

Sensoriamento Remoto Aplicado à Geografia

Prof. Dr. Fernando Shinji Kawakubo

Prof. Dr. Reinaldo Paul P. Machado

Interação da radiação eletromagnética (REM) com os objetos

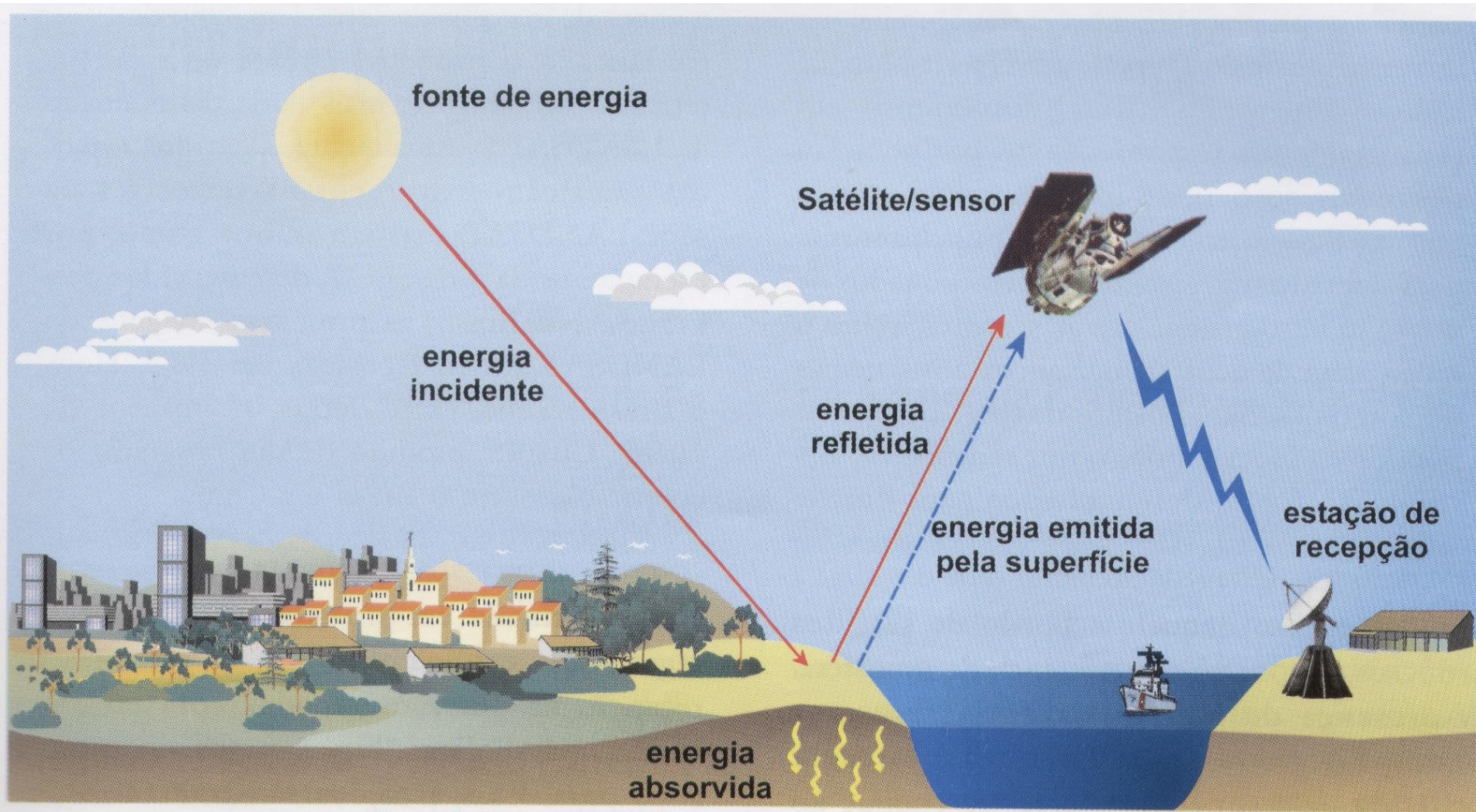


Fig. 1.1 Obtenção de imagens por sensoriamento remoto

O que é a Radiação Eletromagnética?

- A Radiação eletromagnética (**RE**) é uma combinação de um campo elétrico e um campo magnético que se propagam através do espaço transportando energia.

Radiação Eletromagnética

- O universo é composto por partículas e materiais com cargas elétricas e magnéticas.
- Uma partícula carregada eletricamente ou magneticamente gera vibrações eletromagnéticas de certa intensidade energética de acordo com a estrutura atômica e molecular.
- As vibrações dos corpos possuem capacidade de emitir ou refletir radiação.
- A transferência de energia por meio da radiação não necessita de um meio para a propagação.
- A velocidade é de 300 000 km/s.

Princípios Físicos

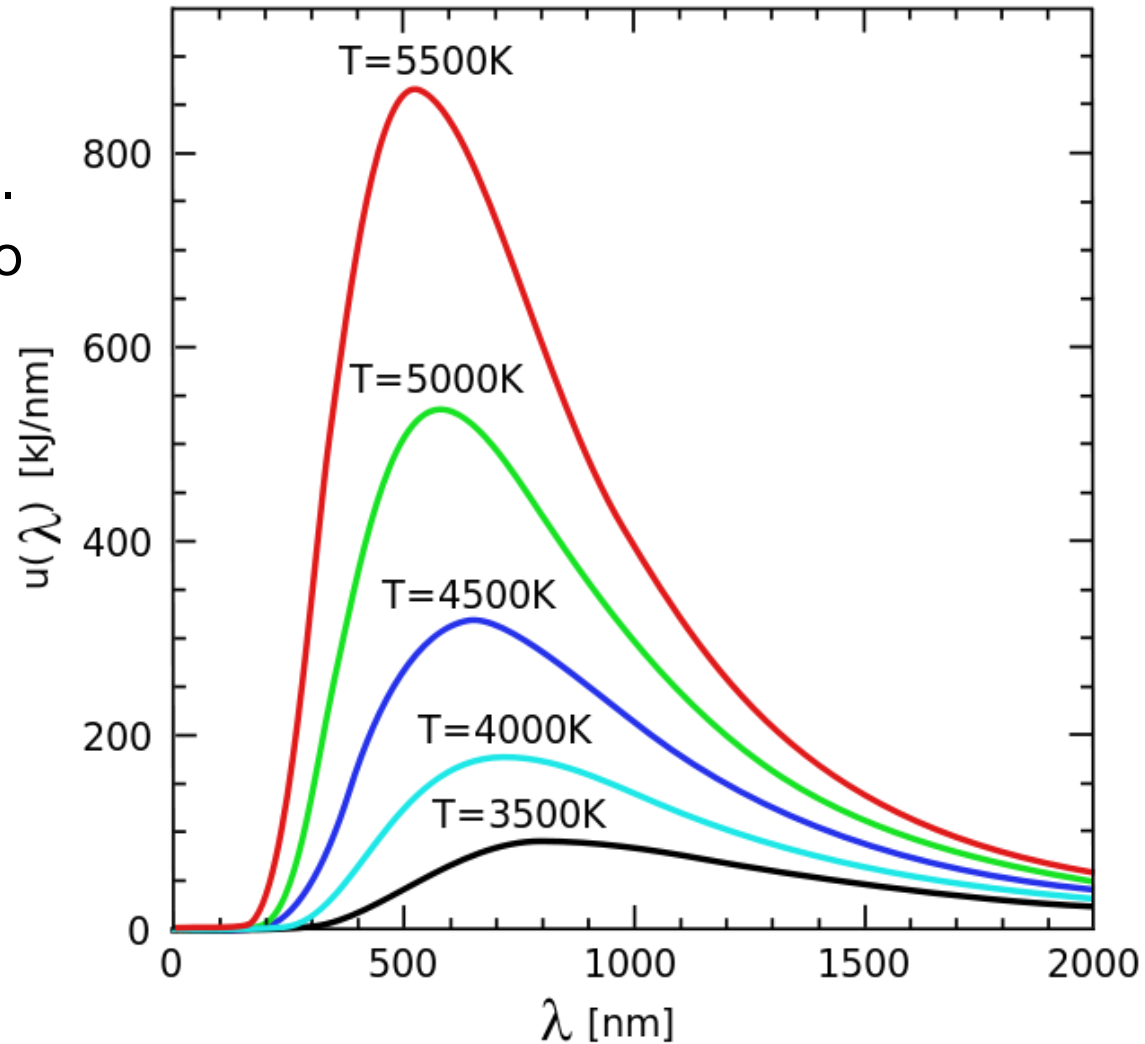
Lei de Planck

Todo corpo emite radiação.
A intensidade e distribuição
da radiação depende da
temperatura do corpo.

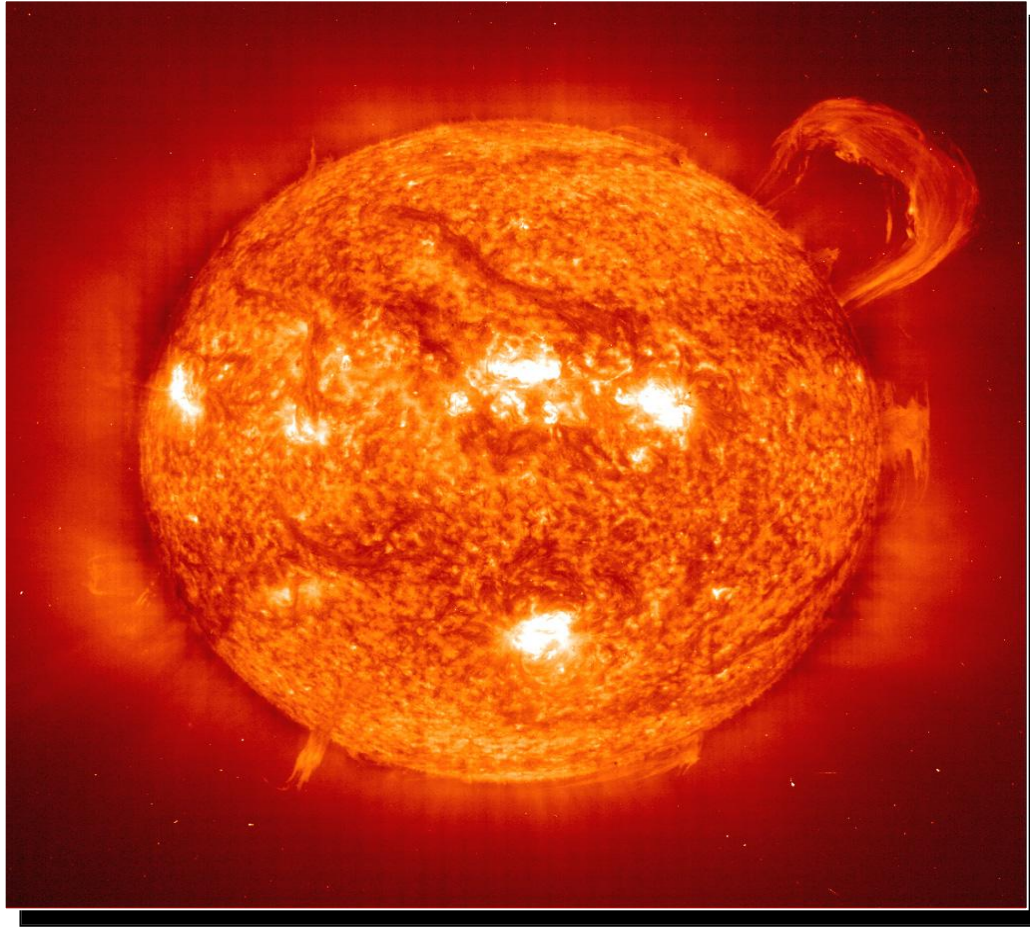
$$0^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$$

Conversão $\text{K} \rightarrow \text{C}$

$$\text{K} = \text{C} + 273$$

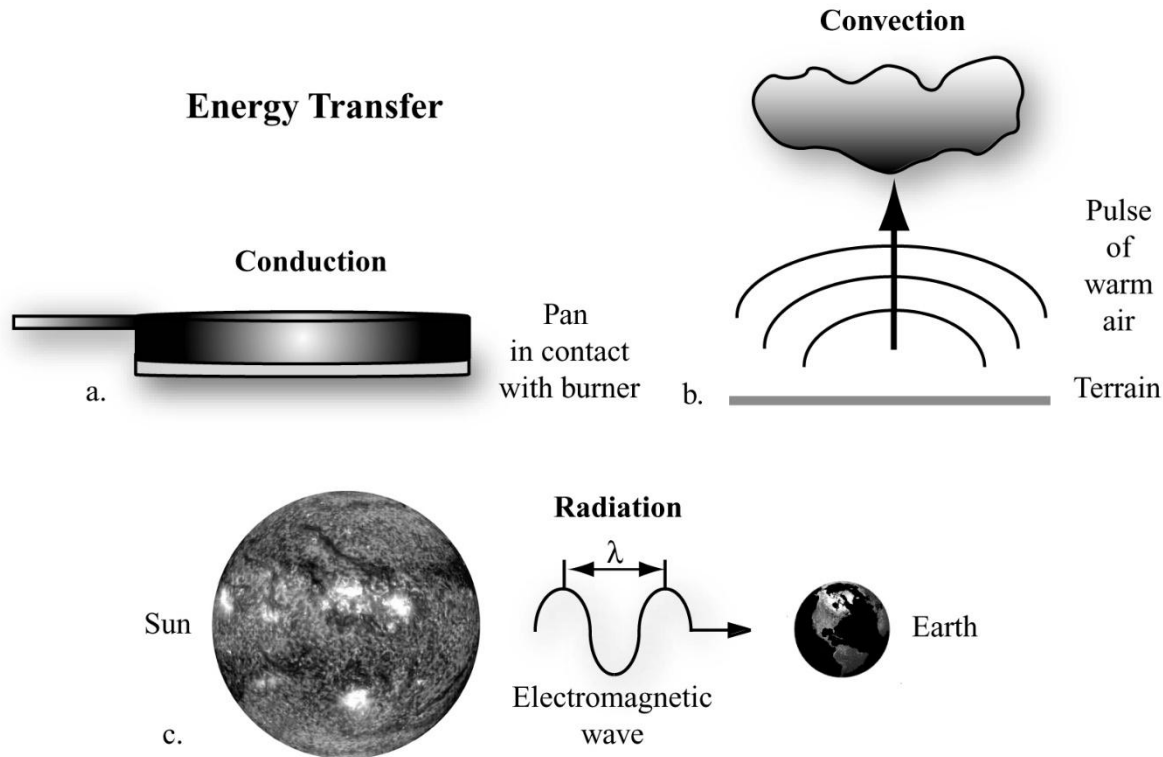


Qual é a nossa principal fonte de energia?



Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) Image of the Sun Obtained on September 14, 1999. (Jensen, 2006)

Como a energia é transferida?



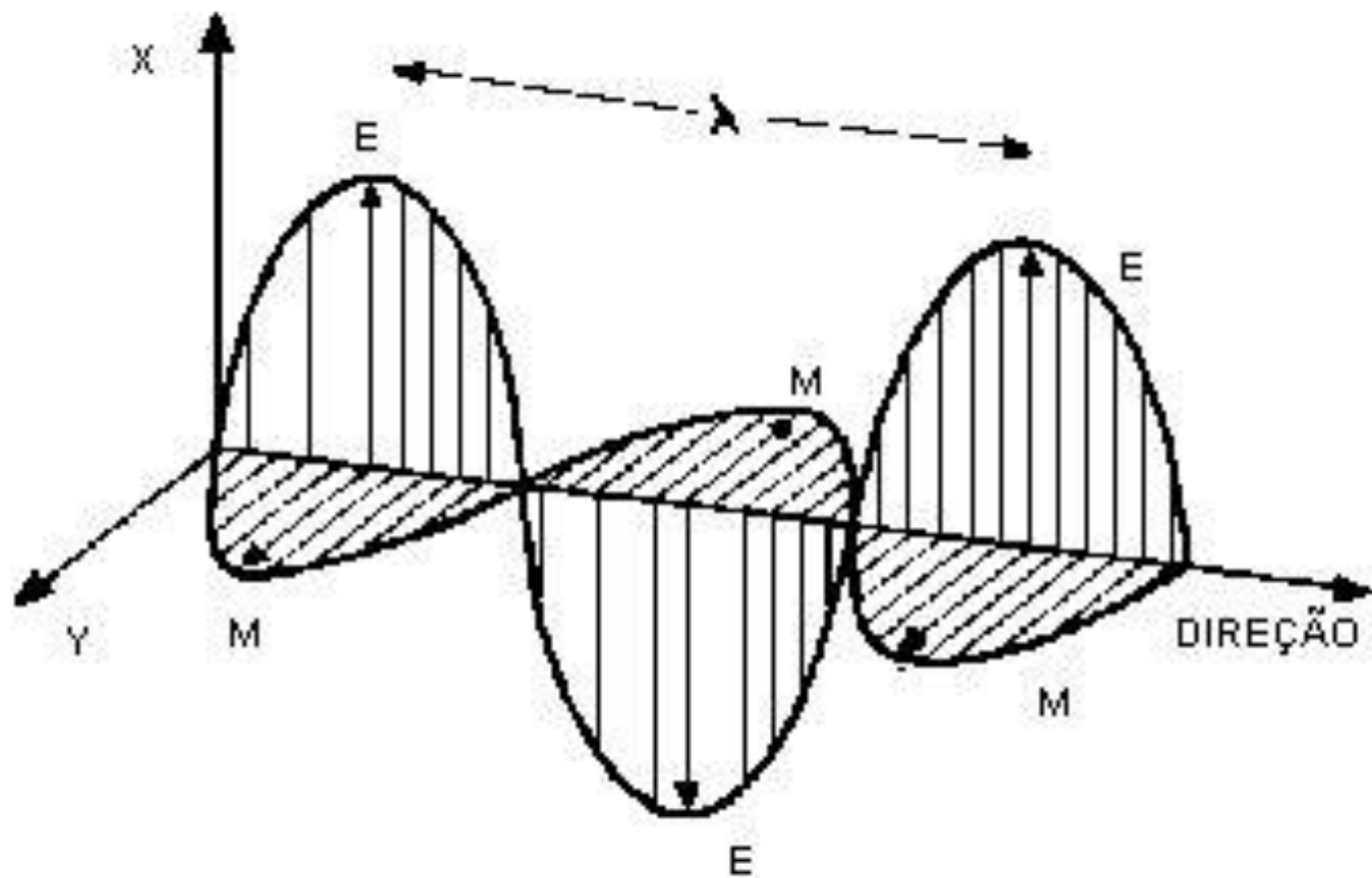
Condução

Convecção

Ondas
eletromagnéticas

Jensen (2000)

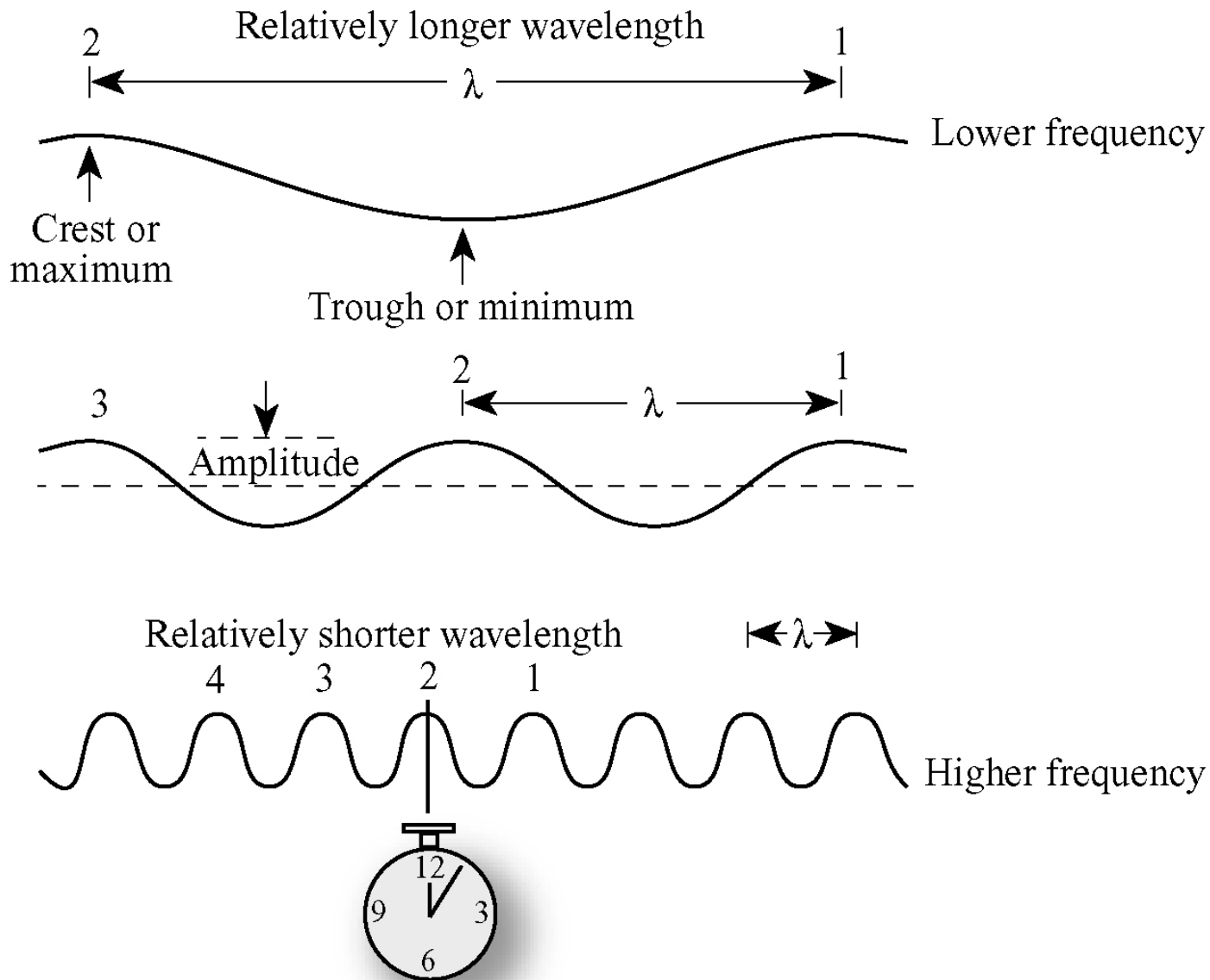
Onda eletromagnética



Velocidade da Luz

- $C = \lambda f$
 - C = velocidade da luz (em m/s)
 - λ = comprimento de onda (m, mm, μm)
 - f = frequência (em ciclos por segundo ou Hertz)
-
- **Comprimento da onda:** distância entre dois picos de ondas sucessivas
 - **Frequência da onda:** número de vezes que a onda se repete por unidade de tempo
 - **Velocidade da Luz:** 300.000 km/s

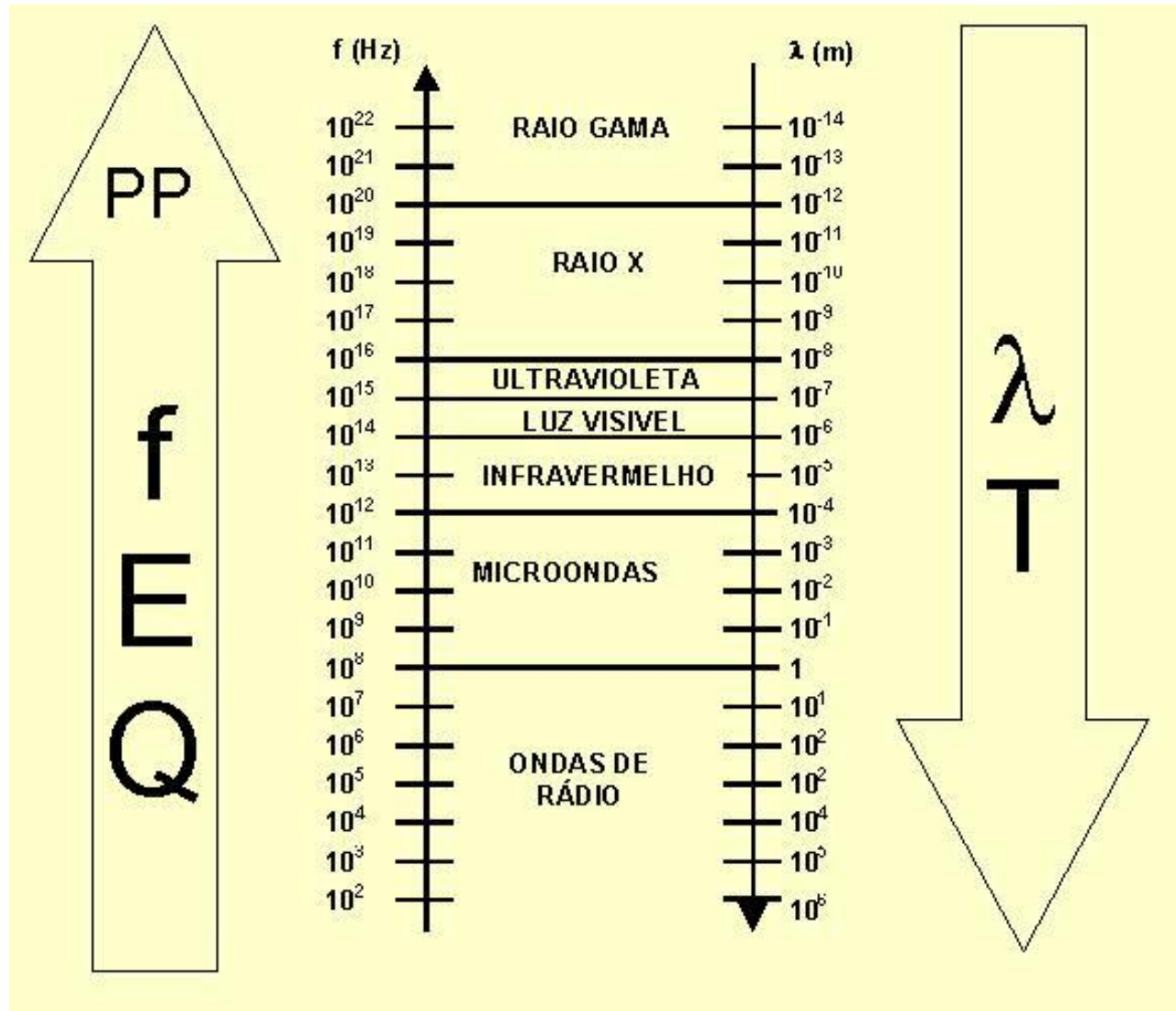
Inverse Relationship between Wavelength and Frequency



Relação entre o comprimento e a frequência das ondas eletromagnéticas

- A velocidade (C) da luz é constante.
- Quanto maior o comprimento menor a frequência.
- Quanto maior a frequência, menor o comprimento.
- São inversamente proporcionais.

