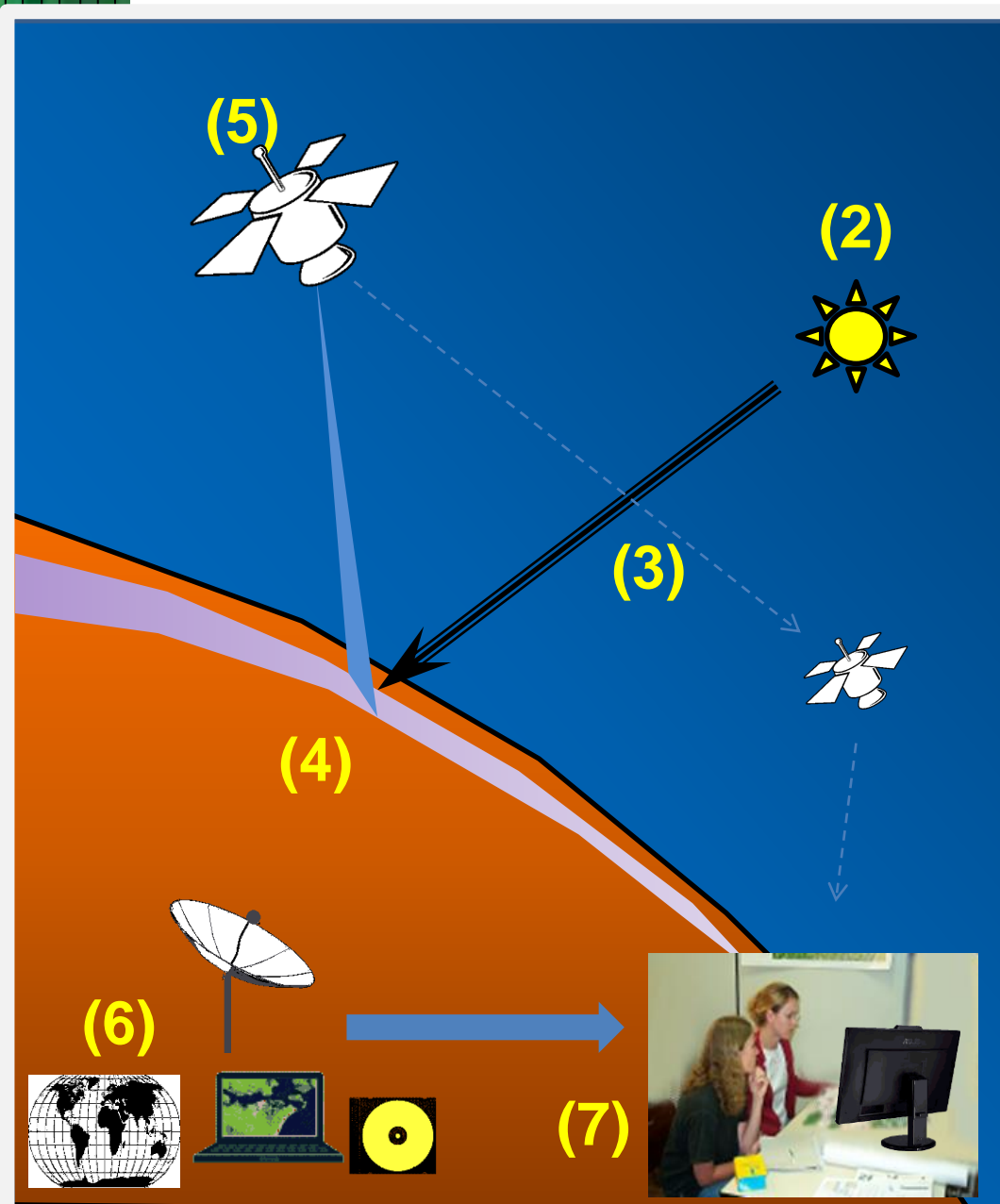
2024

# Revisão

- Sensoriamento remoto
- Princípios físicos

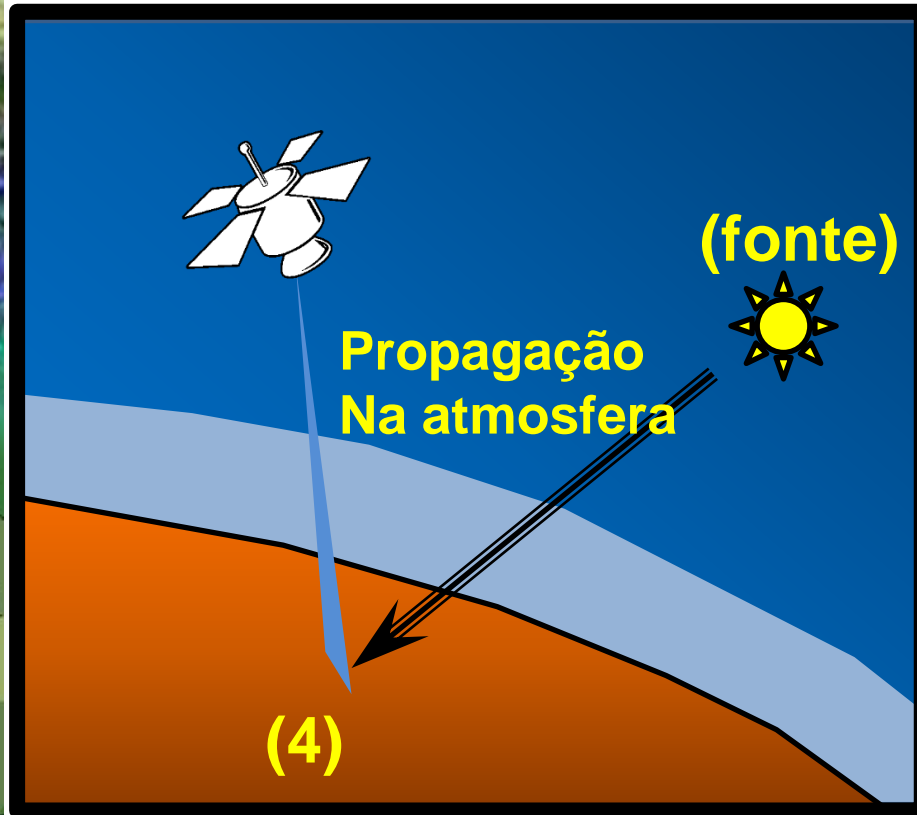


# Elementos do S.R.



- Radiação Eletromagnética (1)
- Fonte REM (2)
- Propagação da REM.(3)
- a interação da energia com a superfície dos objetos (4),
- o sistema sensor (5),
- os sistemas de transmissão e recepção (6) e
- interpretação e geração de informações (7)

# A radiação eletromagnética REM



## Algumas questões

O que é R.E.M.?

De onde vem? (fonte)

Como pode ser descrita?

Como é mudada ao passar pela atmosfera?

Como interage com a superfície dos objetos?

# Teoria ondulatória: Modelo de onda (Maxwell)

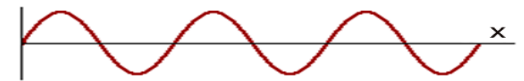
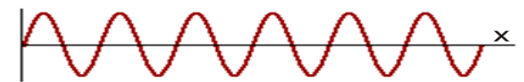
## R.E.M. como Onda

Maxwell propôs que um campo magnético em movimento pode gerar um campo elétrico, e também um campo elétrico (uma carga elétrica oscilando, por exemplo) pode criar um campo magnético.

*A luz é uma forma de onda eletromagnética que se propaga a velocidade constante, como uma onda.*



James Clerk Maxwell  
(1831 — 1879)

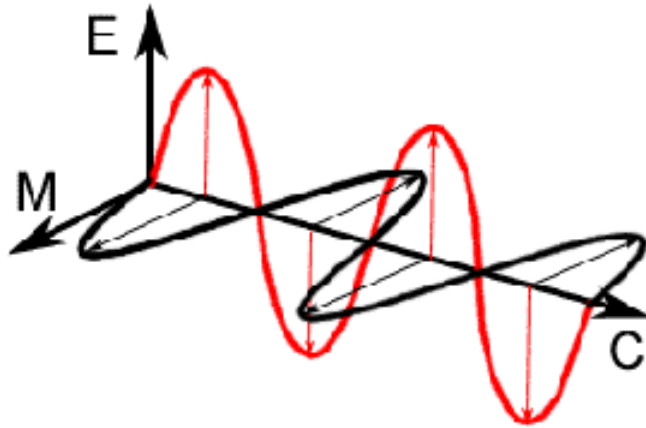


Amplitude (A)?

