

# *Fundamentos de Sensoriamento Remoto*



Elisabete Caria Moraes (INPE)

Peterson Ricardo Fiorio

# *Processos de Transferência de Energia*



- Corpos com temperatura acima de 0 K emite energia devido às oscilações atômicas e moleculares
- A transferência de energia se dá por
  - Condução
  - Convecção
  - Radiação

# *Processos de Transferência de Energia por Condução*



- **CONDUÇÃO:** transferência de energia se dá através da matéria, porém sem movimento da matéria em si
  - **Aquecimento de barra de ferro**
    - O aquecimento das moléculas provoca uma forte agitação das moléculas. Através do contato entre as moléculas esta energia, em forma de calor, é propagada

# *Processos de Transferência de Energia por Convecção*

- **CONVECÇÃO:** transferência de energia ocorre através do movimento de massa da matéria. Este movimento se dá através da mudança de densidade do fluido
  - **Evaporação da água**

# *Processos de Transferência de Energia por Radiação*



- **RADIAÇÃO:** é o processo de conversão de energia interna da matéria em radiação eletromagnética e subsequente reconversão desta energia radiante e energia interna por absorção de uma matéria qualquer.
  - A propagação de energia por radiação não necessita de um meio físico e se dá através de ondas eletromagnéticas

# *Energia Eletromagnética*



- Todo corpo com temperatura acima de zero absoluto (0K) emite energia eletromagnética
- O Sol e a Terra são as duas principais fontes de energia para o sensoriamento remoto

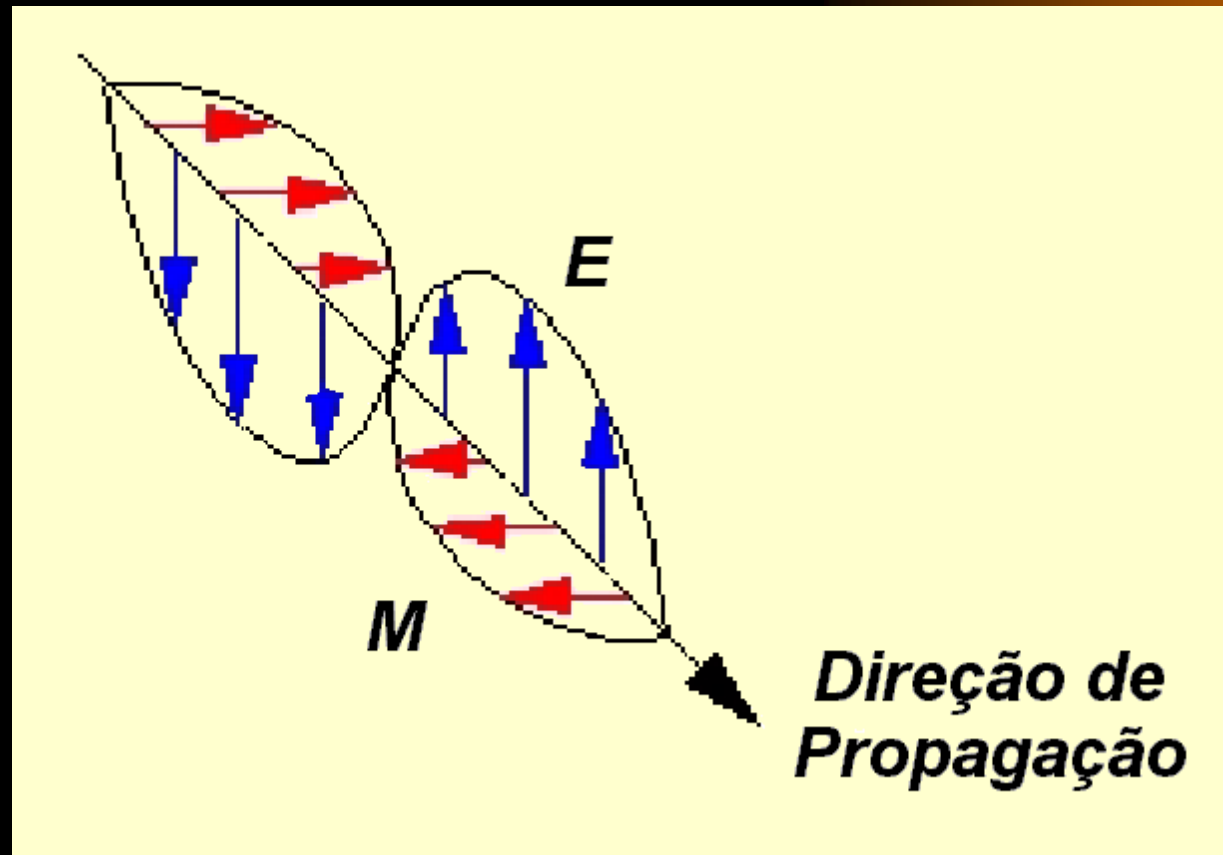
# *Teoria Ondulatória*



Uma partícula carregada eletricamente começa a vibrar e forma em torno de si um campo elétrico e um campo magnético, passando, então, a emitir radiação eletromagnética (REM).

Uma onda eletromagnética é composta de dois campos oscilatórios, um elétrico e outro magnético. Os campos são perpendiculares entre si e também perpendiculares à direção de propagação da onda

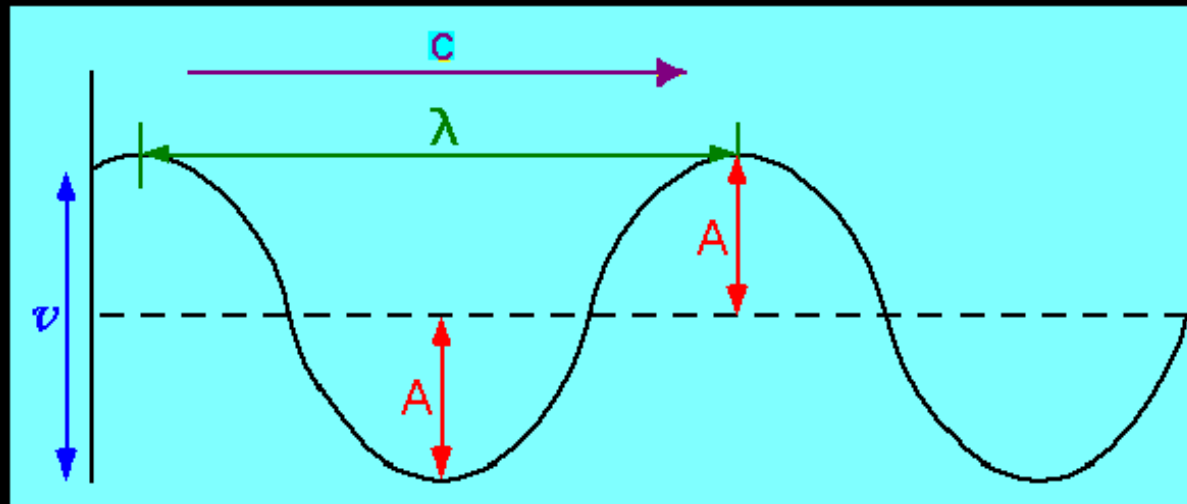
# *Propagação da Energia Eletromagnética*