Relação entre o comprimento e a frequência das ondas no espectro eletromagnético

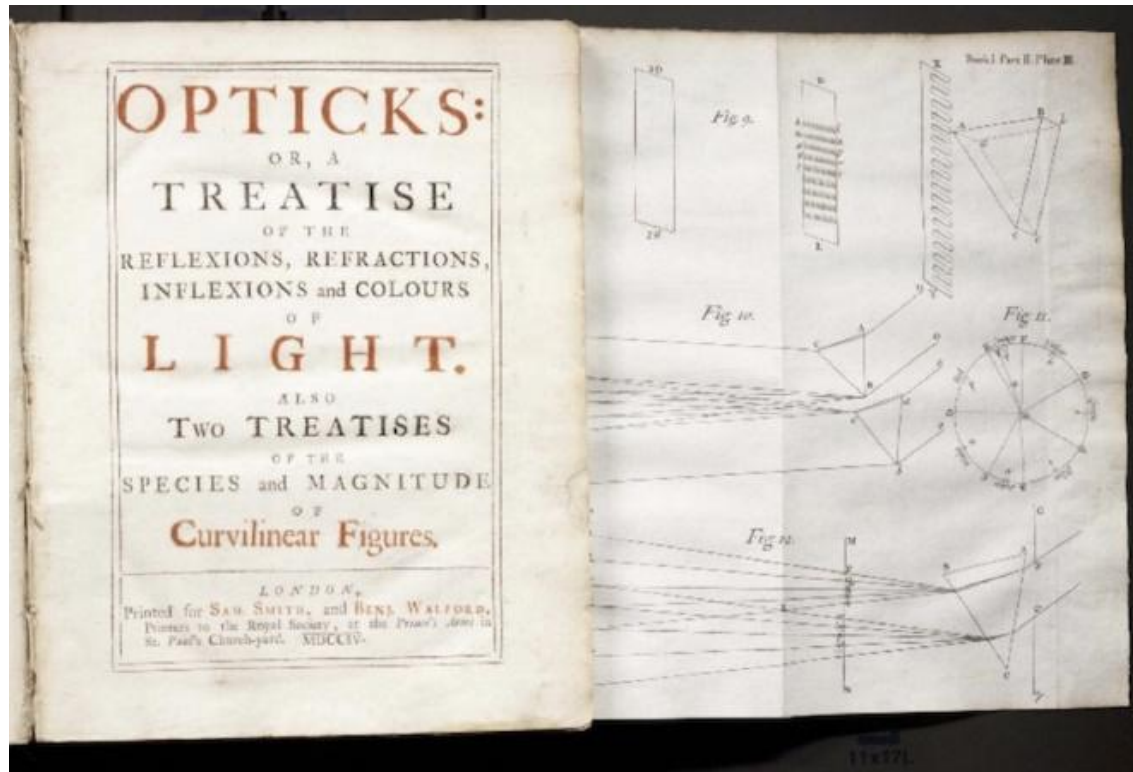


Spectrum

A palavra espectro (do latim "**spectrum**", que significa **fantasma** ou **aparição**) foi usada por **Isaac Newton**, no século XVII, para descrever a faixa de cores que apareceu quando numa experiência, a luz do Sol atravessou um prisma de vidro colocado em sua trajetória.

Atualmente chama-se espectro eletromagnético à faixa de frequências e respectivos comprimentos de ondas que caracterizam os diversos tipos de ondas eletromagnéticas.

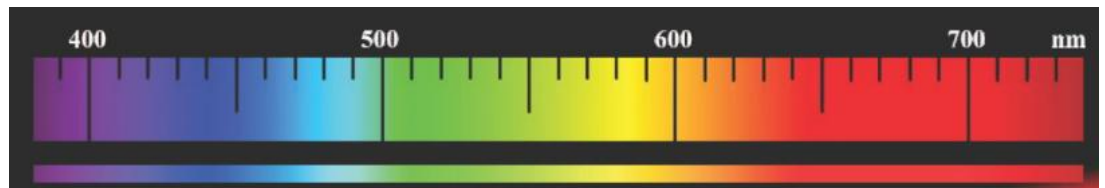
http://www.zaz.com.br/fisicanet/cursos/ondas_eletromagneticas/ondas_eletromagneticas.html



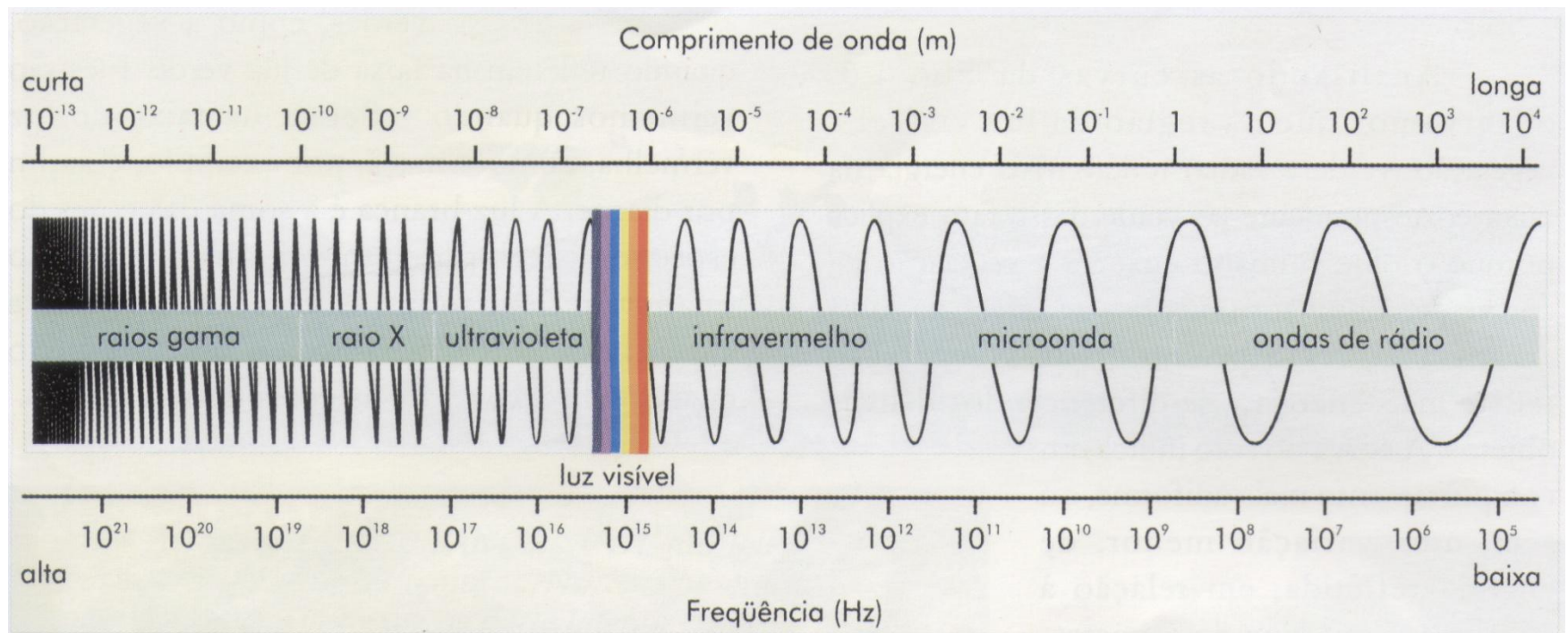
<http://library.si.edu/exhibition/color-in-a-new-light/science>

New identificou as cores do espectro visível:

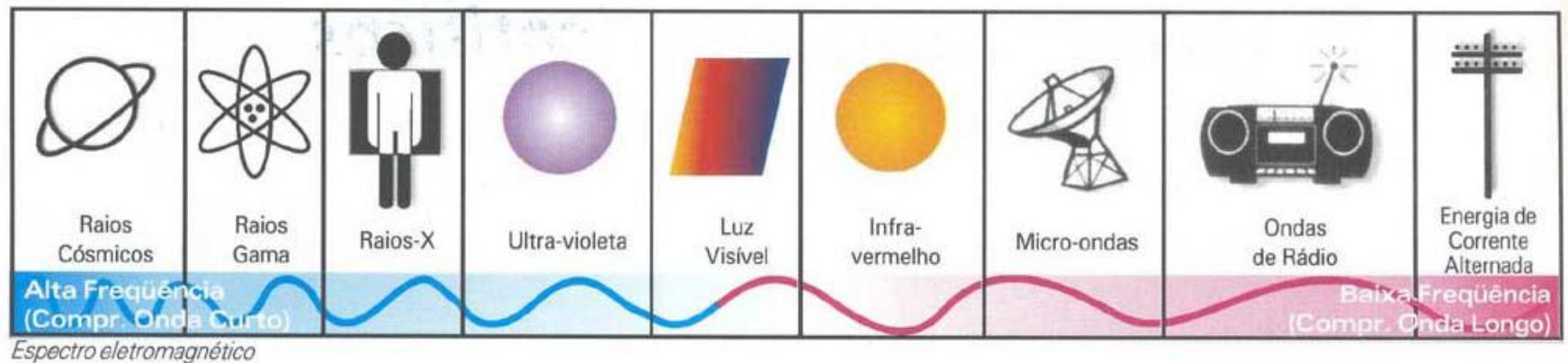
ROYGBIV (red, orange, yellow, green, blue, indigo, and violet)