Comprimento de onda ( $\lambda$ ) ?

Frequencia (f)?

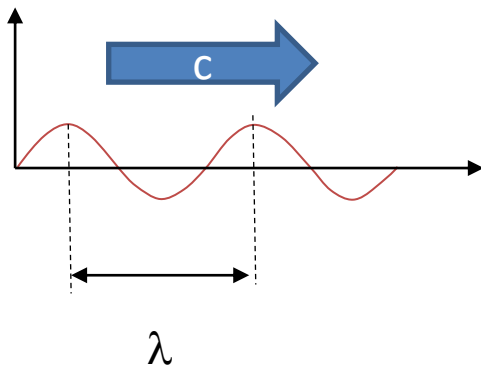
## Teoria ondulatória:



A radiação eletromagnética consiste de dois campos:

campo magnético e  
campo elétrico.

que se propagam à velocidade da luz ( $c$ )  
e oscilam em planos perpendiculares  
entre si.



Tempo para completar um ciclo=  $1/f$

Distância de um ciclo=  $(\lambda)$

Logo,

Velocidade:

$$c = \lambda \cdot f$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

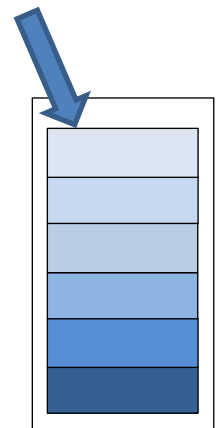
# Refração e reflexão

A refração: ocorre quando a luz muda o meio no qual se propaga.

A frequência da radiação não é alterada ao atravessar este novo meio, porém, sua velocidade sim.

Na figura ao lado como a imagem do canudo de metal é “quebrada” ao passar de um meio (ar) para outro (água). Este efeito é causado pela refração da luz e ocorre apenas na interface, na superfície da água.

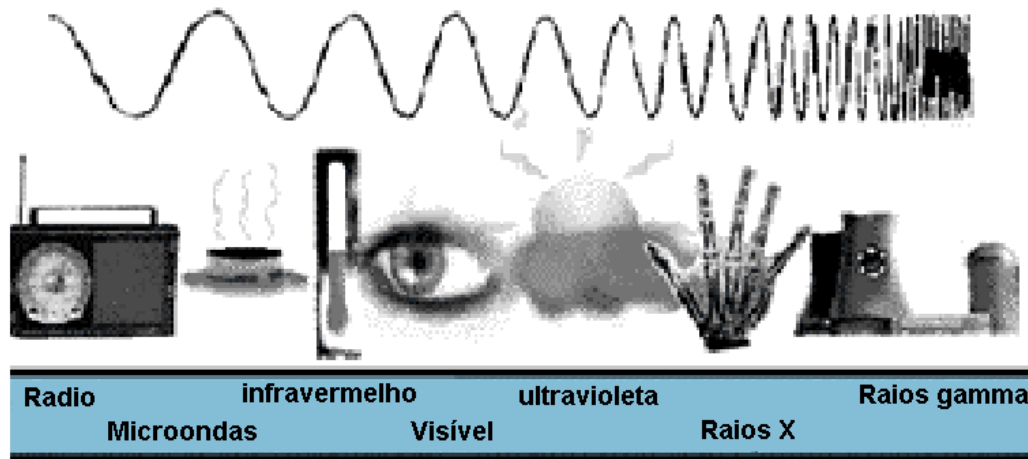
- O que ocorreria se a água tivesse densidades diferentes variando na vertical?



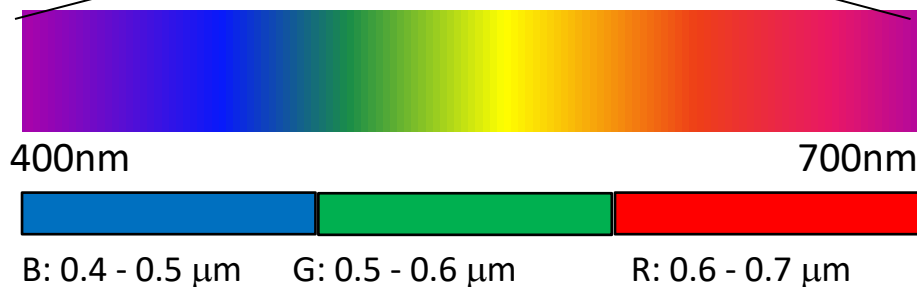
# O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

A faixa de comprimentos de onda em que se encontra a REM é praticamente ilimitada.

A representação contínua da REM em termos de comprimento de onda ou frequência é denominada de ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.



<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>





# Acima do Visível...

A região com comprimentos de onda imediatamente abaixo do visível é chamada de UNTRAVIOLETA ( $\lambda < 400\text{nm}$ ).



O ultravioleta pode ser dividido em três regiões

- UV-A (320-400 nm),
- UV-B (280-320 nm) e
- UV-C(1-280 nm).



# Acima do Visível...

A região com comprimentos de onda imediatamente acima do visível é chamada de infravermelho e é dividida em três grandes regiões



Infravermelho próximo (Near Infrared NIR)	700	1300nm
Infravermelho médio (Middle Infrared MIR)	1330	4000nm
Infravermelho distante ou termal (TER)	4000	10.000nm

É comum dividir o infravermelho também em:

- emissivo (*thermal IR*, TIR)
- reflectivo (shortwave IR, SWIR)

# Comprimentos de onda maiores

Outra região muito usada é a região das microondas, que fica em torno de mm ou cm...

As bandas mais usadas recebem nomes curtos, como

- P 30-100
- L 15-30
- S 7,5-15
- C 3,75-7,5
- X 2,4-3,75
- Ku 1,57-2,4
- Ka 1,1-1,67



As microondas são usadas para gerar imagens de RADAR.

Por exemplo, é comum encontrar imagens nas bandas P e X.

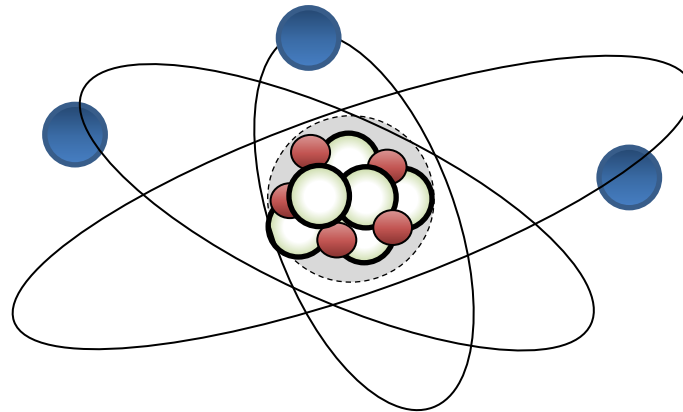
A banda X serve para capturar informações da superfície de florestas, enquanto que a banda P consegue penetrar na floresta e captar informações do terreno.