# *Energia Eletromagnética*

- A energia eletromagnética se propaga na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz ( $c$ )



$$c = 300.000 \text{ Km/s}$$

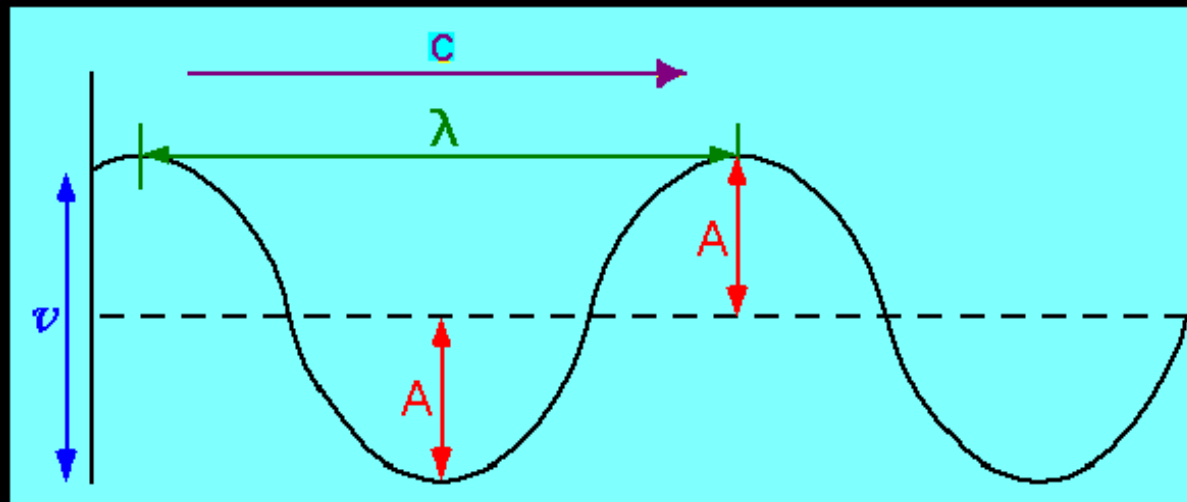
# Características da Onda

$$c = f \cdot \lambda$$

$c$  = velocidade da luz (m/s)

$\lambda$  = comprimento de onda (m)

$f$  = frequência (ciclos/s ou Hertz)



## Princípios Físicos do SR

### Radiação Eletromagnética (REM)

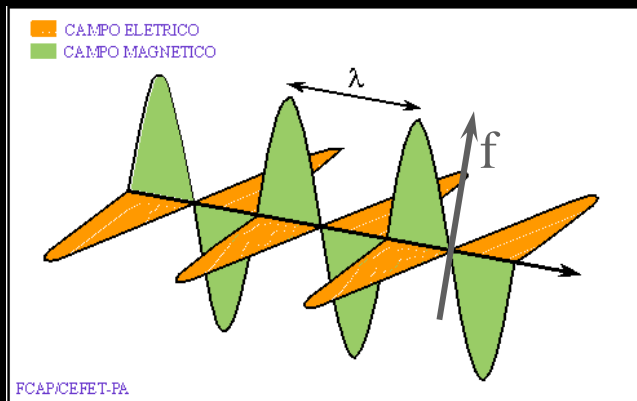
#### ⇒ Modelo Ondulatório (Maxwell, HooKe)

“a propagação da energia se faz através de movimentos ondulatórios, de um ponto a outro no espaço com velocidade  $3 \cdot 10^8$  m/s”

$\lambda$  - **Comprimento de onda:** é a distância entre dois máximos sucessivos  
(unidade metros)

$f$  - **Frequência:** é o numero de ondas que passam por um ponto do espaço num determinado tempo (unidade Hertz)

$C$  - **velocidade de propagação**



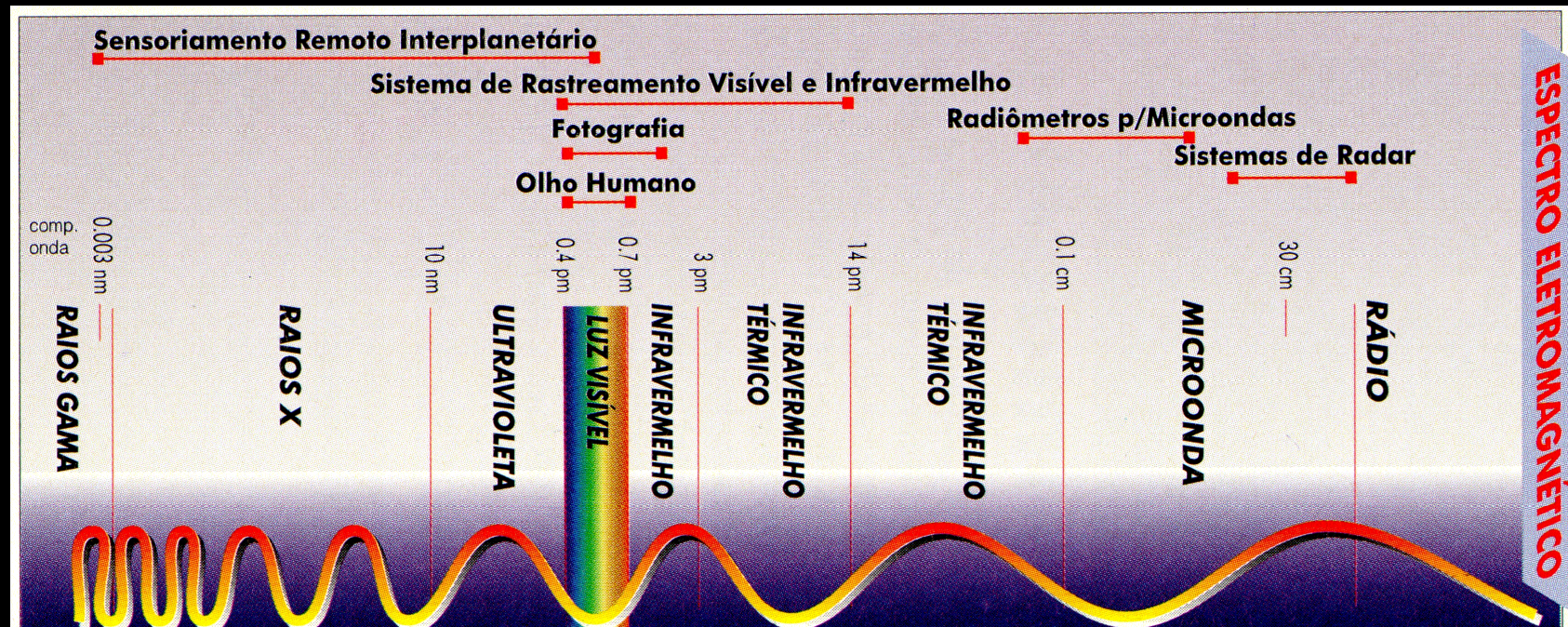
$$\uparrow \downarrow \lambda = \frac{C}{\downarrow \uparrow f}$$