<http://lerweb.khlim.be/~infav/breking/4prisma.htm>

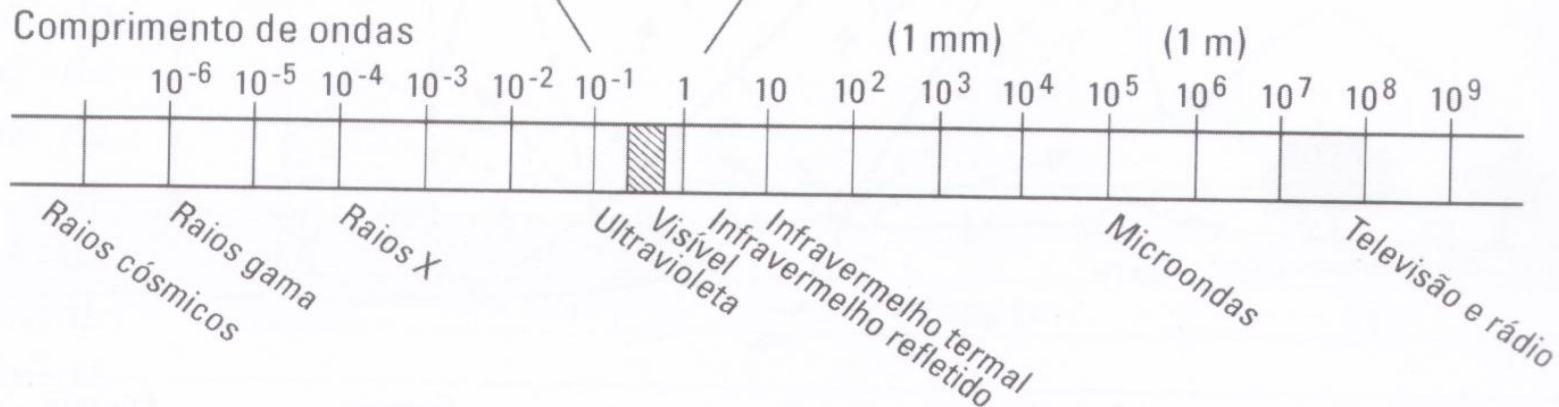
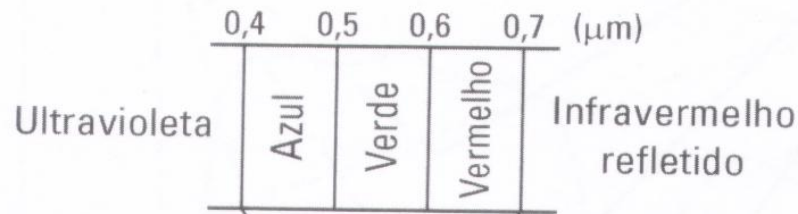
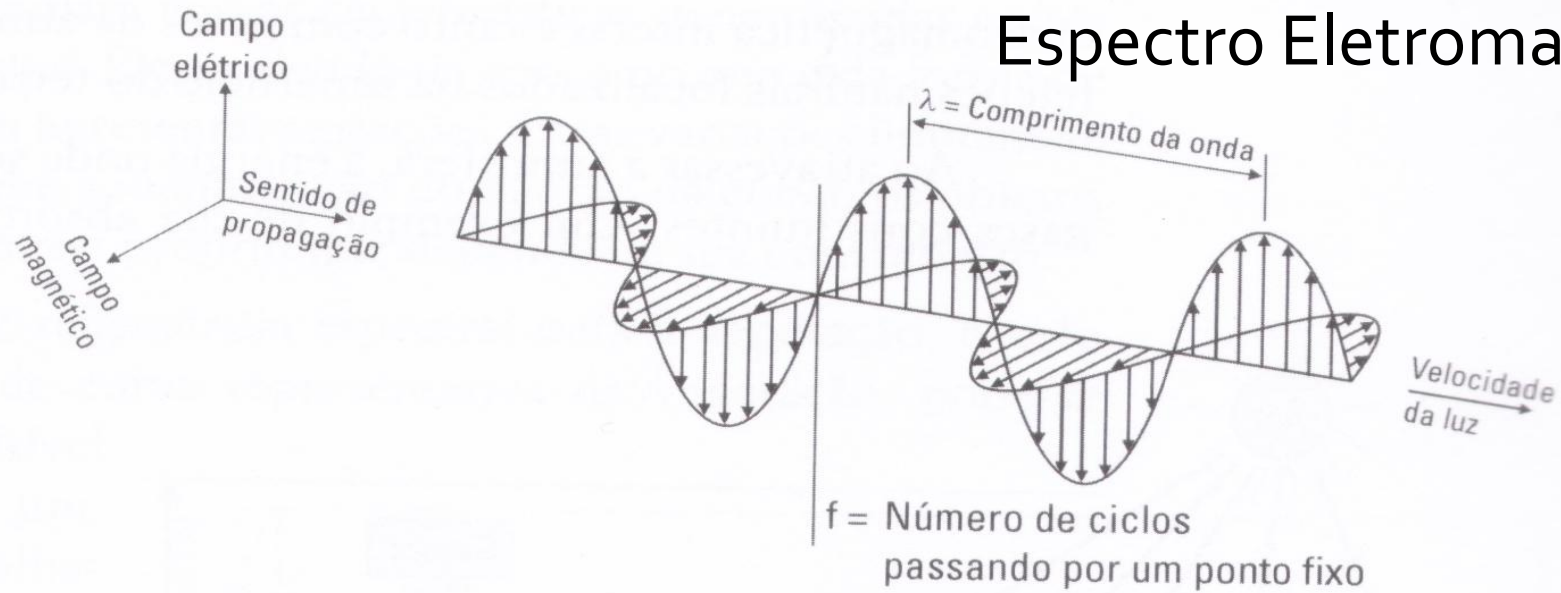


Florenzano (2002)

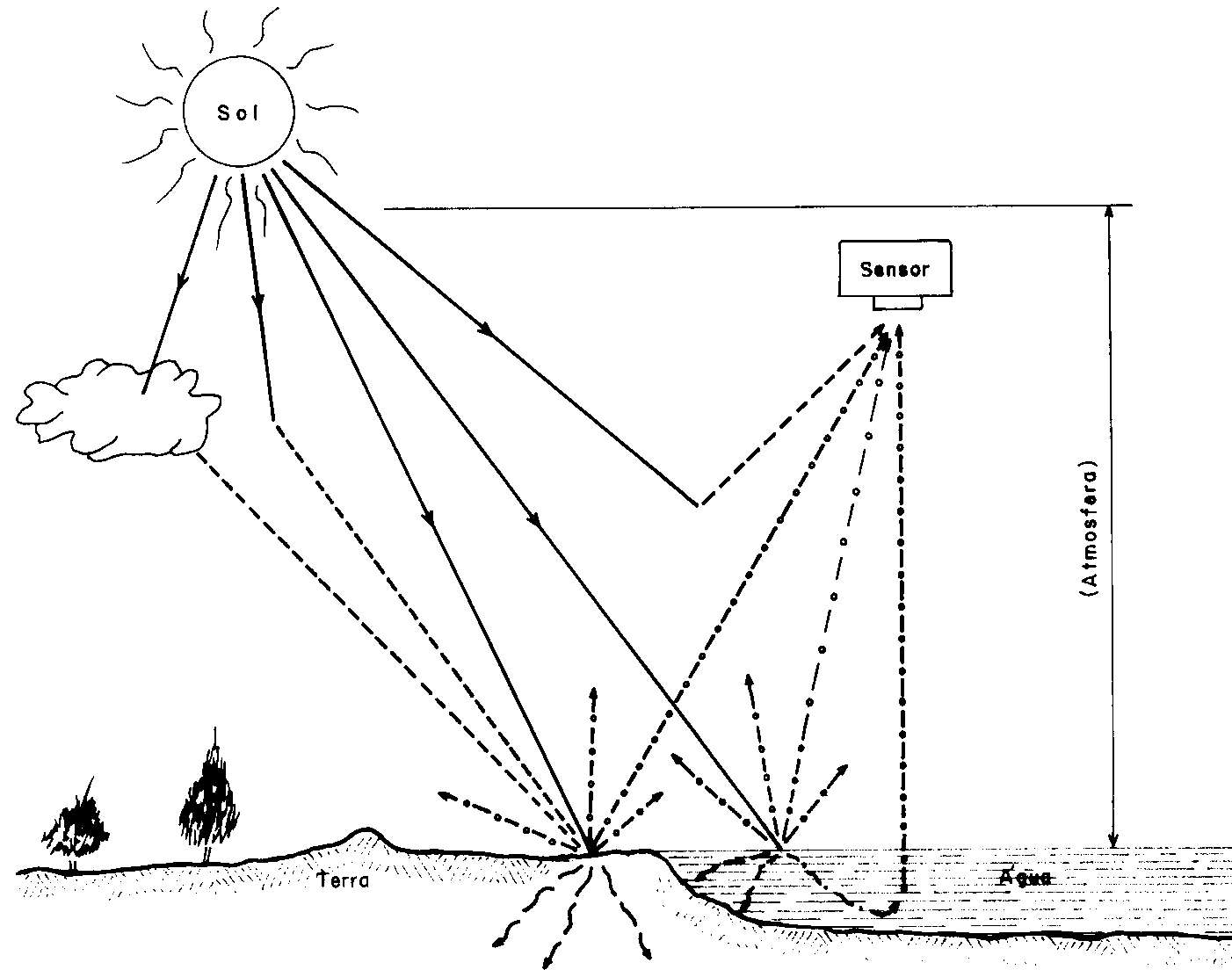


<http://www.cena.usp.br/irradiacao/espectrodeondas.jpg>

Espectro Eletromagnético



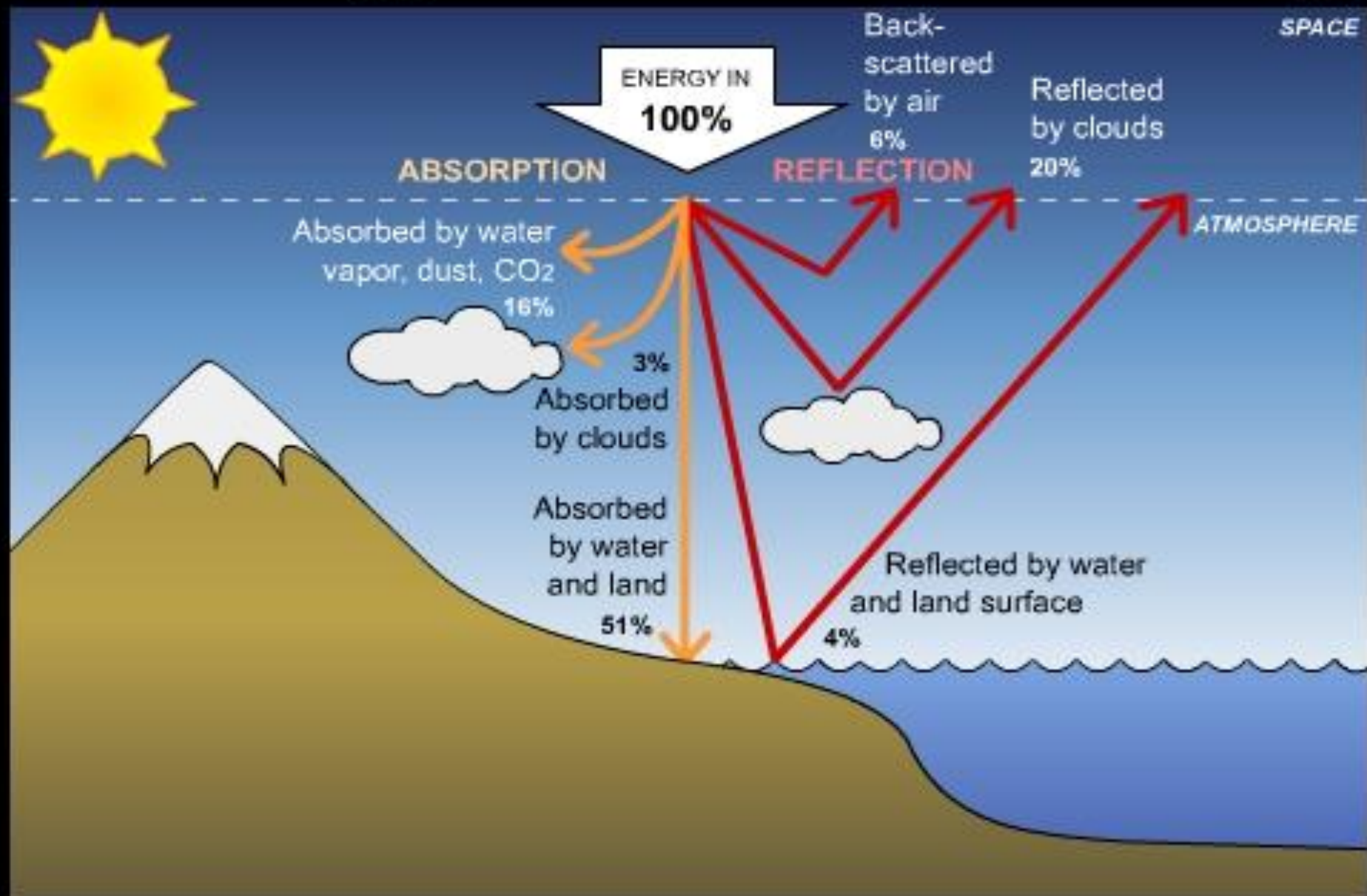
Interação da REM (Atmosfera e objeto)



- Energia incidente
- - - Energia absorvida
- ~ ~ ~ Energia transmitida
- . - . - Energia refletida
- - - - - Energia espalhada

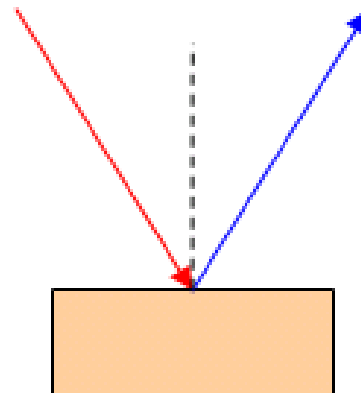
Luchiari, Kawakubo e Morato (2005)

Global Energy Balance

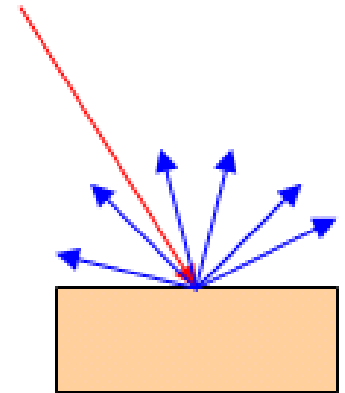


Interação da REM com a atmosfera e com a superfície terrestre

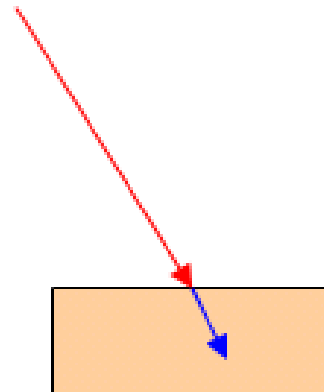
- Energia incidente
- Energia absorvida
- Energia transmitida
- Energia refletida