# Resumo

Região	Nome	Faixa ( $\mu$ m)
Visível	Azul	0.4-0.5
Visível	Verde	0.5-0.6
Visível	Vermelho	0.6 - 0.7
infra-vermelho	próximo	0.7 a 1.3
infra-vermelho	médio	1.3 a 4.0
infra-vermelho	Distante	4 a 100
microondas	Micro-ondas	Maior que 1mm

# REM: como partícula

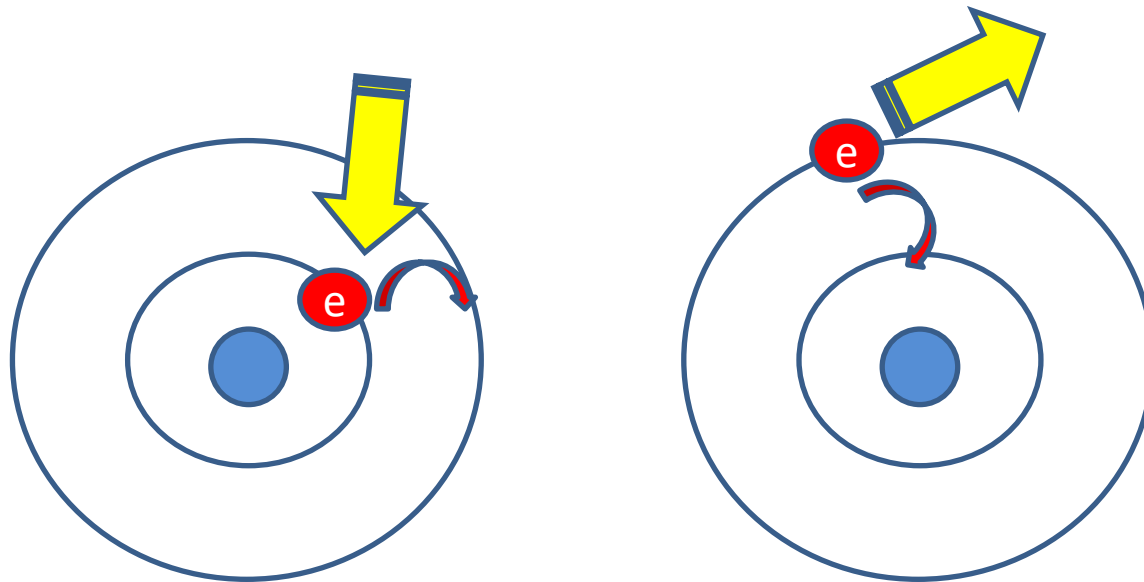
- REM está intimamente relacionada à estrutura e energia atômica
- No átomo:
  - Núcleo (protons+ e neutrons)
  - elétrons em órbitas em torno do núcleo



# REM: como partícula

As órbitas do elétron são fixas e em determinados níveis. A mudança da órbita requer energia:

- Existe um mínimo de energia para trocar de nível
- Para subir de nível, é necessário fornecer energia
- Ao descer de nível, o elétron libera uma quantidade fixa de energia (fóton).



# Ou se comporta como uma partícula?

Segundo Plank, A energia eletromagnética é emitida, absorvida ou mesmo propagada sob forma de pequenas partículas, em unidades fixas, os fótons ou quanta.

$$Q = h \cdot f$$

A energia transportada por um fóton é:

$$Q = h \cdot c / \lambda$$

Q representa a energia em Joule [J]

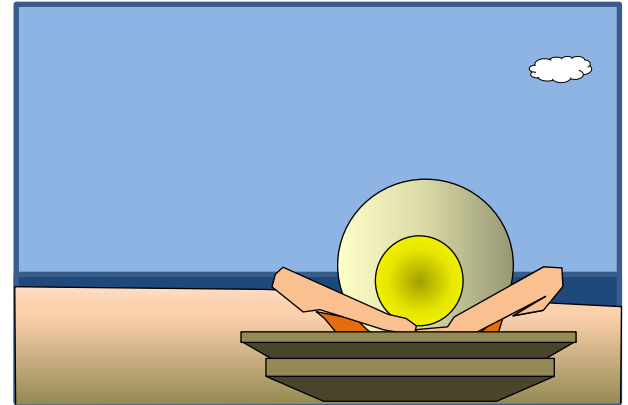
$h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  constante de Plank [Js].

Logo, a radiação com comprimento de onda menor está associada a

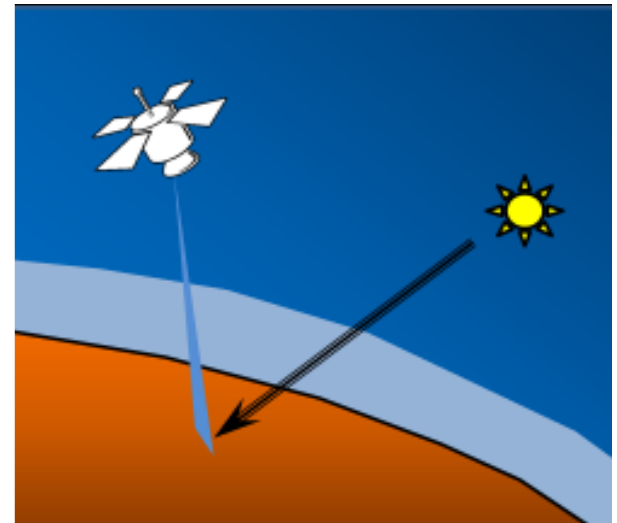
Maior ou Menor energia?

# Perguntas

a) Vai de Filtro solar?  
Infravermelho? Ultravioleta?

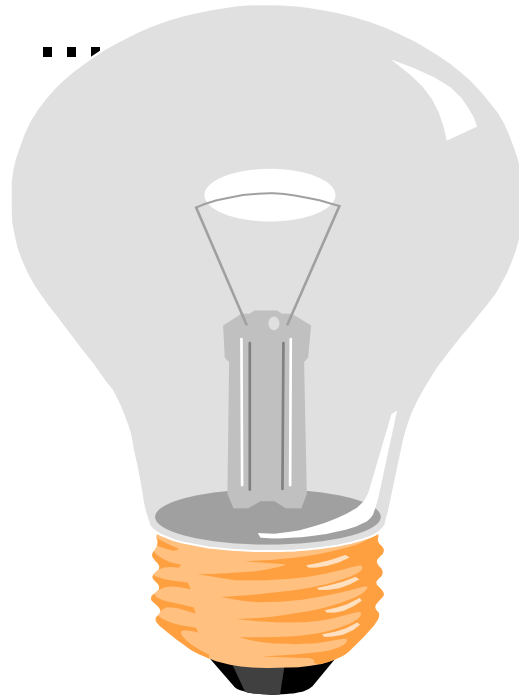


a) Considerando que: A energia da radiação emitida é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Para o sensoriamento remoto é mais difícil detectar radiação eletromagnética com comprimento de onda ...  
Maiores ou menores?



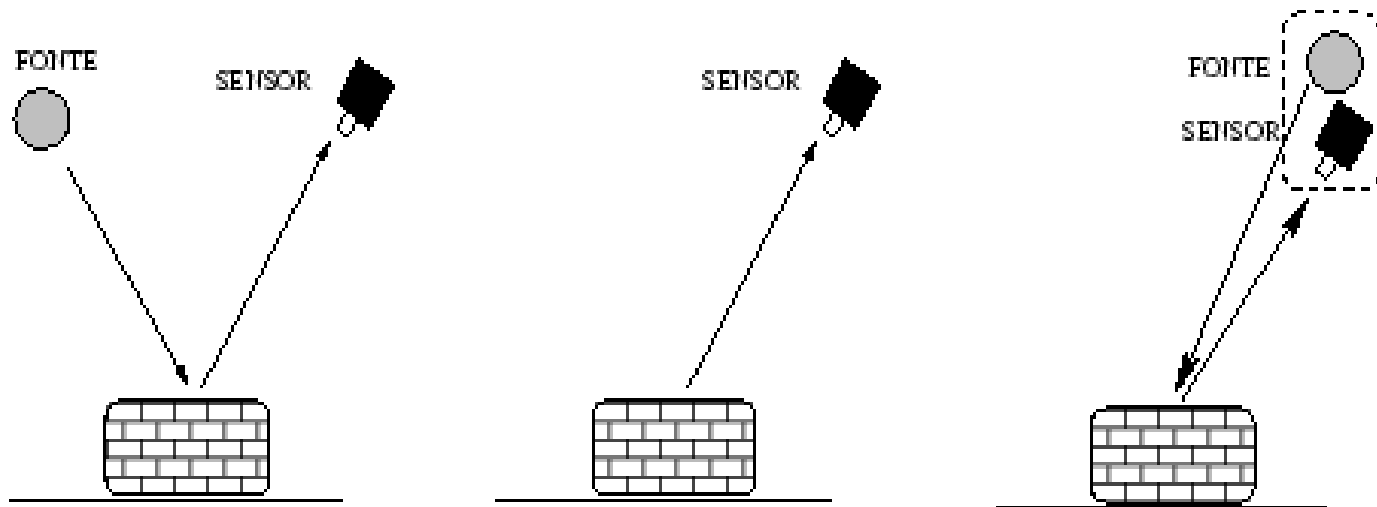


- A FONTE ...