## *Múltiplos do metro e do Hertz*

- milímetros:  $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$
- micrometro:  $1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$
- nanometro:  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$
- Angström:  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-4} \text{ mm}$
- quilohertz:  $1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$
- megahertz:  $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$
- gigahertz:  $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$

# Espectro Eletromagnético

Ordenação contínua da energia eletromagnética em função do comprimento de onda ou da frequência



Regiões espectrais de interesse do Sensoriamento Remoto

Ótico (0,3 - 15  $\mu\text{m}$ )

e

Microondas (0,3 - 100 cm)

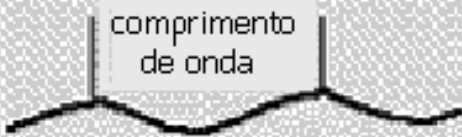







# *Regiões do Espectro Eletromagnético*



- Raios gamas
- Raios X
- Ultravioleta
- Visível (luz)
- Infravermelho
- Microondas
- Radio



# Tipos de Radiação

Tipo de radiação	Comprimento de onda relativo	típico (m)	Energia por onda ou fóton
onda de rádio		100	aumento
onda de TV		1	
microondas		$10^{-3}$	
ondas IR		$10^{-6}$	
Luz visível		$5 \times 10^{-7}$	
ondas UV		$10^{-7}$	
Raio X		$10^{-4}$	

# *Espectro Ultravioleta*

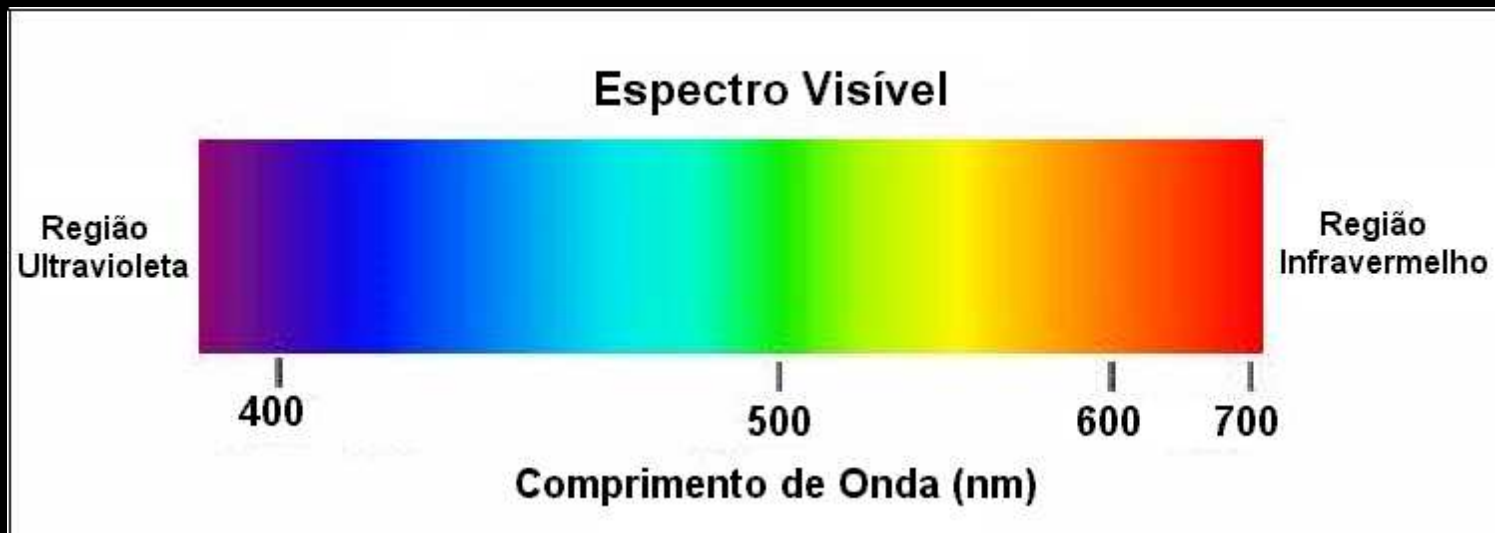


- UV próximo: 300 a 380 nm
- UV distante: 200 a 300 nm
- UV máximo: 100 a 200 nm



# *Espectro Visível*

- violeta: 390 a 455 nm
- azul: 455 a 492 nm
- verde: 492 a 577 nm
- amarelo: 577 a 597 nm
- laranja: 597 a 622 nm
- vermelho: 622 a 720 nm



# *Espectro Infravermelho*



- IV próximo: 0,7 a 3  $\mu\text{m}$
- IV médio: 3 a 6  $\mu\text{m}$
- IV distante: 6 a 1000  $\mu\text{m}$