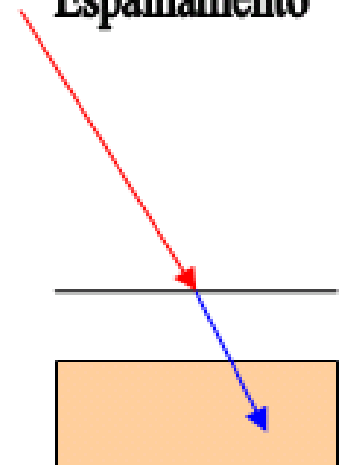
Reflectância



Espalhamento



Absorção



Transmissão

Reflectância

É a proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido. Formalmente é descrito como:

$$R = F_r / F_t$$

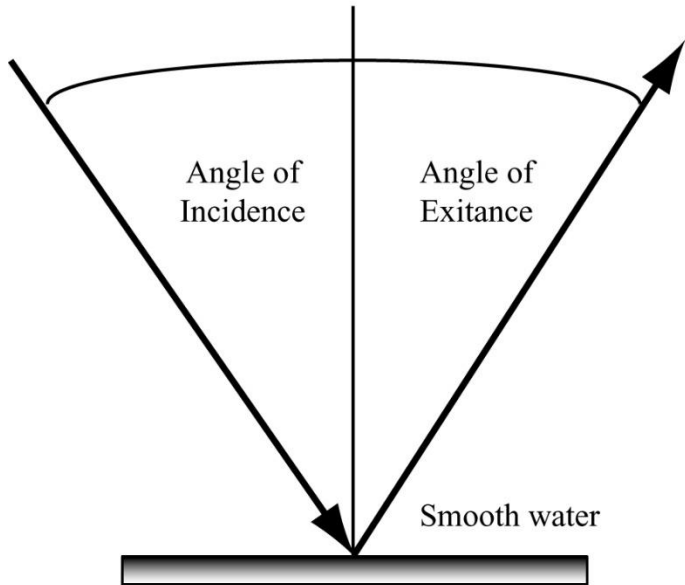
onde:

R: reflectância

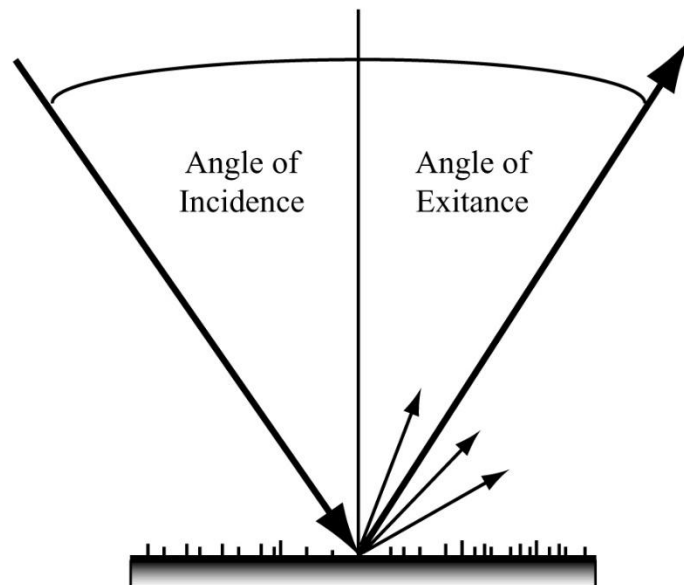
F_r: Fluxo de radiação eletromagnética refletido

F_t: Fluxo de radiação eletromagnética incidente.

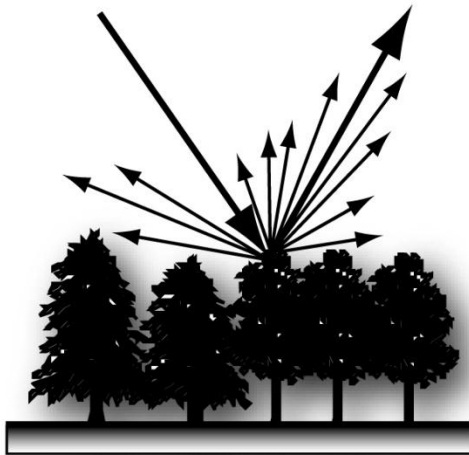
Specular versus Diffuse Reflectance



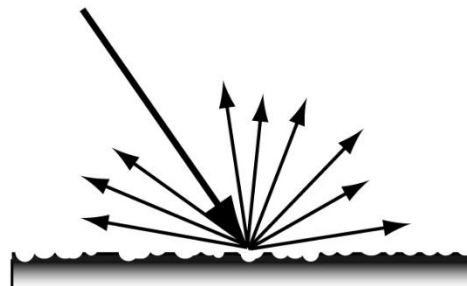
a. Perfect specular reflector.



b. Near-perfect specular reflector.



c. Near-perfect diffuse reflector.



d. Perfect diffuse reflector, or Lambertian surface.

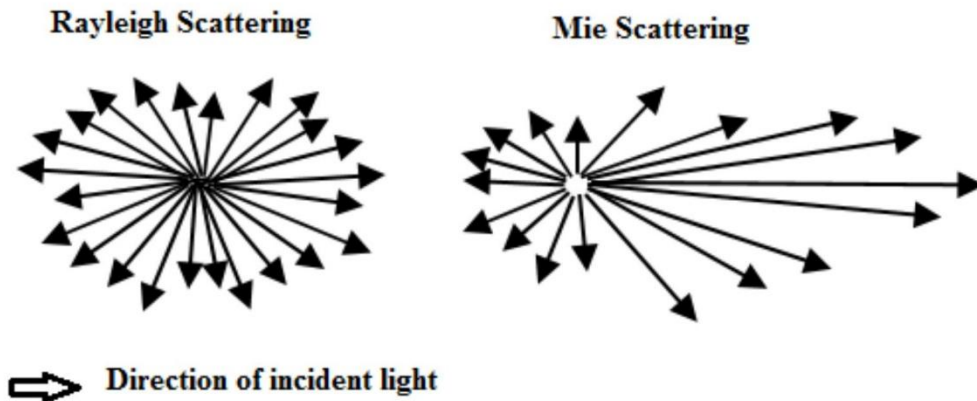
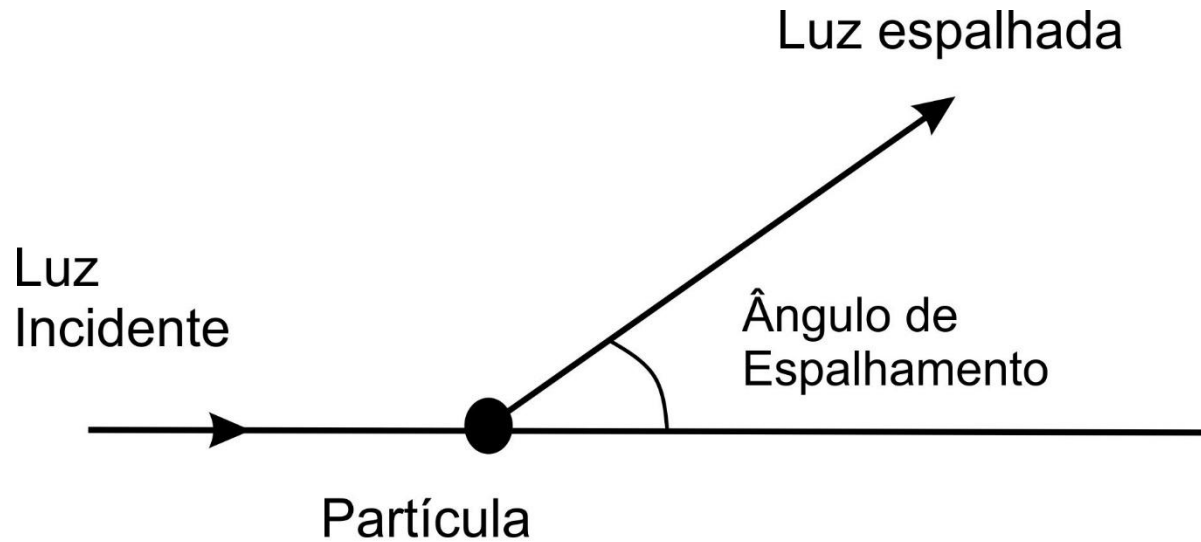
Efeitos atmosféricos: espalhamento (dispersão) da radiação

- Ocorre quando partículas presentes na atmosfera espalham a radiação incidente.

Tipos:

- Espalhamento Rayleigh
- Espalhamento MIE
- Espalhamento Não-Seletivo

Efeitos atmosféricos: espalhamento da radiação



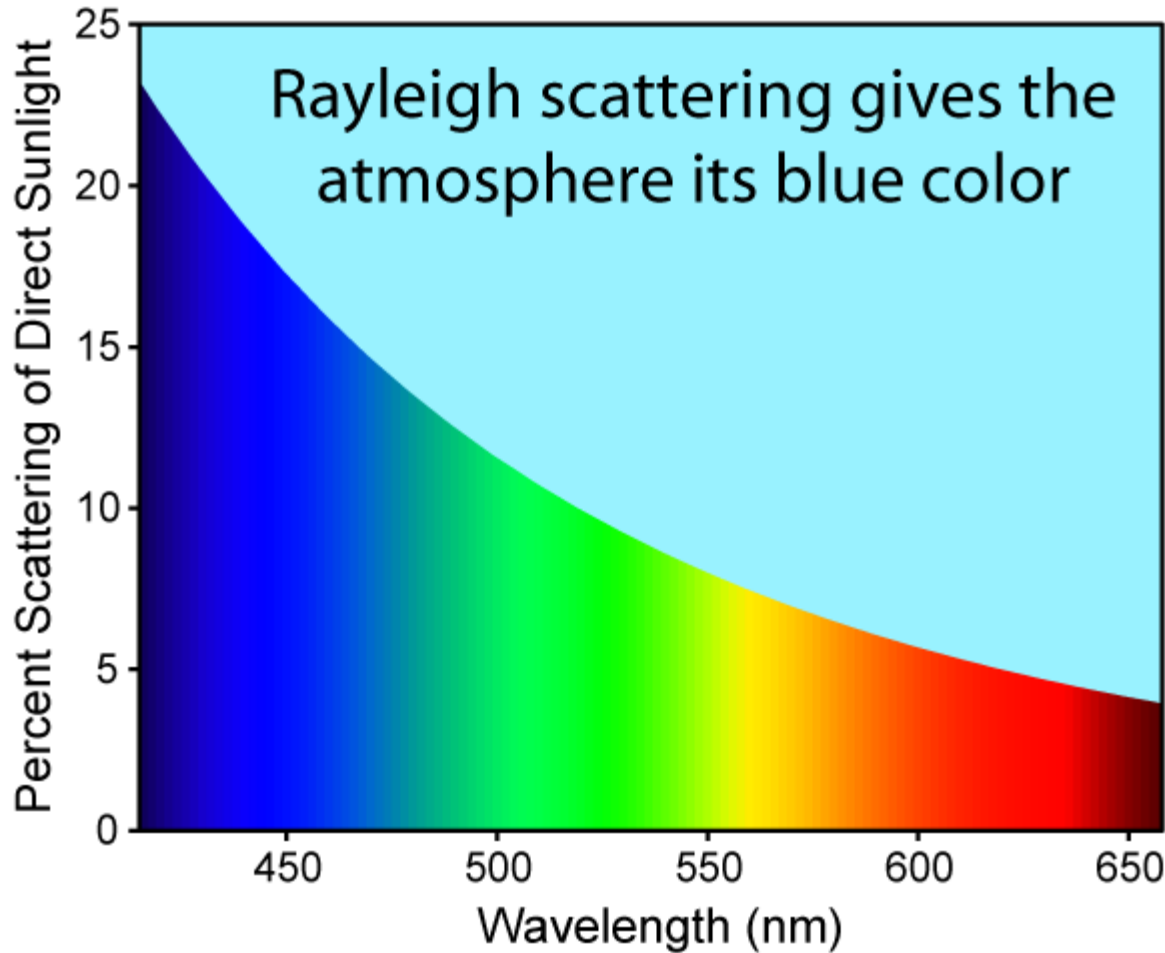
Espalhamento de *Rayleigh* ou Molecular

O espalhamento *Rayleigh* ocorre quando as partículas presentes na atmosfera são muito menores que os comprimentos de onda da radiação (1/10 do comprimento de onda da radiação incidente). Moléculas de nitrogênio e oxigênio menores que 420 nm são as causas do espalhamento de *Rayleigh*. Este tipo de espalhamento afeta principalmente os pequenos comprimentos de onda e ocorrem predominantemente no topo da atmosfera.

Por que o céu é azul?

O fato do céu parecer “azul” durante o dia é devido a este fenômeno. Como a luz do sol passa pela atmosfera, os pequenos comprimentos de onda (isto é o azul) do espectro visível são espalhados mais que os comprimentos de onda maiores da porção visível do espectro eletromagnético.

Por que o céu é azul?



$$E = \frac{1}{\lambda^4}$$

A luz azul (400 nm) é mais espalhada que a luz vermelha (700 nm) por um fator de $(700/400)^4 = 9,3789$

Espalhamento MIE

O **espalhamento Mie** ocorre quando as partículas presentes na atmosfera **são da mesma ordem ou próximos do comprimento de onda da radiação**. Poeira, fumaça e vapor d'água são as causas comuns do espalhamento MIE que tende afetar os longos comprimentos de onda. O espalhamento MIE ocorre nas porções mais baixas da atmosfera onde as grandes partículas são abundantes.