Sistema Ativo / Sistema Passivo

- PASSIVO ou ATIVO
- Formas do sensoriamento remoto.
- (a) energia emitida por uma fonte natural e refletida pela superfície do objeto,
- (b) energia emitida pelo objeto e
- (c) energia emitida artificialmente em direção ao objeto e refletida pela superfície do objeto.



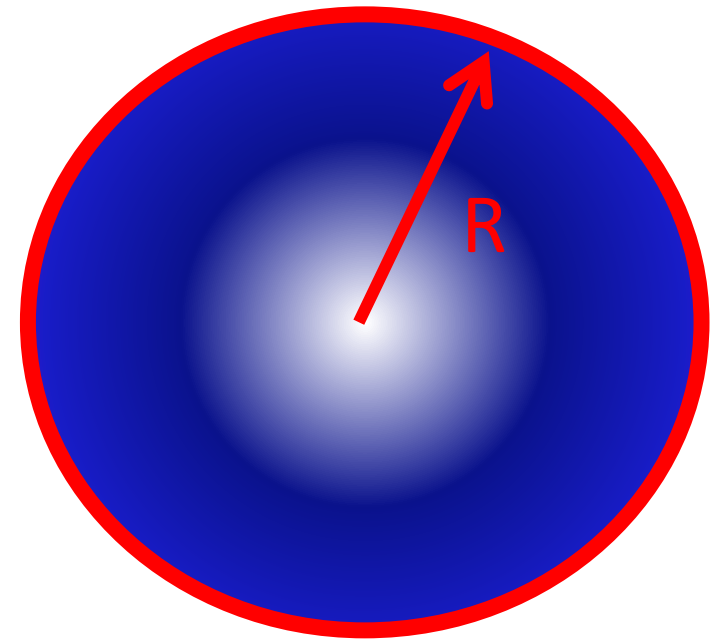
# O Sol

- O sol irradia energia aproximadamente de forma uniforme em todas as direções. (irradiador isotrópico)

A potencia total ( $P_t$ ) da energia irradiada (emitida) está distribuída em todas as direções.

Logo, considerando uma esfera de raio "R" em torno do Sol,

- O fluxo de energia total é constante para qualquer raio.



# O fluxo de energia solar

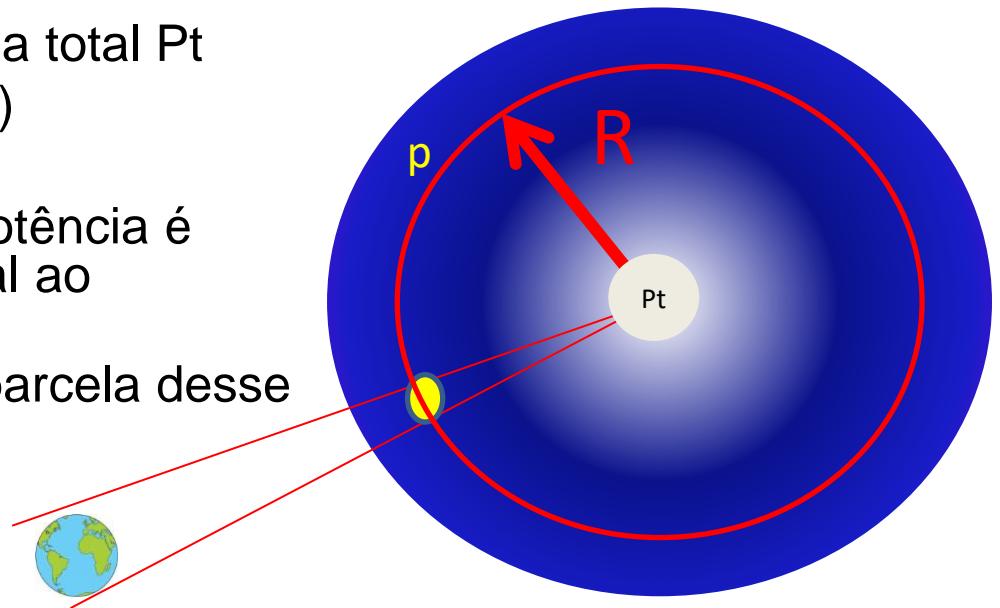
- Visto desde a terra, o Sol pode ser considerado uma fonte pontual de energia, porque está muito distante.
- Assim, apenas uma pequena parcela de sua energia chega à Terra.
- Podemos calcular o fluxo de energia que atravessa uma unidade de área a uma determinada distância ( $R$ ) da fonte.

Se o Sol tem uma potência total  $P_t$

$$\rho = P_t / (4\pi R^2)$$

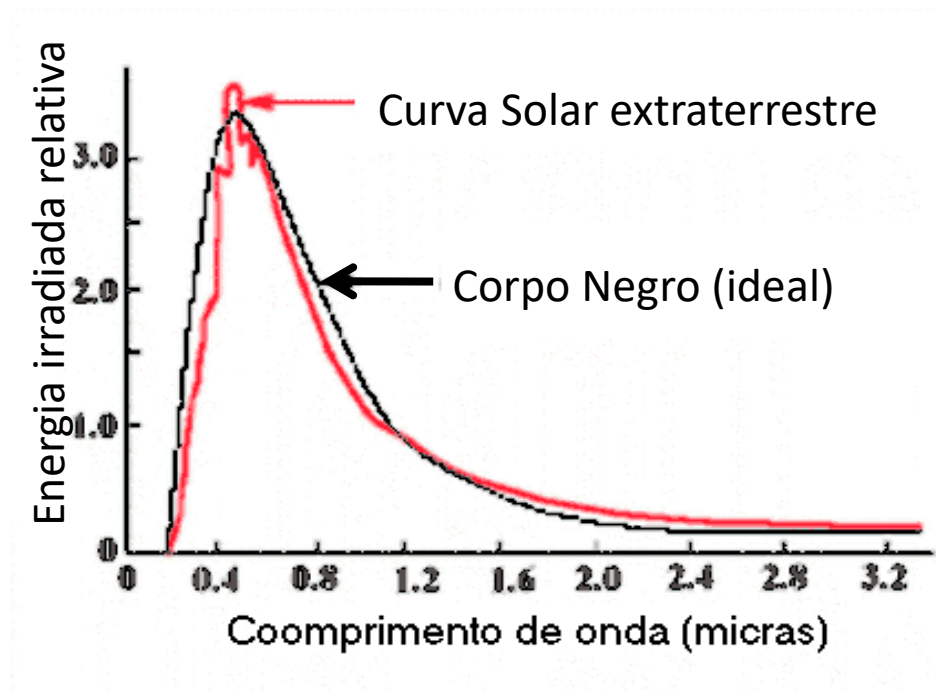
LOGO: a densidade de potência é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

E apenas uma pequena parcela desse total chega à Terra



# Emissão solar

O Sol emite energia de maneira diferenciada ao longo do espectro. Pode ser considerado um emissor ideal (Corpo Negro) a 6000K. “emite toda a energia disponível”.