# *Espectro do Microondas*



- *Microondas*: 1mm até cerca de 1m  
ou  
300GHz a 300MHz.
- são produzidas por sistemas eletrônicos  
(osciladores)

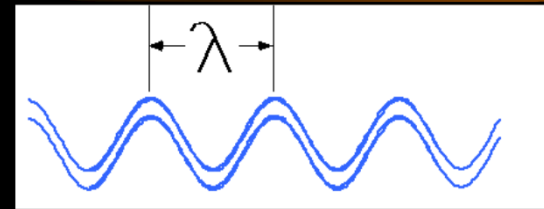
# *Espectro Eletromagnético*



- Espectro ótico ( 0,28 -15  $\mu\text{m}$ )
- Espectro Solar ( 0,28 - 3,0  $\mu\text{m}$ )
- Espectro Visível ( 0,4 -0,72  $\mu\text{m}$ )
- Espectro Termal ( 0,7 -1000  $\mu\text{m}$ )

# *Caráter dual da onda eletromagnética*

- Teoria ondulatória



- Teoria corpuscular:
  - A energia é transferida em forma de partículas ou pequenas quantidades discretas (quantum)
  - Quantum é a quantidade discreta de energia transportada por um fóton

## Princípios Físicos do SR

### Radiação Eletromagnética (REM)

#### ⇒ Modelo Corpuscular (Planck, Einstein)

“preconiza que a energia se propaga pela emissão de um fluxo de fótons que se movem a velocidade da luz no vácuo ( $3 \cdot 10^8$  m/s)”  
(processos de **absorção e emissão** da energia radiante)

$$E = h \cdot f$$

E - energia dos fótons

h - constante de Planck ( $6.626 \times 10^{-34}$  watts)

f - frequência

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E}$$

“quando a intensidade da radiação (energia incidente por segundo por unidade de área), de uma dada frequência é aumentada, mais fótons são recebidos por uma superfície, mas a energia de cada um deles não aumenta”

# *Energia Radiante*



- Quantidade de energia eletromagnética é a medida da capacidade da radiação de realizar trabalho físico, de aquecer um objeto ou causar mudança de estado da matéria

$$Q = h.f = h.c/\lambda$$

onde

constante de Planck

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

# *Fluxo Radiante ( $\phi$ )*

- É a quantidade de energia radiante que atravessa uma superfície na unidade de tempo

- Unidade: Watts

$$W = J/s$$

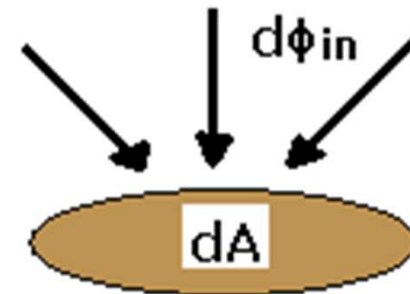




# *Irradiância ( E )*

- É a densidade de fluxo radiante incidente numa superfície por unidade de área da superfície
- Unidade:  $\text{W}/\text{m}^2$

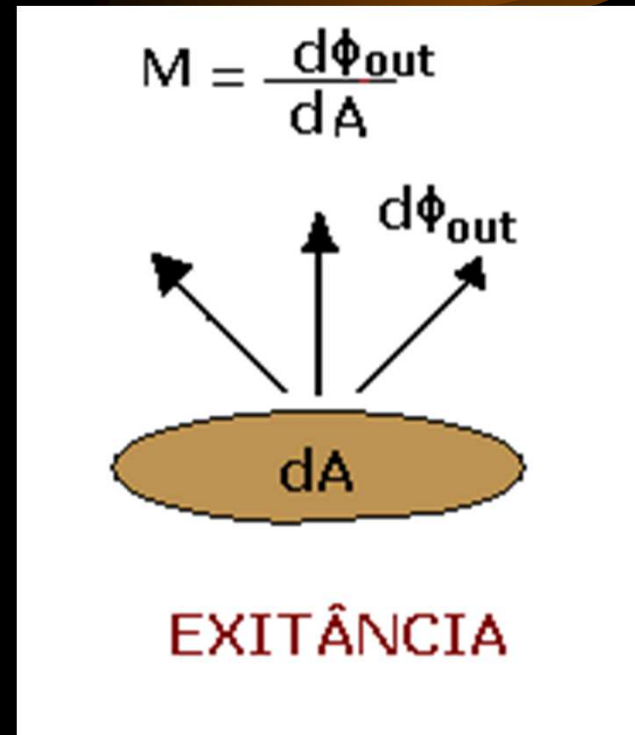
$$E = \frac{d\phi_{\text{in}}}{dA}$$



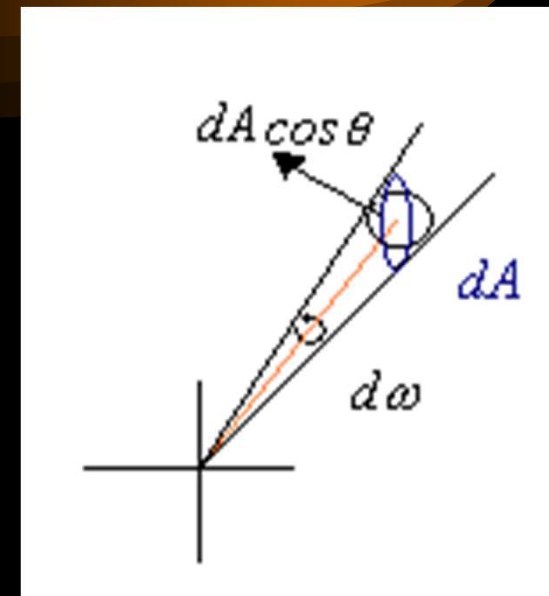
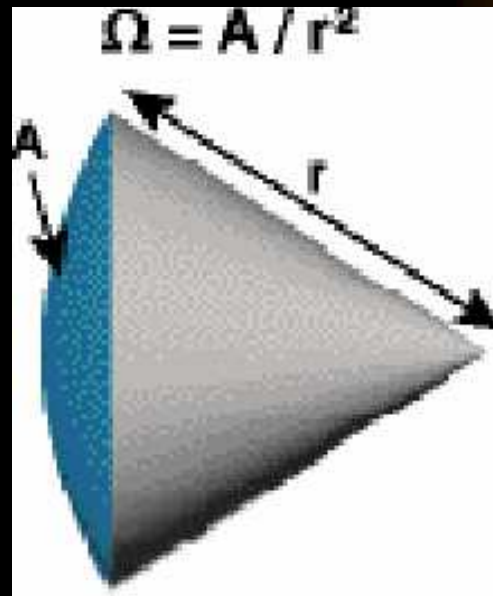
IRRADIÂNCIA