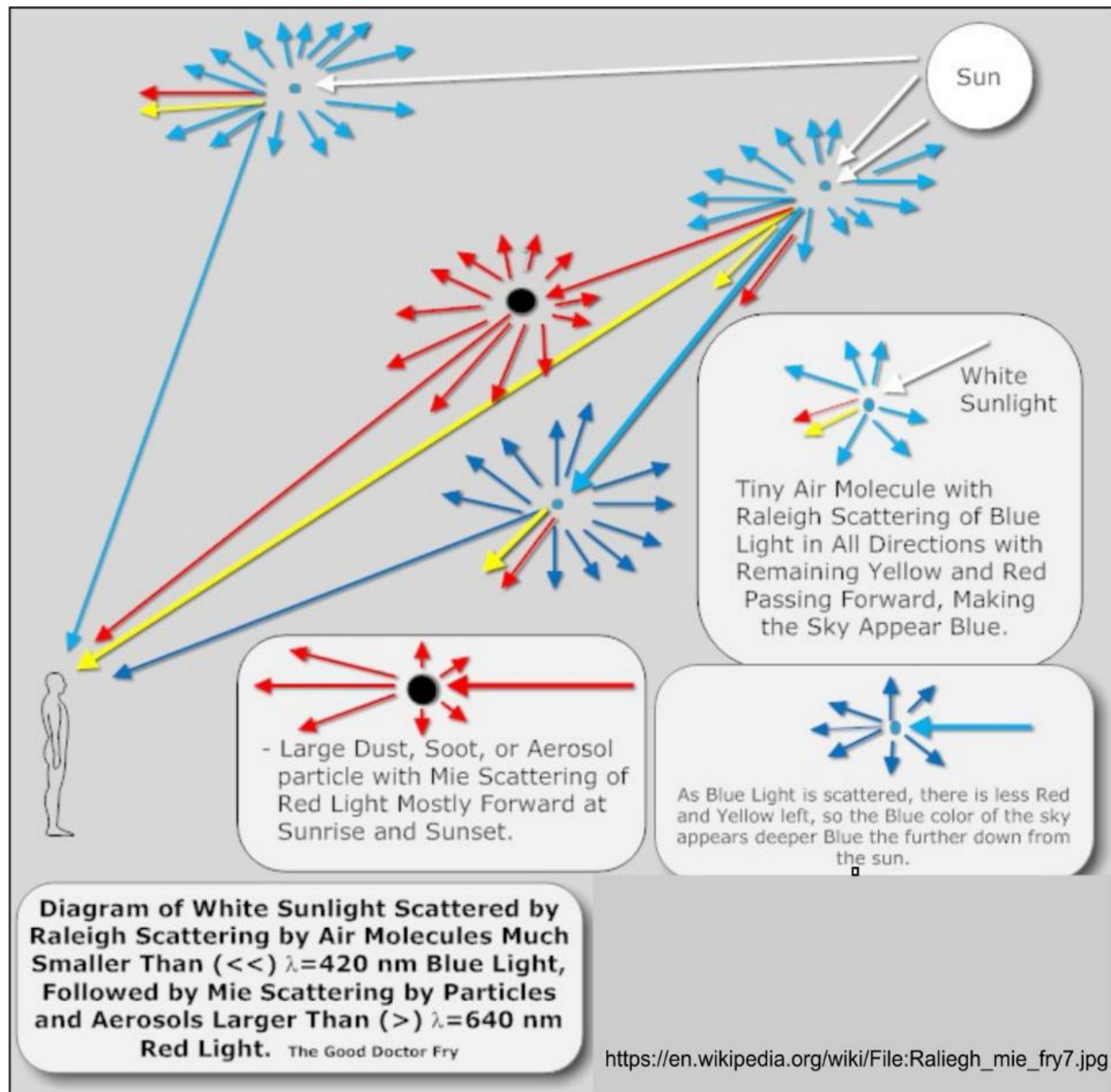
$$E = \frac{1}{\lambda^2}$$

Espalhamento Mie



Uma grande quantidade de partículas presentes na atmosfera com diâmetros maiores do que relação 1/10 ao comprimento de onda incidente pode gerar clarões Resultantes do espalhamento Mie.

Espalhamento: *Rayleigh* e *MIE*



Múltiplo espalhamento



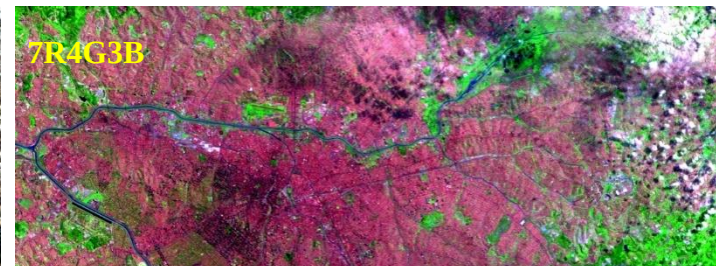
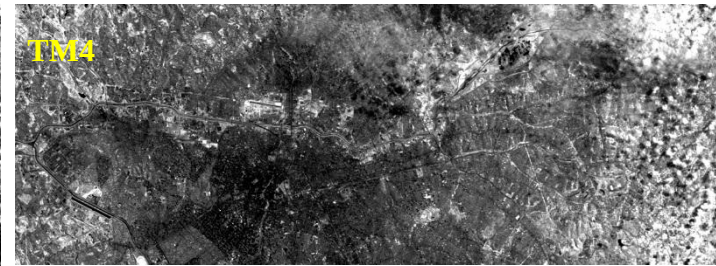
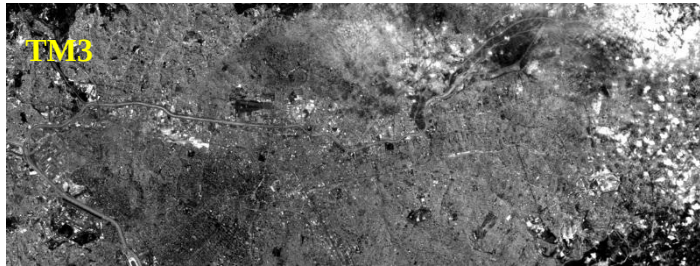
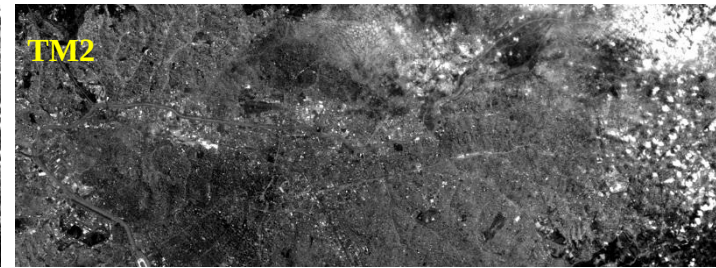
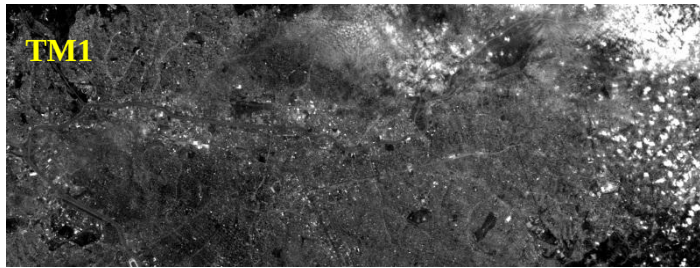
<https://www.quora.com/What-is-the-reddish-color-of-the-sky-at-dawn-and-dusk-called>

Espalhamento Não-Seletivo

O **espalhamento não-seletivo** ocorre quando as partículas presentes na atmosfera **são muito maiores que o comprimento de onda da radiação**. Gotas d'água e grandes partículas de poeira podem causar este tipo de espalhamento. O espalhamento não-seletivo possui este nome pelo fato de todos os comprimentos de ondas serem igualmente espalhados. Este tipo de espalhamento é causado por nevoeiro e nuvens, e causa o aparecimento da cor branca pois as luzes verde, vermelho e azul são espalhadas em quantidades aproximadamente iguais.

Interação da REM

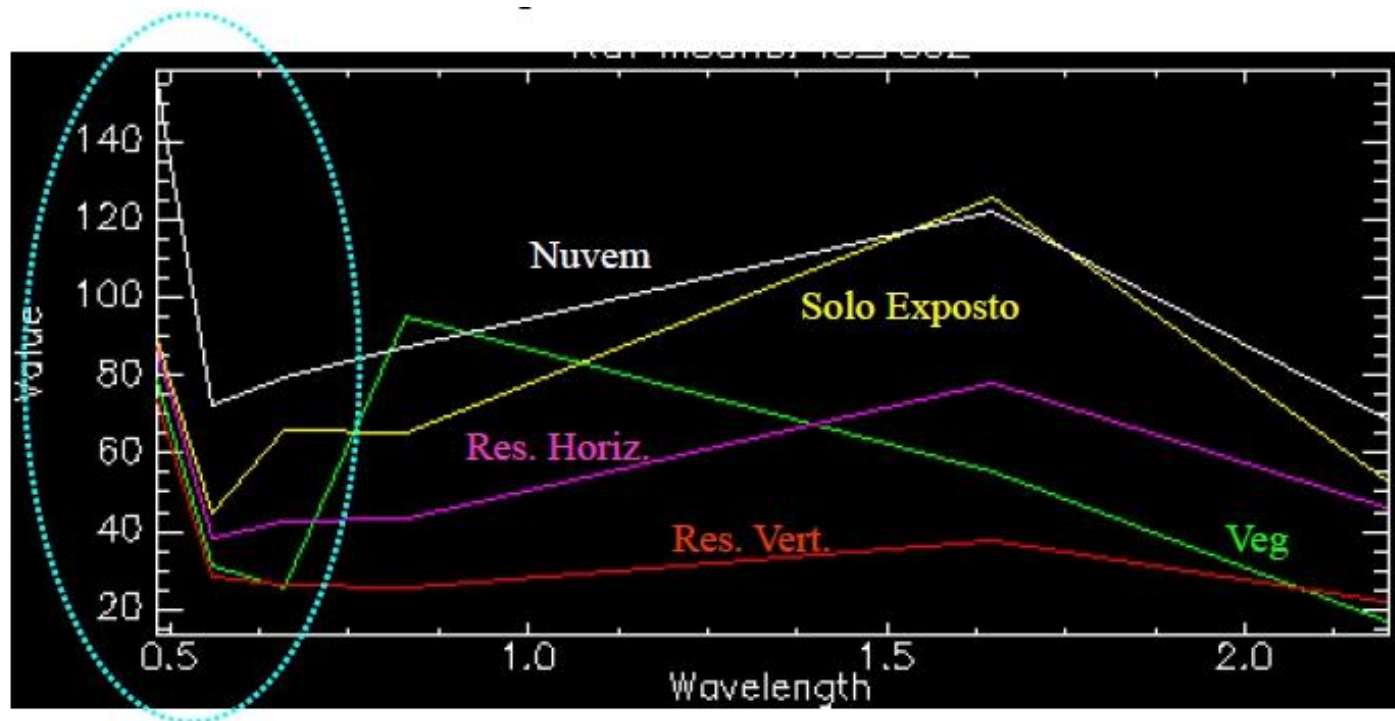
Imagem Landsat-5 TM adquirida em 23/03/1989 (órbita/ponto 219/76)



Interação da REM

Comportamento espectral de objetos urbanos

(Imagem Landsat-5 TM adquirida em 23/03/1989 (órbita/ponto 219/76))