Adaptado de <http://web.pdx.edu/~emch/rs/EXArs.html>

# Fonte de Radiação : Sol

A emitância (Energia emitida pela superfície do corpo, por segundo e por unidade de área) de um corpo negro a 6000K pode ser modelada como:

$$M_{\lambda} = \frac{2 h c^2}{\lambda^5 (e^{\frac{h c}{\lambda K T}} - 1)}$$

onde

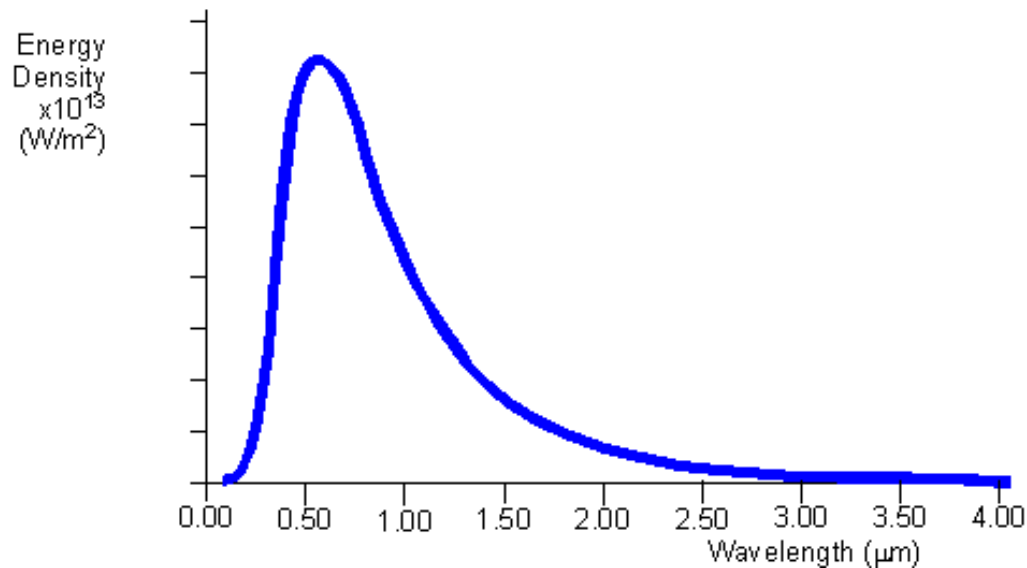
- K= constante de Boltzman
- c= velocidade da luz
- $\lambda$ = comprimento de onda
- T= temperatura

A radiação emitida é constante ao longo de todo o espectro?

Como varia em função da Temperatura?

# Depende do comprimento de onda

- Exemplo: Emissão de corpo negro a 5000 K.



Fonte: <http://voyager.egglescliffe.org.uk/physics/astronomy/blackbody>

# Pico máximo

- Para calcular o comprimento de onda onde ocorre o máximo de emitância para uma determinada temperatura, deve-se derivar a expressão e igualando a zero tem-se:

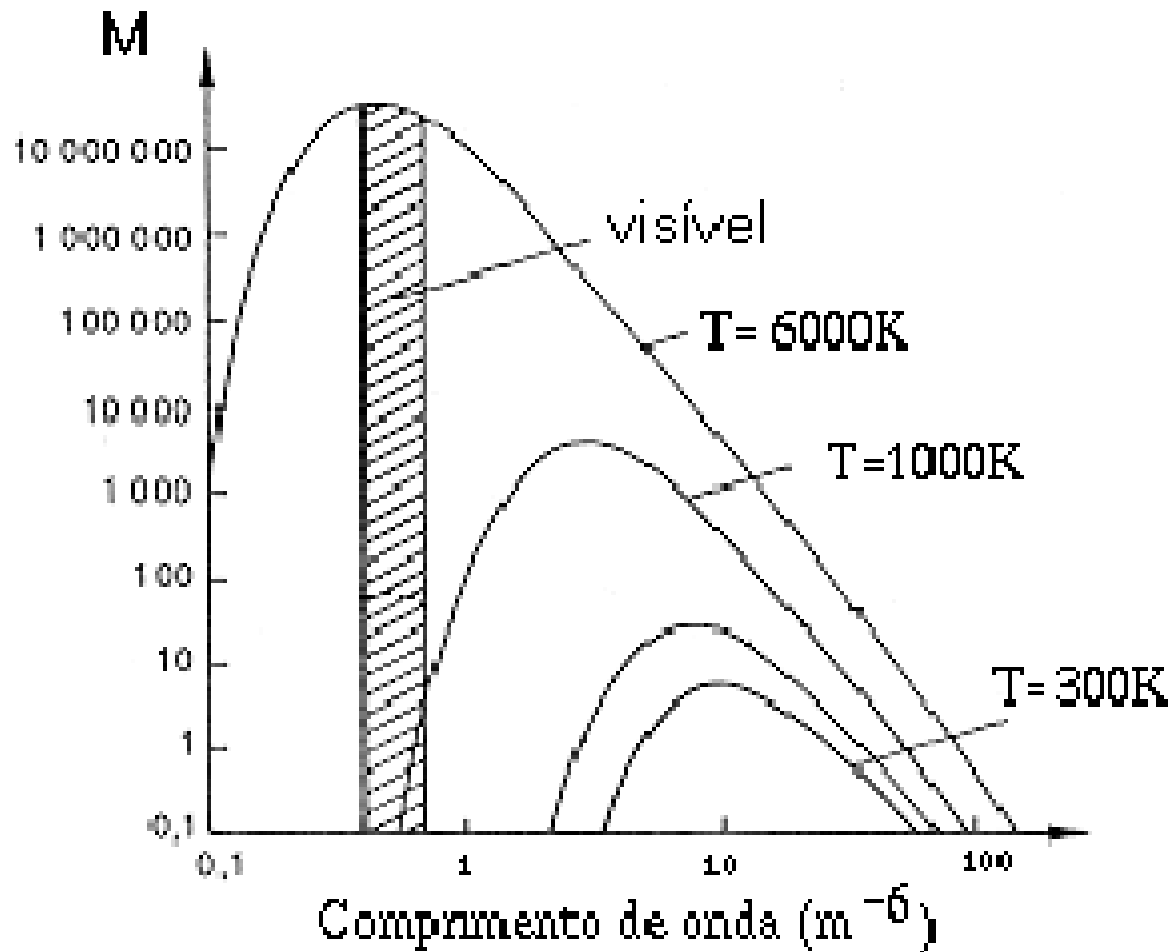
$$\lambda_{\text{máx}} = 2897/T$$

Qual o comprimento de onda do pico de emitância do Sol? e da Terra?

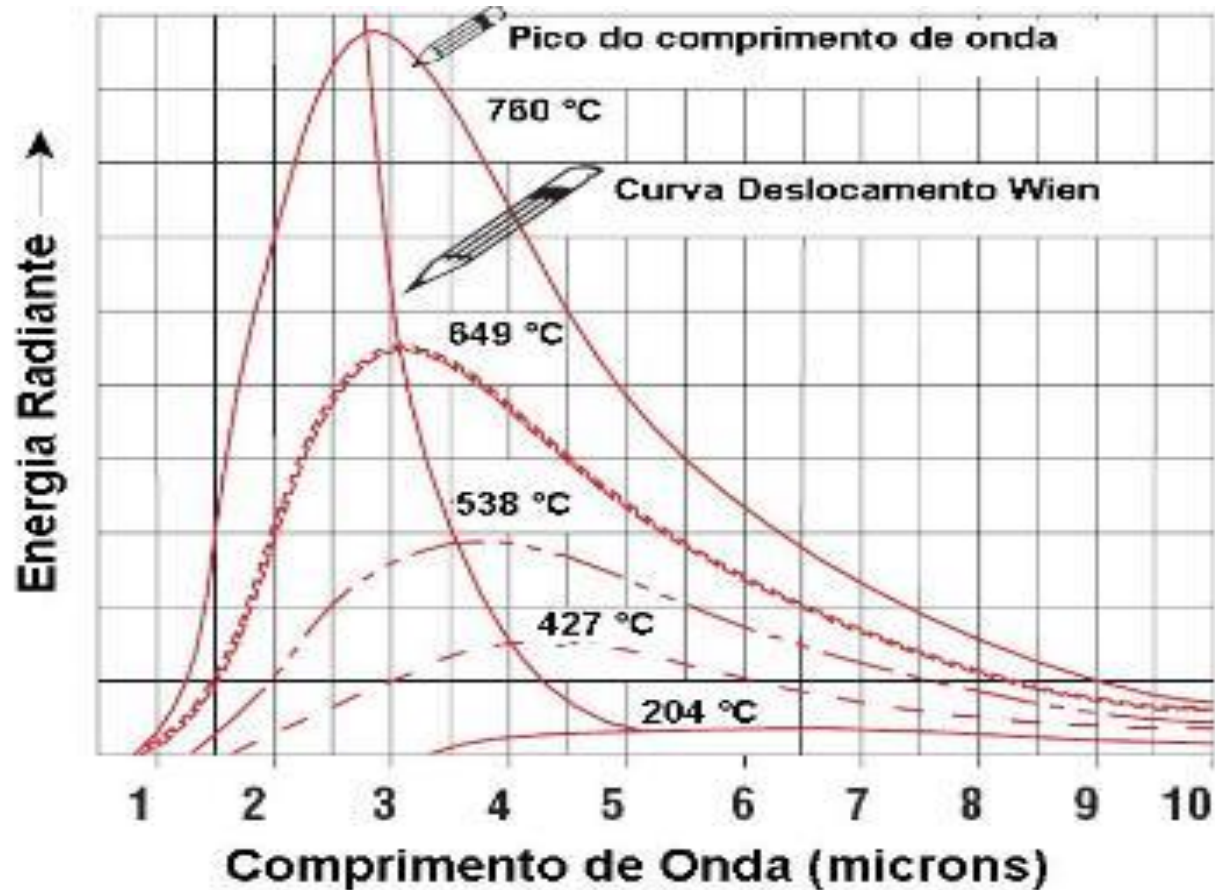
Em que região do espectro ficam estes picos?