# *Exitância ( M )*

- É a densidade de fluxo radiante emergente de uma superfície por unidade de área desta
- Unidade:  $\text{W}/\text{m}^2$



# Ângulo sólido



$$d\omega = \frac{dA \cdot \cos \theta}{r^2}$$

# *Esferorradiano*

- 1 sr é o ângulo sólido subtendido por uma área na superfície da esfera, cuja área é igual ao quadrado do raio da esfera

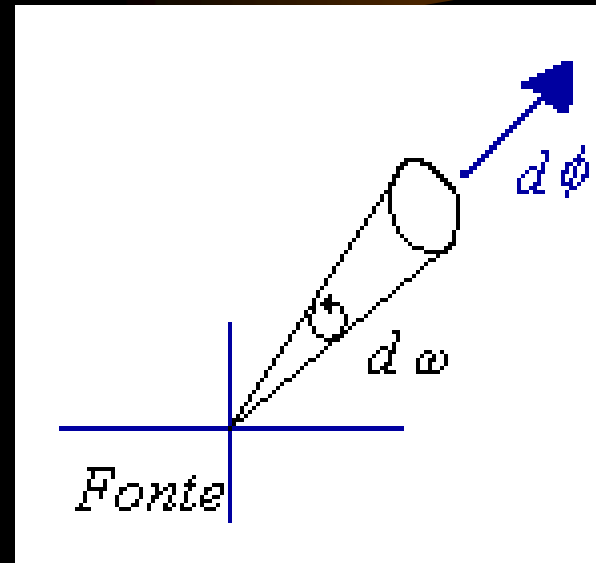
$$\omega = A/r^2$$

$$\rightarrow \omega = 1 \text{ sr}$$

$$A = r^2$$

# *Intensidade radiante*

- É o fluxo radiante irradiado de uma fonte pontual por unidade de ângulo sólido numa dada direção
- Unidade: W/sr

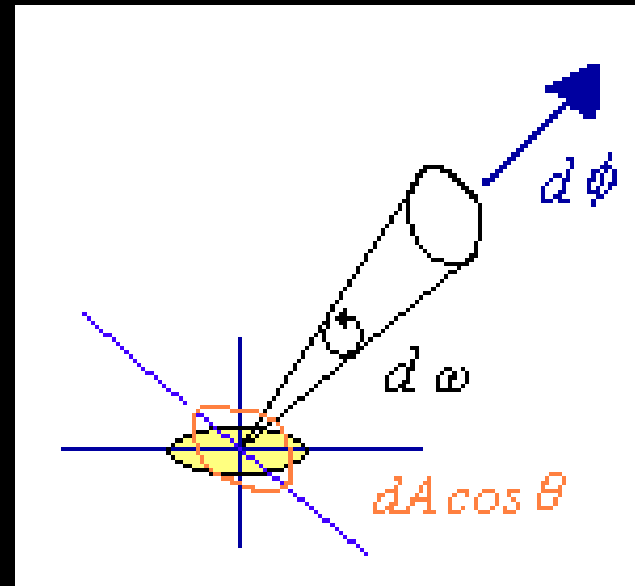


## *Radiância ( $L$ )*

- É uma grandeza radiométrica que descreve a distribuição da radiação no espaço.
- A radiância representa o **brilho** de um elemento de superfície. Sendo que, cada pixel da imagem representa a radiância média da cena contida neste pixel
- A radiância independe da distância alvo/sensor, enquanto o alvo for homogêneo

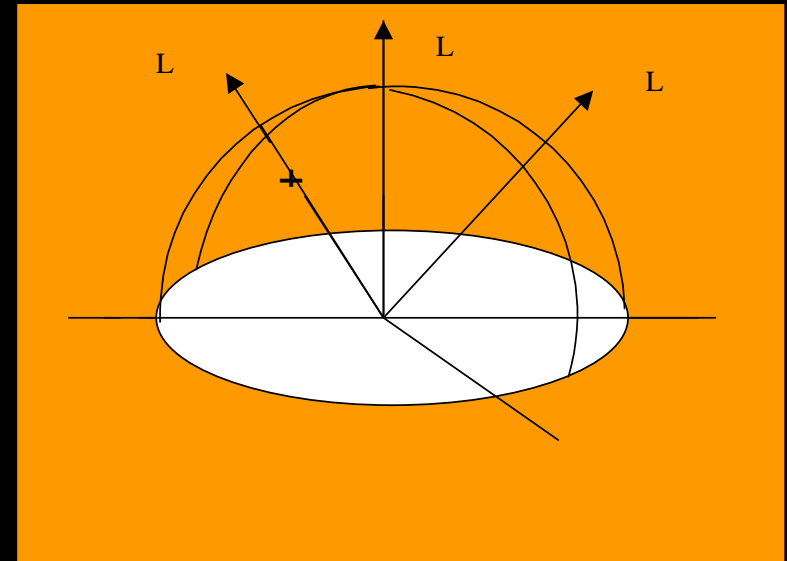
# Radiância ( $L$ )

- A radiância de uma amostra de superfície numa determinada direção é dada pela razão entre o fluxo radiante refletido ou emitido por unidade de área projetada e por unidade de ângulo sólido.