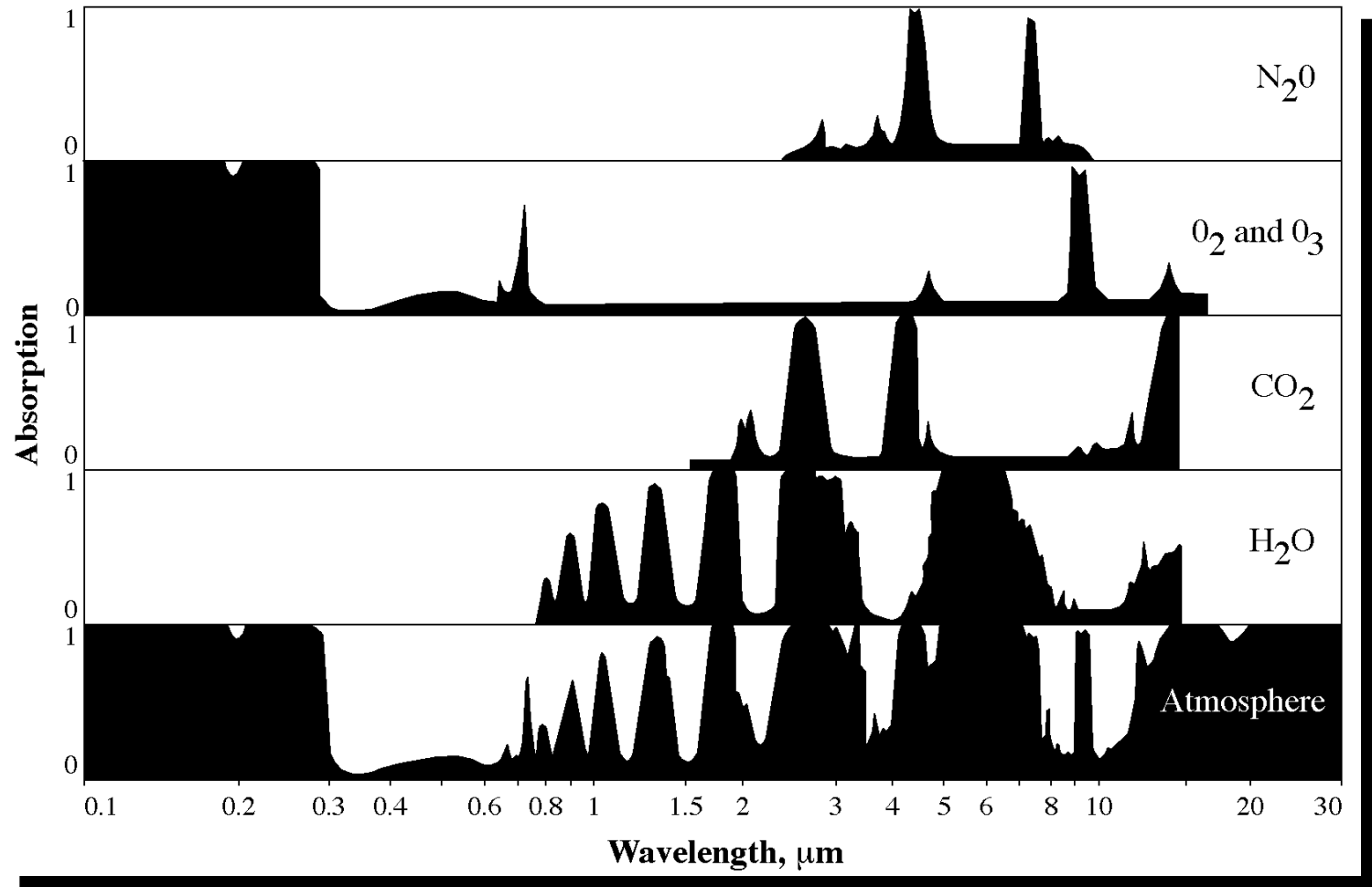


Efeito
Atmosférico

Absorção

O espalhamento e a reflexão simplesmente mudam a direção da radiação. Contudo, através da absorção, a radiação é convertida em calor. Quando uma molécula de gás absorve radiação esta energia é transformada em movimento molecular interno, detectável como aumento de temperatura.

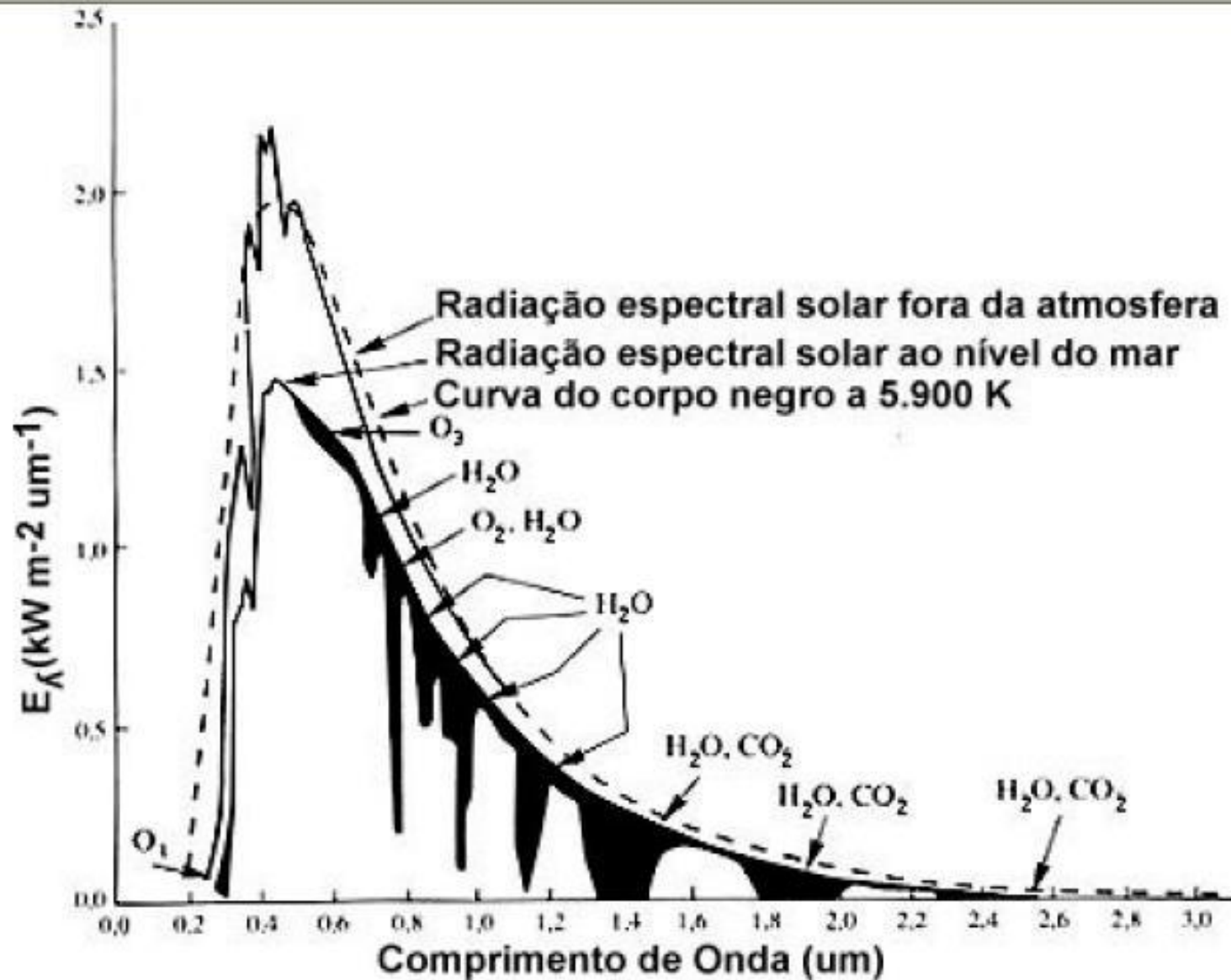
Absorção da REM na região 0.1 a 30 μm por vários gases atmosféricos (Jensen, 2000)



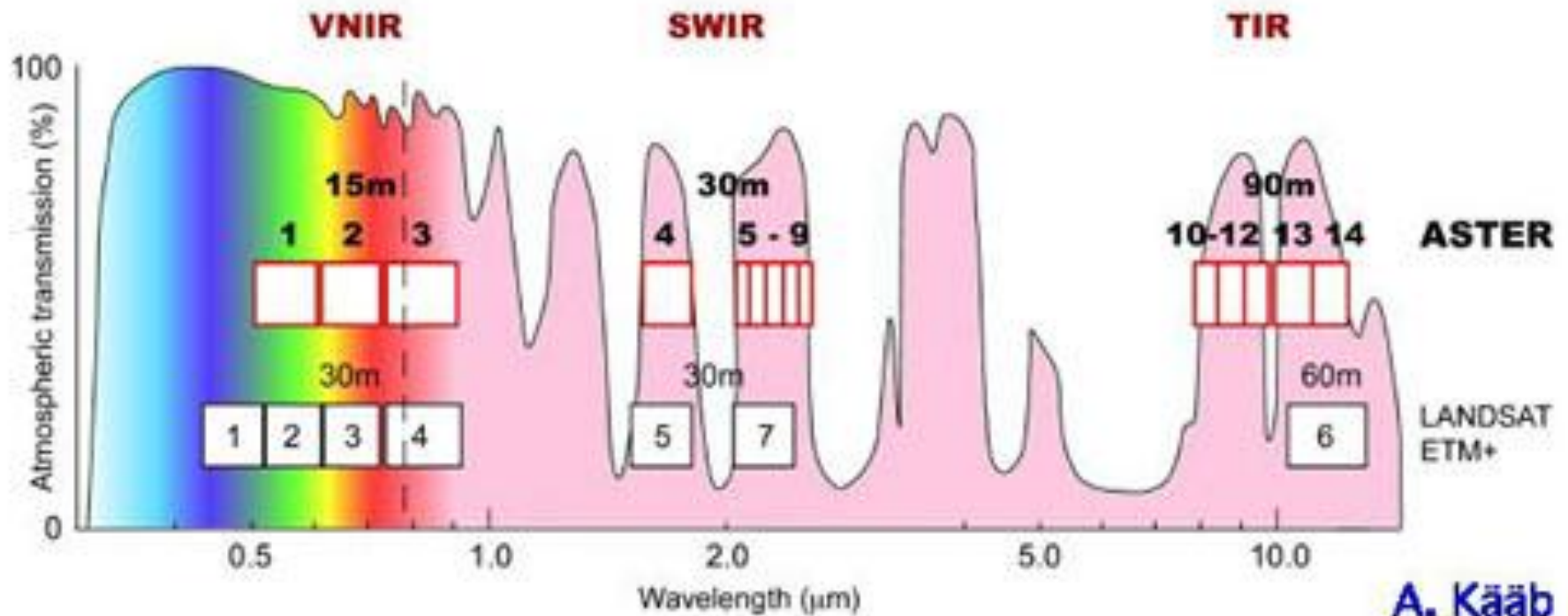
Transmissão

O grau de transmissão, ou transmissividade, representa a capacidade das ondas eletromagnéticas em penetrarem a atmosfera.

Transmitância Atmosférica



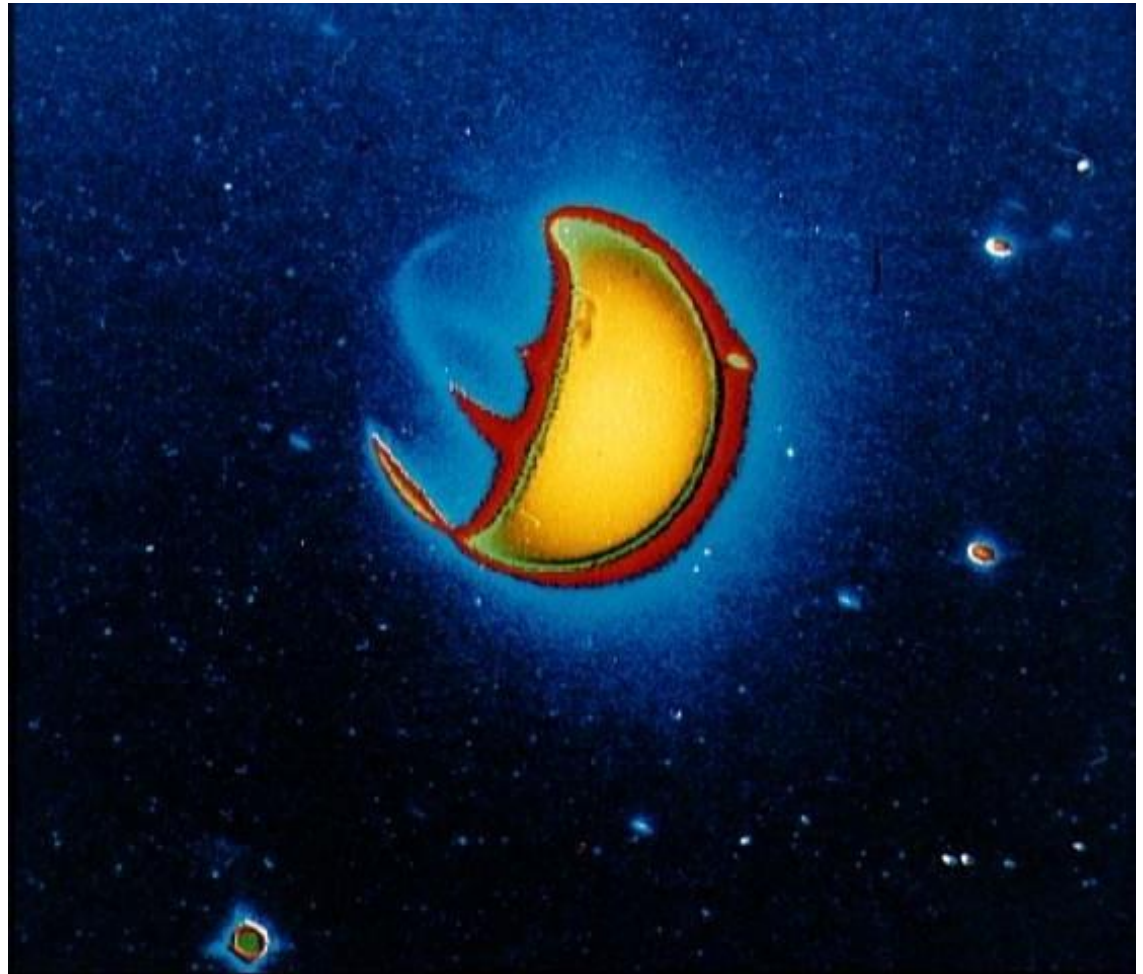
Bandas do Landsat-7 ETM+ e ASTER



***GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space
Monitoring the World's Changing Glaciers***
<http://www.glims.org/>