$$M=f(T)$$



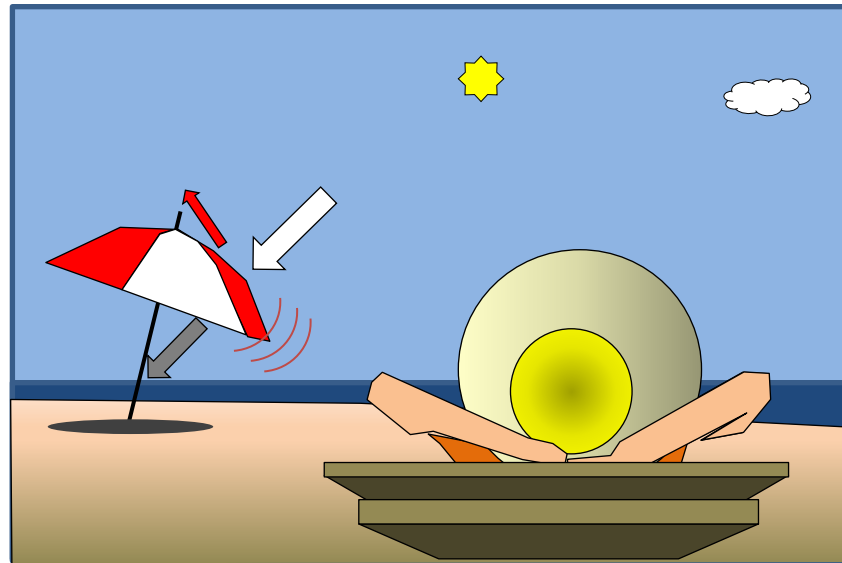
# Lei de deslocamento de Wien



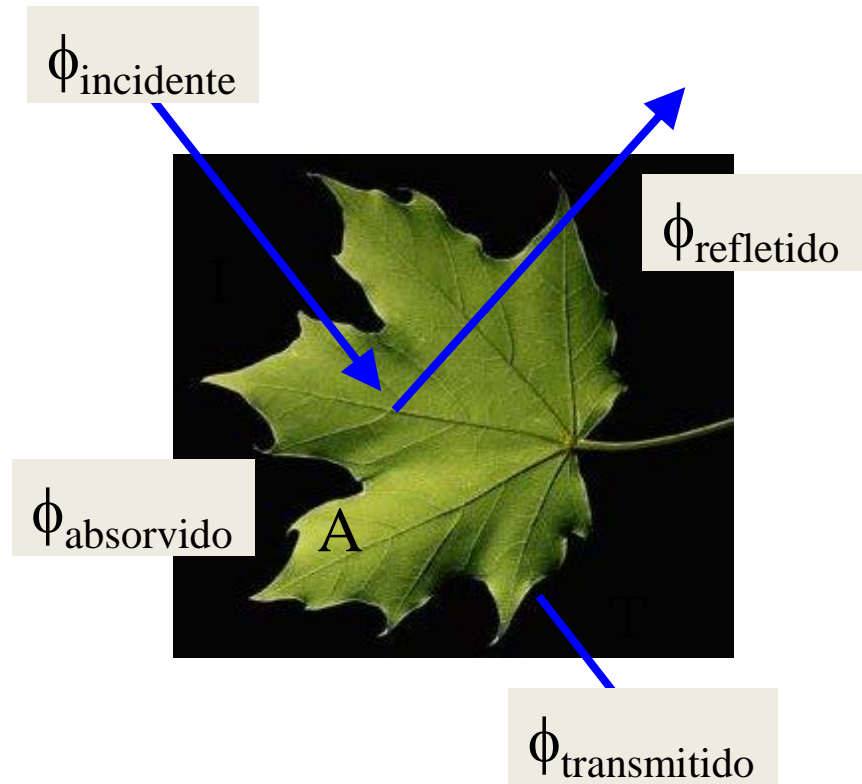
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAlccAD/teoria-infravermelho>

# Interação com a matéria

- O que ocorre quando a REM atinge uma superfície ou um gas?



# O balanço de energia



$$\phi_{incidente} = \phi_{refletido} + \phi_{absorvido} + \phi_{transmitido}$$


# Transmissão

Uma folha reflete radiação visível principalmente no verde



Ela também permite passar parte desta luz. É parcialmente transparente. A radiação é transmitida através da folha.




$$\phi_{\text{incidente}} = \phi_{\text{refletido}} + \phi_{\text{absorvido}} + \phi_{\text{transmitido}}$$

## Chamando:

$$\rho = \frac{\phi_{\text{refletido}}}{\phi_{\text{incidente}}} \quad \text{Reflectância}$$

$$\alpha = \frac{\phi_{\text{absorvido}}}{\phi_{\text{incidente}}} \quad \text{Absortância}$$

$$\tau = \frac{\phi_{\text{transmitido}}}{\phi_{\text{incidente}}} \quad \text{Transmitância}$$

$$1 = \rho + \alpha + \tau$$

As proporções são diferentes para cada objeto e dependem do comprimento de onda:

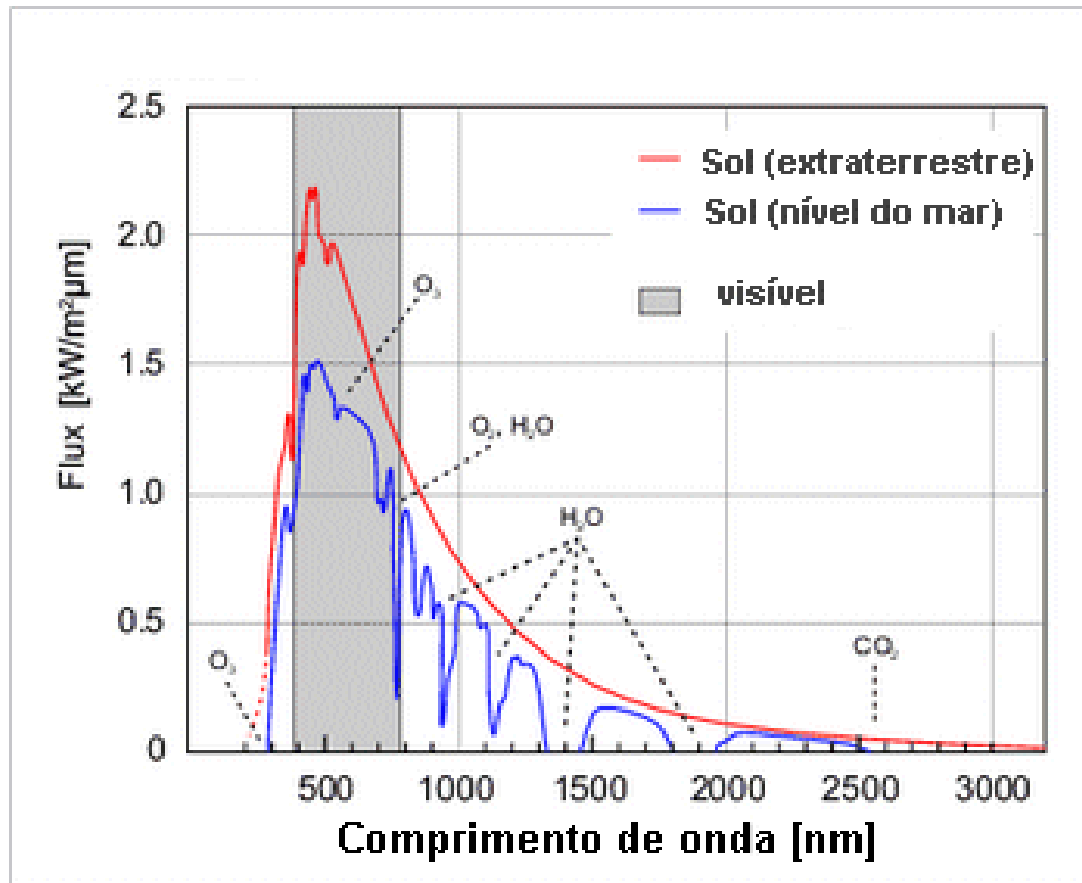
$$1 = \rho_{\lambda} + \alpha_{\lambda} + \tau_{\lambda}$$