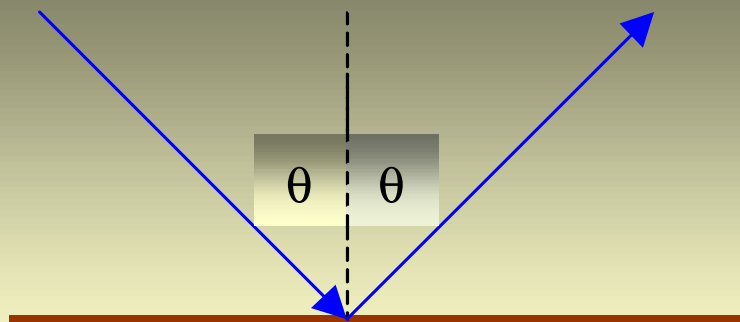
# *Superfície Lambertiana*

- É uma superfície abstrata que auxilia na compreensão dos fenômenos físicos/químicos, que rodeiam o Sensoriamento Remoto.
- Na realidade, Lambert definiu uma superfície perfeitamente difusa, cuja radiância ( $L$ ) é a mesma em todas as direções do hemisfério

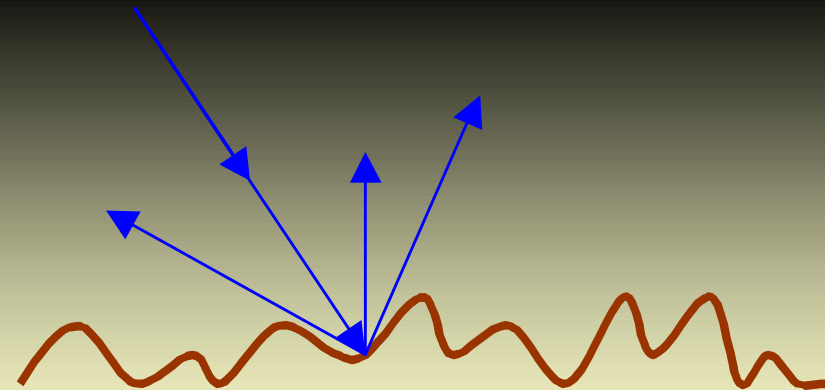




# Reflexão



REFLEXÃO ESPECULAR



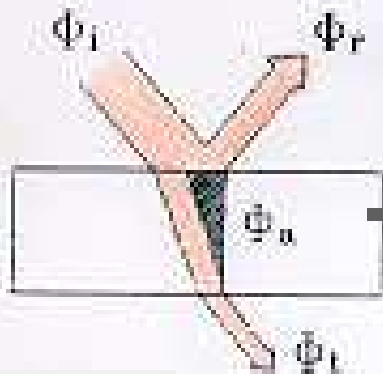
REFLEXÃO DIFUSA

## Princípios Físicos do SR

### Interação da energia eletromagnética com o objeto terrestre

→ absorção      → reflexão      → transmissão

Fluxo incidente = fluxo refletido + fluxo absorvido + fluxo transmitido



$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t$$

$$\Phi_i = \Phi_i + \Phi_i + \Phi_i$$

IR R G B



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

COMPRIMENTO DE ONDA

### Reflectância

A Reflectância é uma propriedade do alvo, não sendo possível de se medir com equipamentos comuns. Dessa forma, utiliza-se de um artifício matemático, para caracterizar a propriedade de um alvo) conhecido como Fator de Reflectância.

#### Fator de Reflectância

O fator de reflectância é uma relação existente entre a radiância do alvo e a radiância de uma placa padrão (Superfície Lambertiana - 100 % de reflectância)

## Princípios Físicos do SR

### Fator de Reflectância

$$FR = L_{\text{alvo}} / L_{\text{placa}}$$

L - radiância

$$\frac{\rho_a \cdot E_i}{\pi}$$
$$\frac{\rho_p \cdot E_i}{\pi}$$

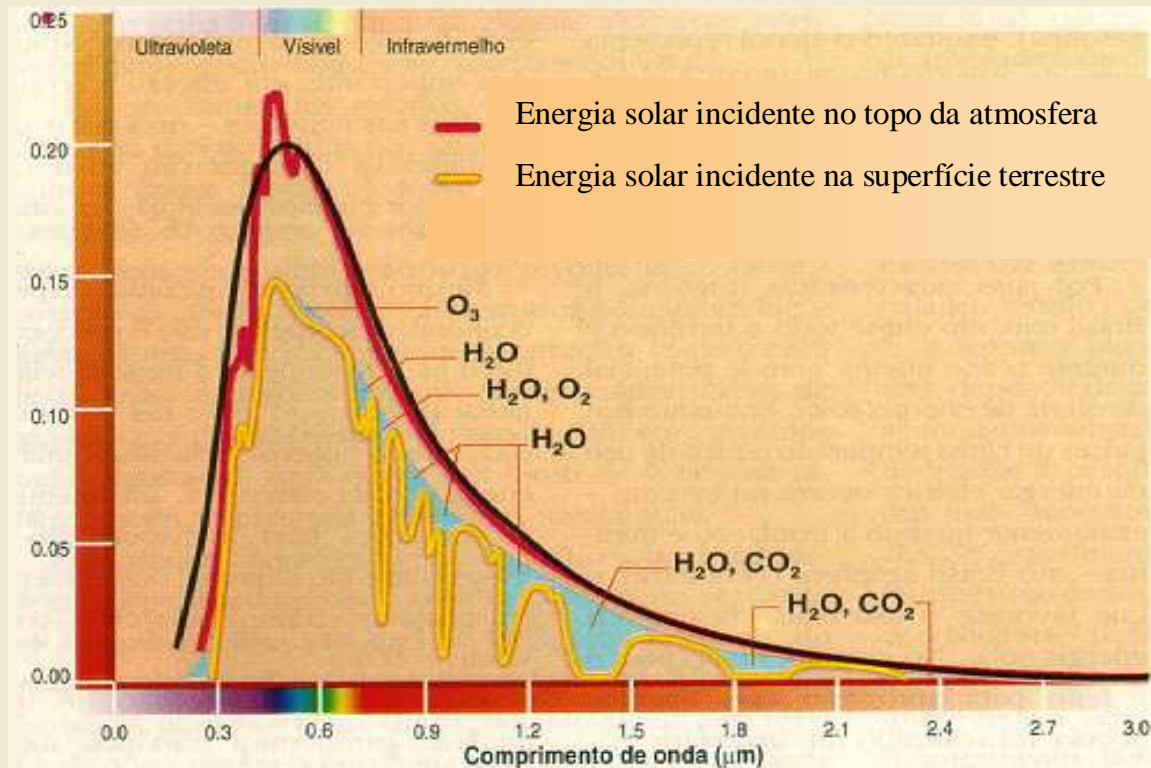
Para as mesmas condições de (geometria, iluminação e pequeno espaço de tempo) temos:

$$FR = \rho_a / \rho_p$$

$$FR \approx \rho_a$$

Placa (sup. Lambertiana):  
100% reflectância = 1


E  
n  
e  
r  
g  
i  
a  
  
I  
n  
c  
i  
d  
e  
n  
t  
e  
.  
A



## *Radiação solar*

- 99% da energia solar que atinge a Terra encontra-se na faixa de 0,28 a 4  $\mu\text{m}$ . (70%  $\rightarrow$  0,3 a 0,7  $\mu\text{m}$ )
- A máxima irradiância espectral ocorre em 0,55 $\mu\text{m}$ , que corresponde à máxima eficiência visual (cor verde);