Imagem adquirida no ultravioleta

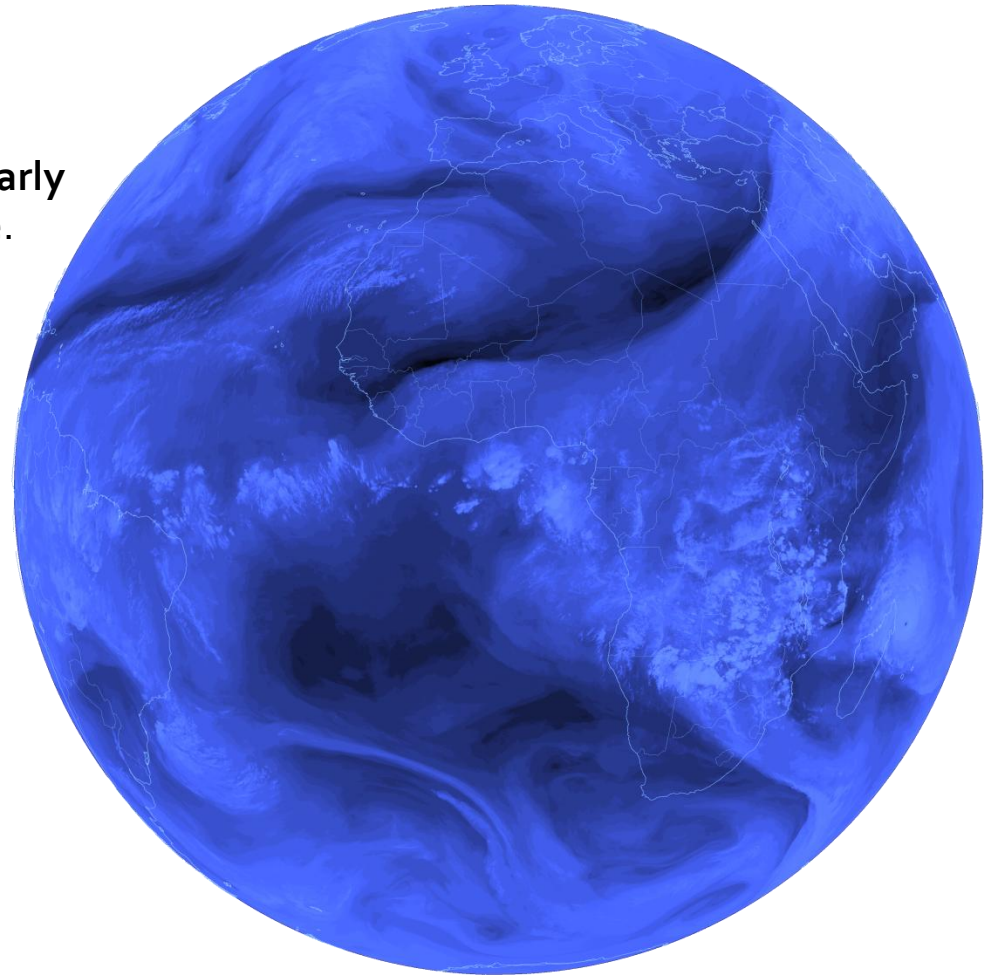
The right part of the earth is facing the sun. Structures on the earth surface are not visible since the UV radiation does not reach the ground but is reflected by particles in the outer atmosphere. The side facing away from the sun where UV is not expected to be seen shows filament-like structures of enhanced UV intensity which is due to an aurora from charged particles emitted by the sun and following the magnetic field lines surrounding the earth.



Ultraviolet image of the earth taken by the Apollo 16 astronauts in April 1972 with the Far UV Camera/Spectrograph deployed on the moon. Source: NASA.

Imagem adquirida em 6.2 μm mostrando o vapor de água

The spectral range around 6.2 μm is particularly sensitive to water vapour in the atmosphere. Sunlight is strong in the VIS but rather low in the IR. **This low intensity is strongly absorbed by water vapour, making the land and oceans virtually invisible.** At the same time water vapour re-emits radiation into space. Other atmospheric gases do not contribute to the same extent. Hence, the image depicts the distribution of water vapour which apparently follows large-scale patterns in the atmosphere.

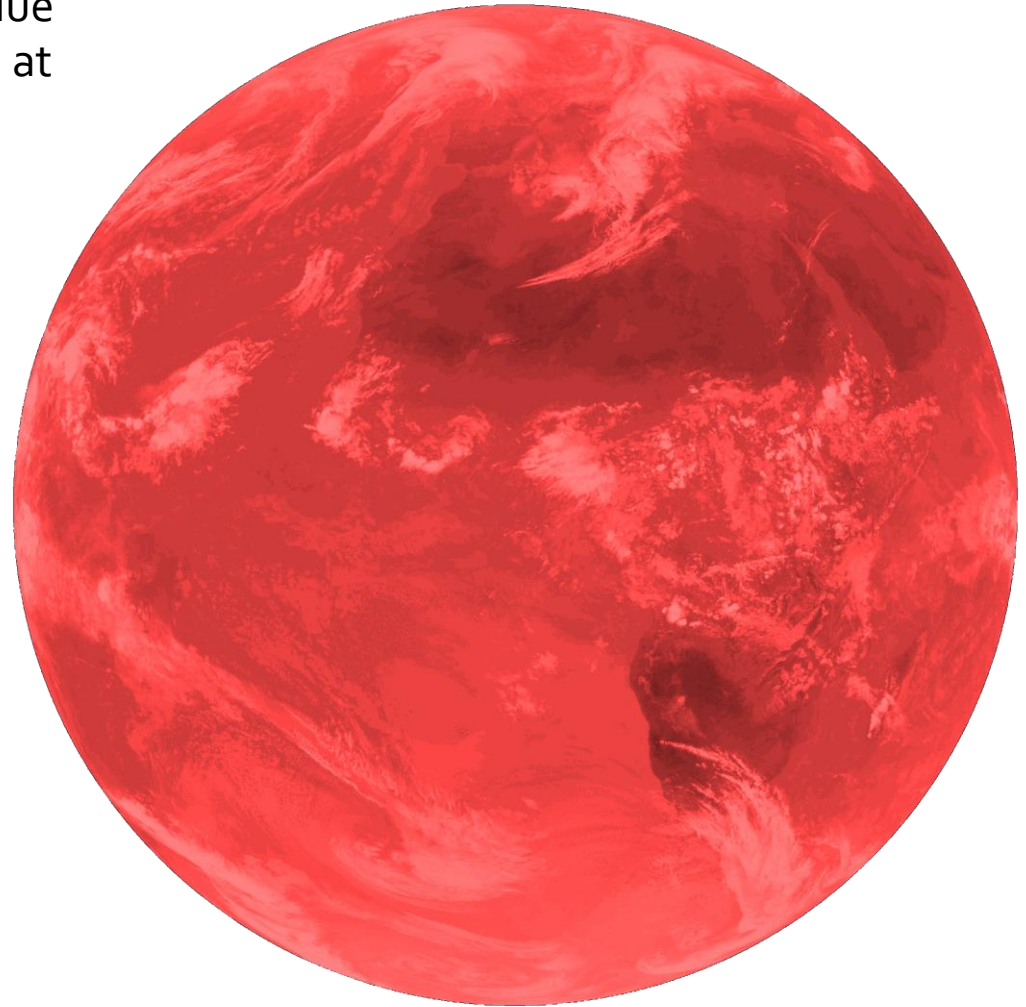


Meteosat-8 image of the earth at 6.2 μm wavelength, 6 March 2004. The earth is shown in blue colour, i.e., a false colour image. View this image also in black-and-white. Source: EUMETSAT.

http://lms.seos-project.eu/learning_modules/earthspectra/earthspectra-c01-p03.html

Imagem adquirida em 10.5-12.5 μm

Apparently the absorption of radiation due to water vapour and other gases is small at this wavelength, leading to a high transmission of the clear atmosphere. Aerosols such as dust and fog but also thin stratus clouds scatter radiation, which explains the low visibility of some regions in the image. **An important aspect is that the signal seen in clear atmospheric regions is not from reflected sunlight. Instead, it is the earth surface which emits the IR radiation measured by the satellite.** Its intensity depends on the temperature, thus making it possible to measure the temperature of land and ocean surfaces on global scales!

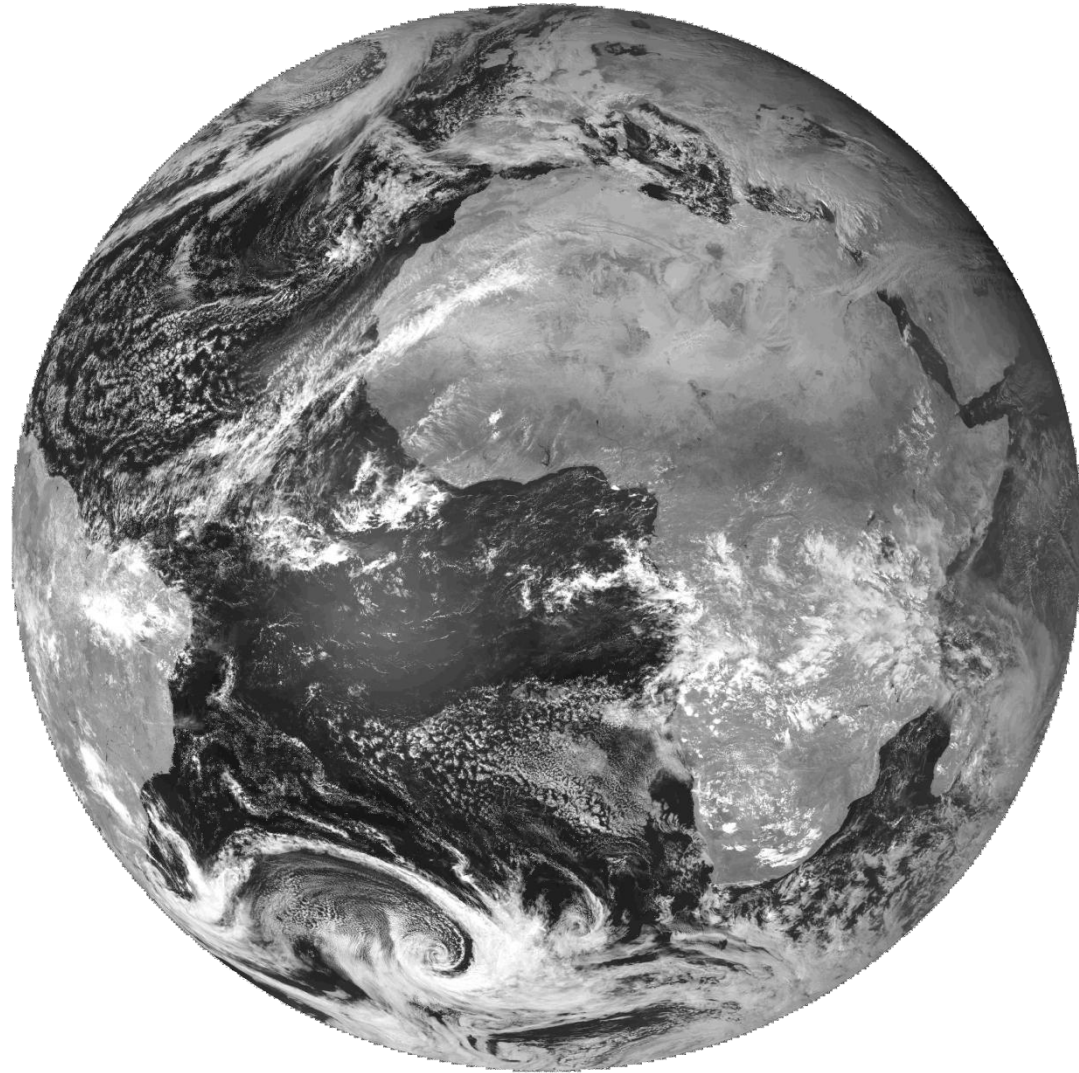


Meteosat-7 image of the earth at 10.5 - 12.5 μm wavelength, 20 October 1998.
View this image also in black-and-white. Source: EUMETSAT.

http://lms.seos-project.eu/learning_modules/earthspectra/earthspectra-co1-p04.html

Imagem adquirida em 800nm término do canal NIR.

The oceans appear dark since sunlight is more absorbed in water at this wavelength than in the visible. However, scattering in the atmosphere is much reduced, and therefore clouds and land surfaces are reproduced with high contrast.



Meteosat-8 image of the earth at 800 nm wavelength, 12 February 2003.

Source: [EUMETSAT](http://lms.seos-project.eu/learning_modules/earthspectra/earthspectra-c01-p03.html).

http://lms.seos-project.eu/learning_modules/earthspectra/earthspectra-c01-p03.html

Janelas Atmosféricas

São regiões do espectro eletromagnético onde a atmosfera é transmissiva a energia eletromagnética.

Os sensores a bordo dos satélites são planejados para operar nos comprimentos de onda com menor absorção atmosférica. Esses comprimentos de onda são denominados de *janelas atmosféricas*.