# Interação com a atmosfera

- Interação com a atmosfera
  - absorção
  - espalhamento
  - Efeitos atmosféricos

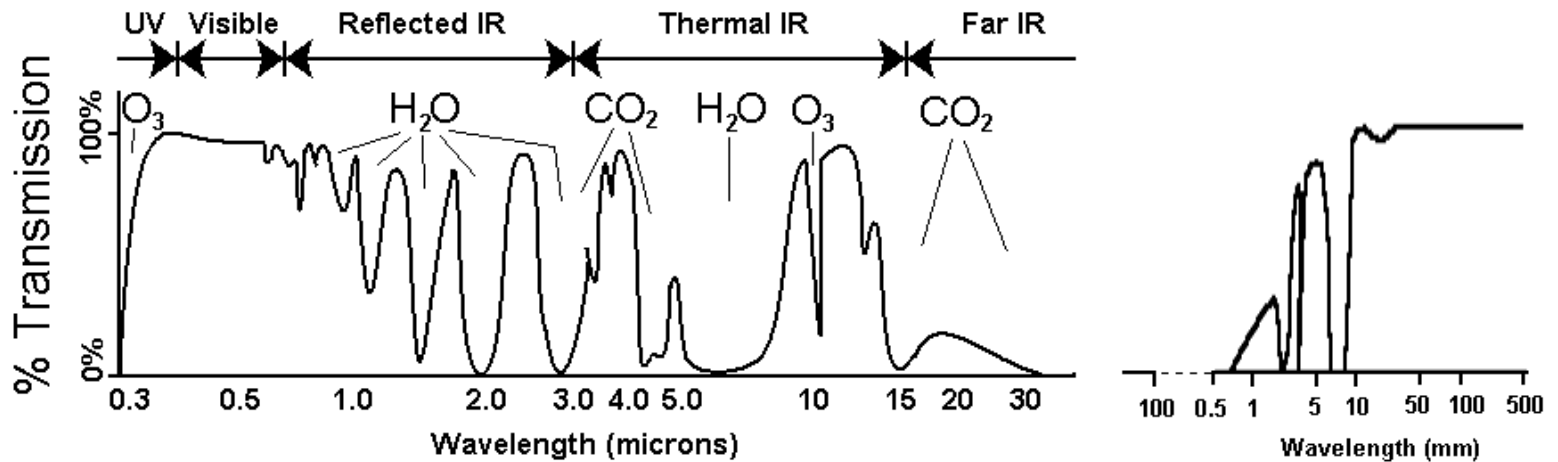
# absorção





# Janelas atmosféricas

A transmitância da atmosfera não é uniforme

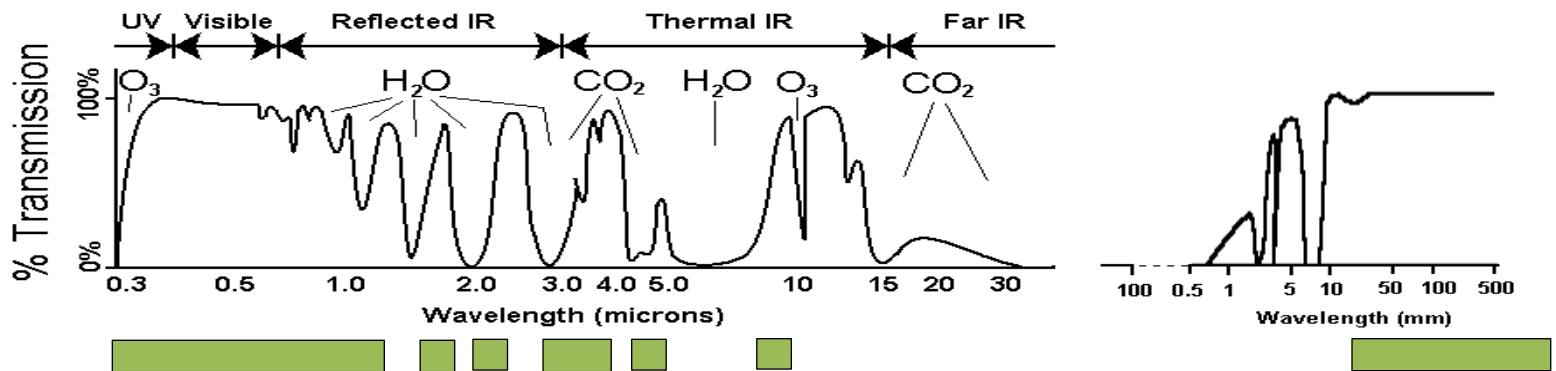


<http://www.sarracenia.com/astronomy/remotesensing>

# Janelas atmosféricas

Onde existe alta transparência

1	0,3-1,3 $\mu\text{m}$
2	1,5-1,8 $\mu\text{m}$
3	2,0-2,4 $\mu\text{m}$
4	3,0-3,6 $\mu\text{m}$
5	4,2-5,0 $\mu\text{m}$
6	8,0-10,0 $\mu\text{m}$
7*	>20mm

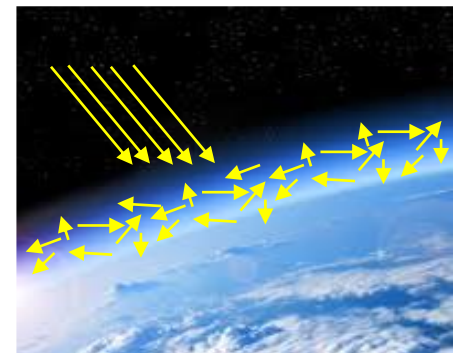
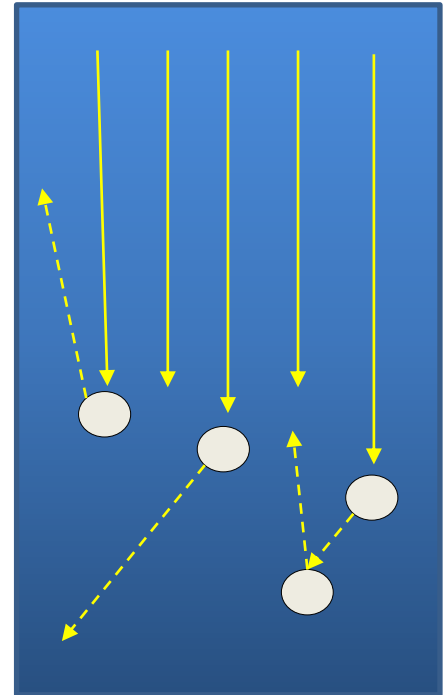


# Espalhamento atmosférico

Energia é refletida ou refratada pelas partículas na atmosfera (moléculas de gases, pó, água), O que pode mudar a trajetória.

Depende de comprimento de onda, a densidade de partículas ou gases na atmosfera e da distância que a energia deve percorrer ao atravessar a atmosfera.

Da um efeito de bruma à imagem.