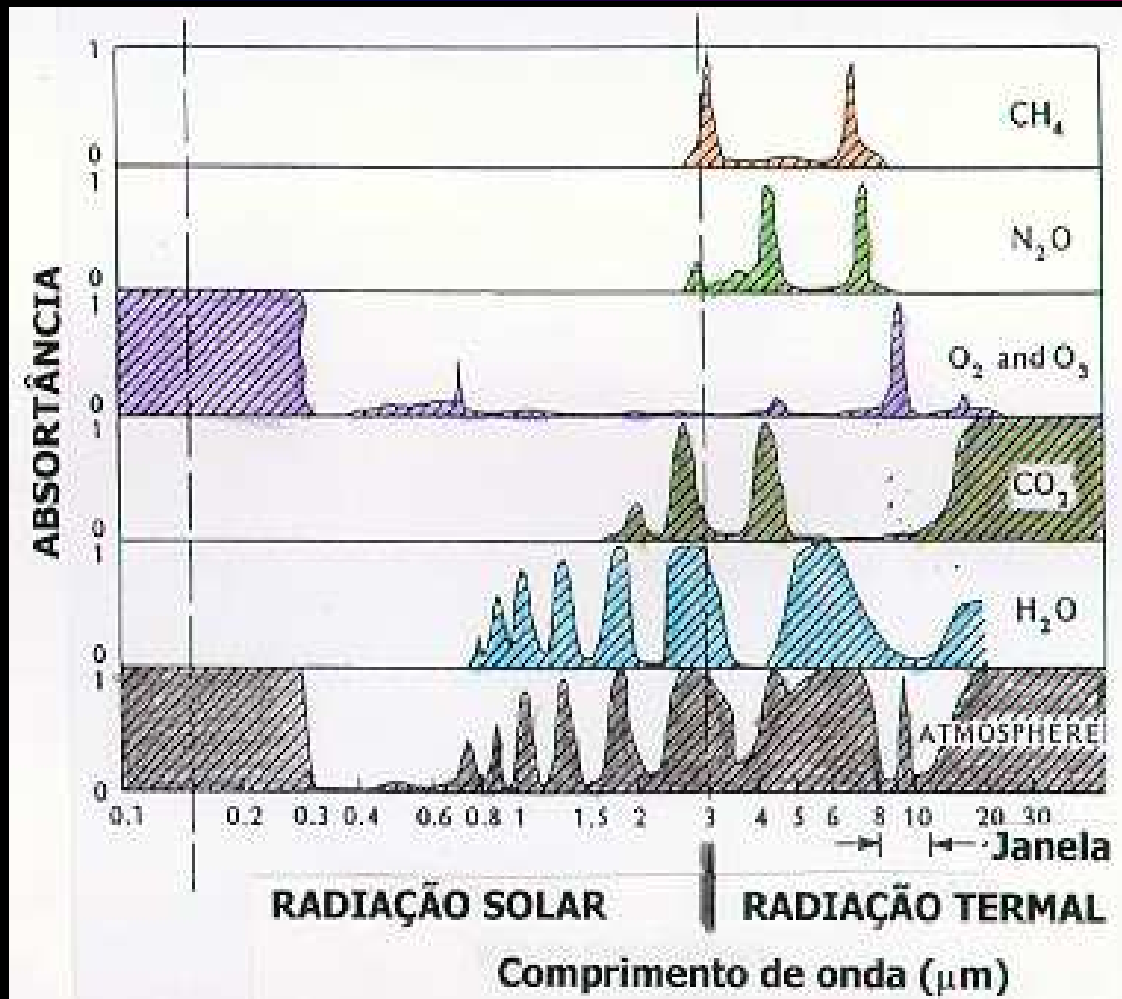
# *Atenuação Atmosférica*

- 
- A energia eletromagnética ao atravessar a atmosfera é absorvida, refletida e espalhada pelos gases presentes nela.
  - Os gases atmosféricos absorve espectralmente a REM.

# *Processos de Atenuação*

- **Absorção:** a REM é seletivamente absorvida pela atmosfera através de seus vários constituintes (ex.: ozônio, no visível)  $\Rightarrow$  janelas atmosféricas
- **Espalhamento:** a energia é modificada pela mudança de direção
  - a) Espalhamento molecular (ou Rayleigh) =  $\lambda \gg d$   
d = diâmetro da partícula  
espalhamento  $\sim 1/\lambda^4$
  - b) Espalhamento Mie:  
 $\lambda \sim d$  espalhamento  $\sim 1/\lambda^2$  ou  $1/\lambda$
  - c) Espalhamento não-seletivo:  
 $\lambda \ll d \Rightarrow$  todos os  $\lambda$ 's são espalhados igualmente