# espalhamento

Questão 1: Qual a cor do céu?

- Por que dessa cor?

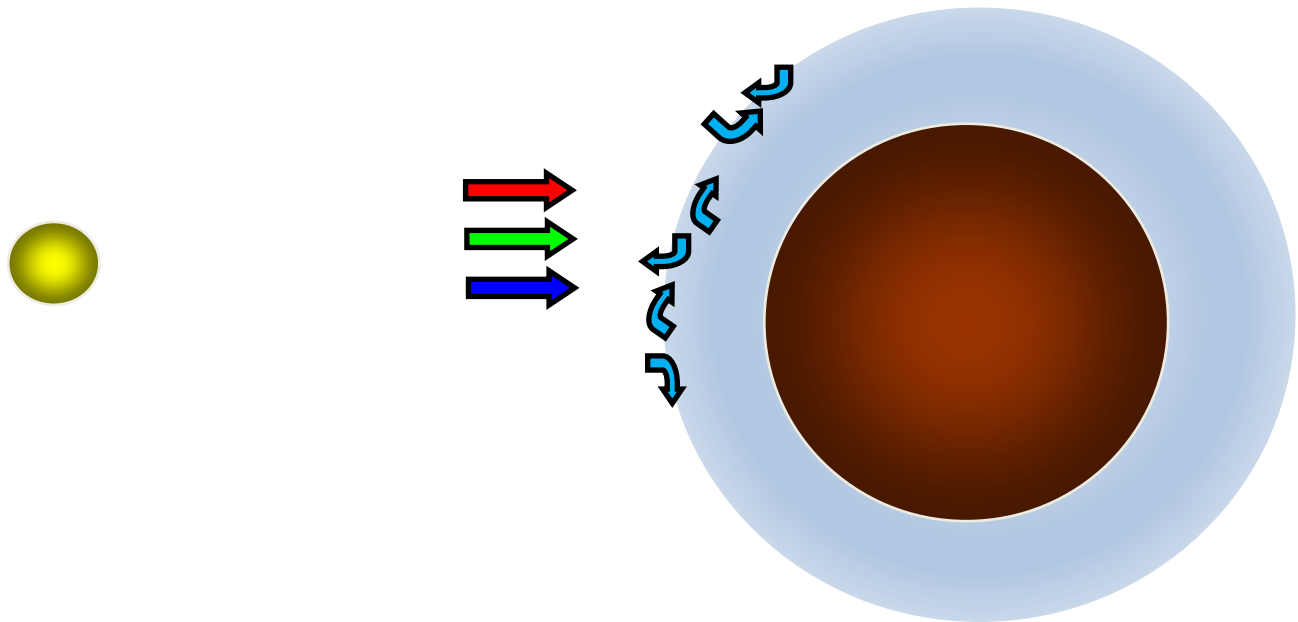


Questão 2: e ao pôr do sol? Ou de madrugada?

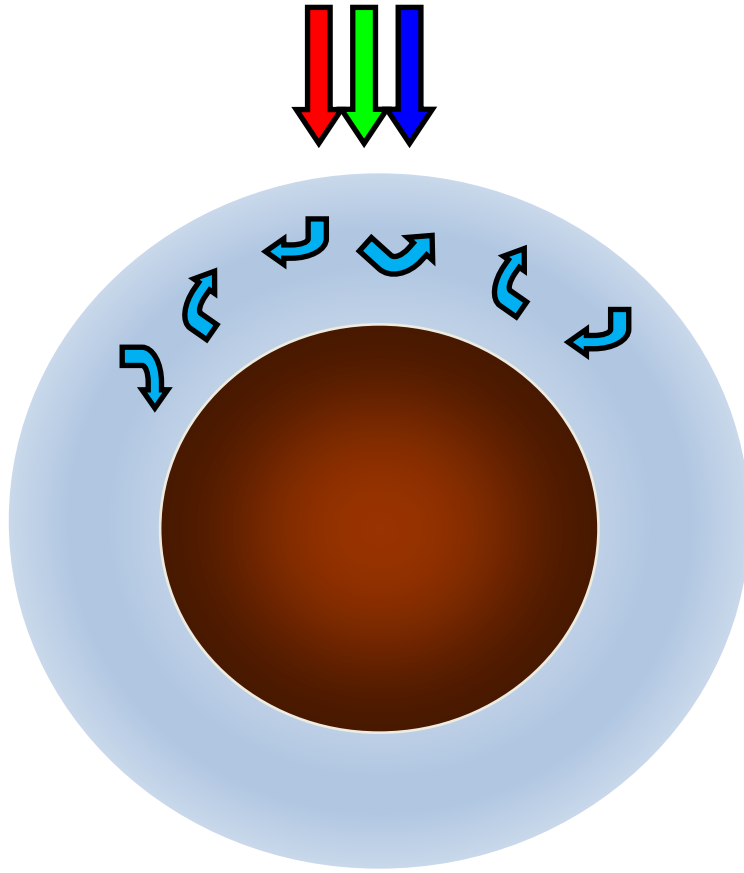
# Tipos de Espalhamento

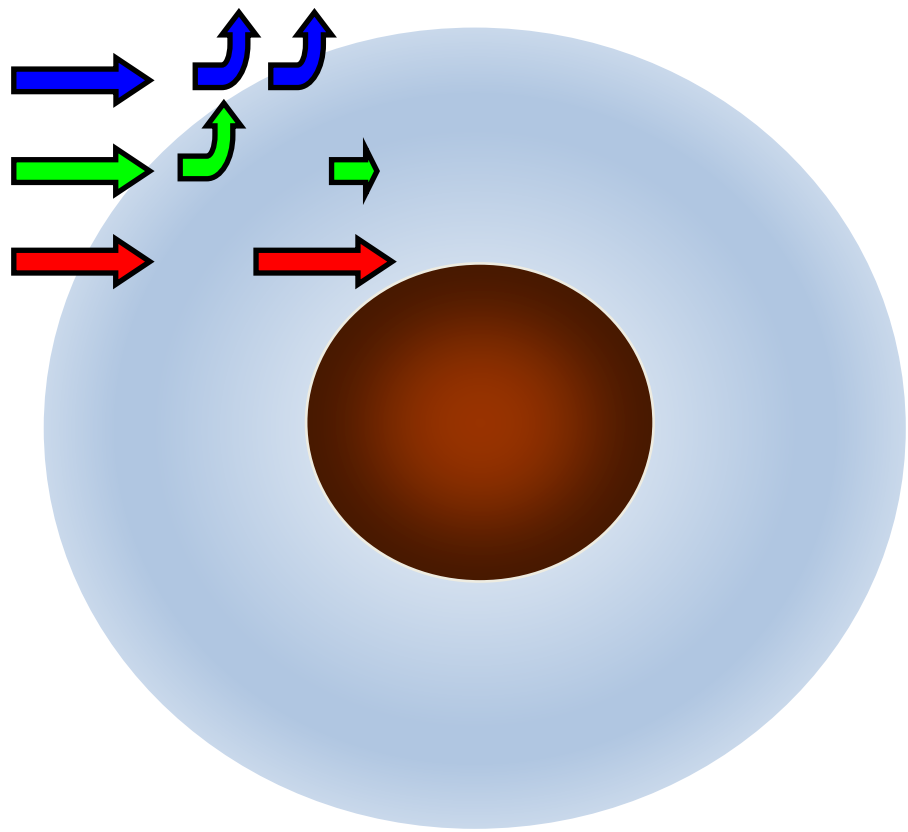
## Espalhamento Raleigh

- Ocorre nas regiões altas da atmosfera;
- quando o diâmetro da partícula é menor que o comprimento de onda
- Causas principais: O<sub>2</sub> , N
- Afeta principalmente comprimentos de onda menores



Qual cor tem menor comprimento de onda?







# Tipos de Espalhamento

## Espalhamento Mie

Regiões baixas da atmosfera;

Diâmetro da partícula da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda

Causas: Aerossóis, pó, fumaça, pólen, vapor de água;

Visível com névoa, fumaça

## Espalhamento não seletivo:

Afeta a todos os comprimentos de onda por igual;

Causas: vapor de água, pó, etc.

Visível em nuvens