# *Gases Radiativamente Ativos*



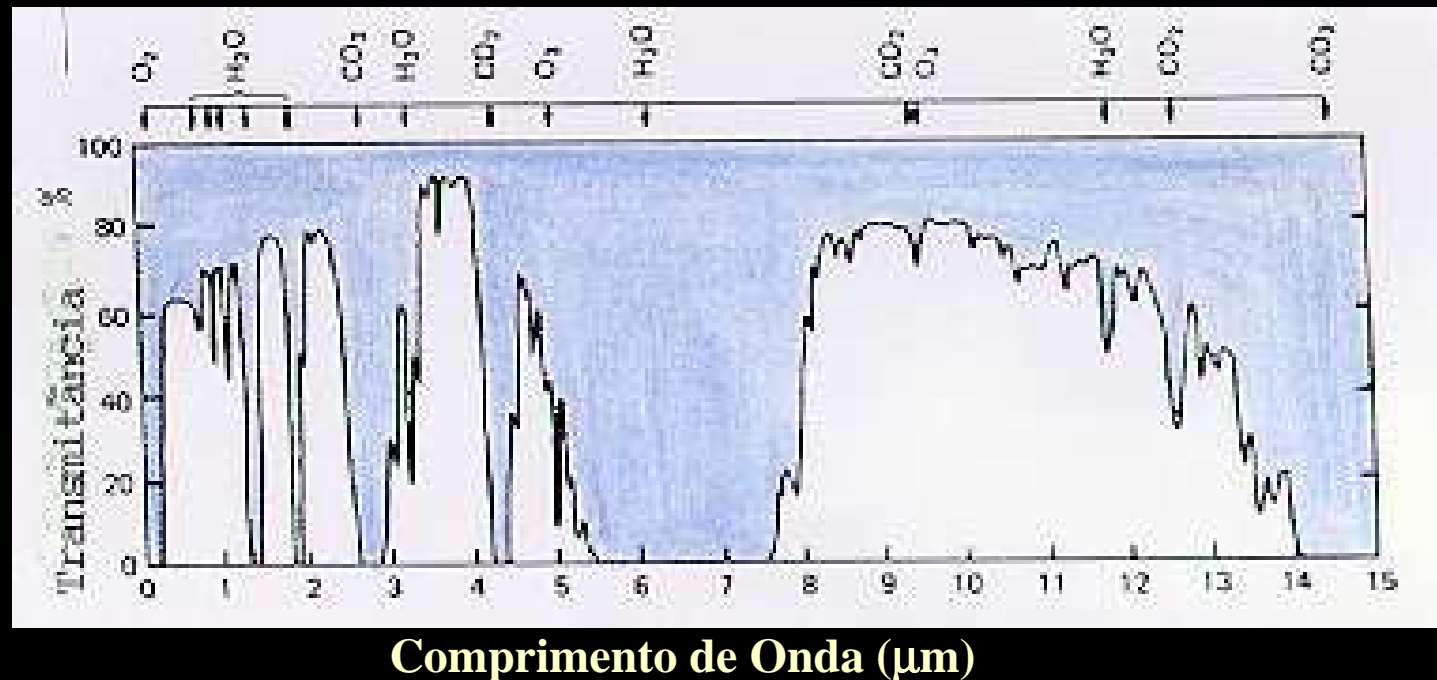
Atmosfera absorve toda a REM na faixa do IR acima de 14  $\mu\text{m}$



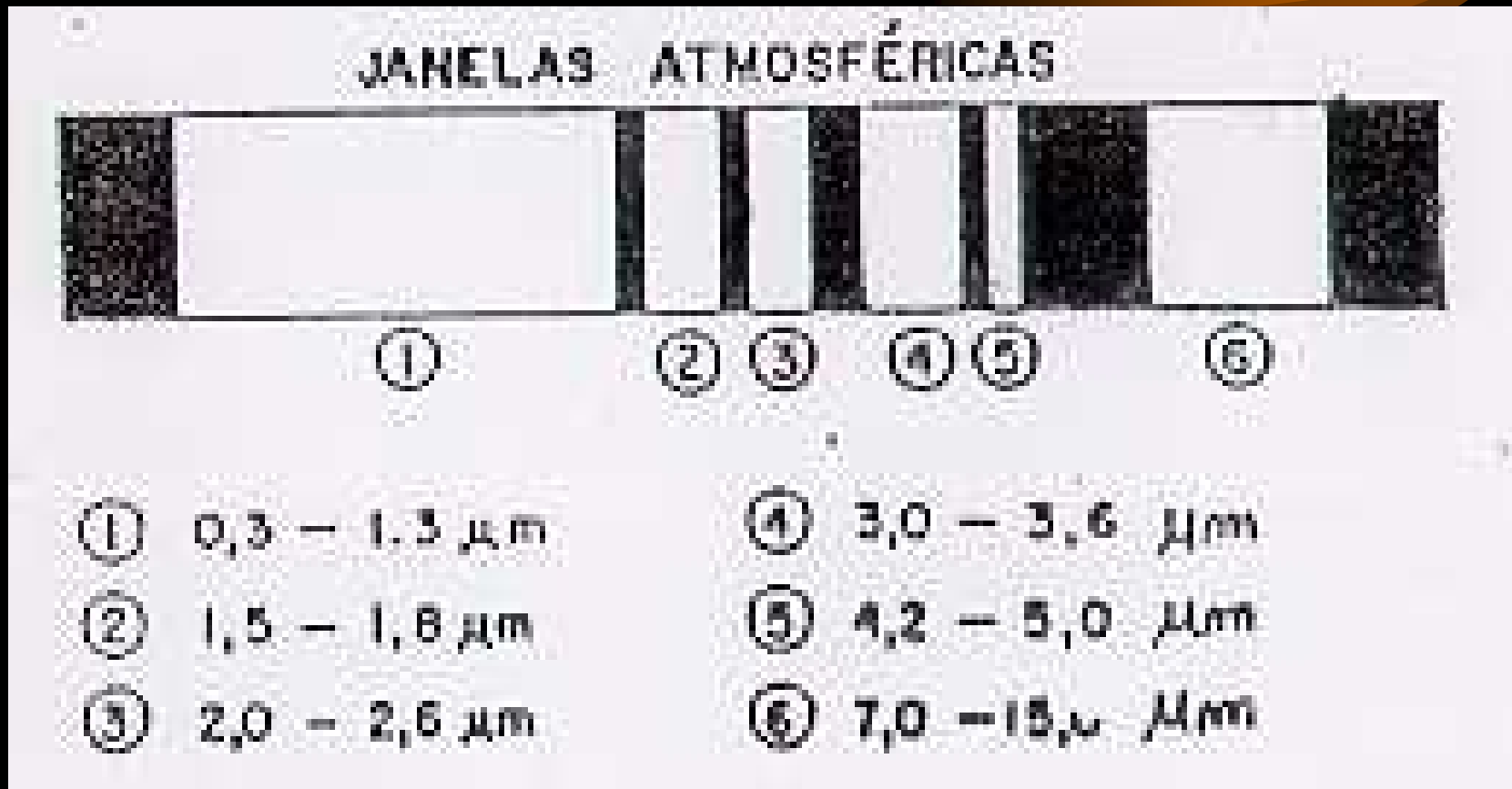
# Atenuação Atmosférica

**Janelas Atmosféricas:** regiões do espectro eletromagnético onde a absorção atmosférica é muito pequena. Nestas regiões a atmosfera é quase transparente à energia eletromagnética.

## Transmitância Espectral da Atmosfera Terrestre



# Janelas Atmosféricas



# *Manifestações da Interação*

## *REM x Atmosfera:*

- **Atenua e modifica a REM refletida ou emitida pelo alvo (ex.: H<sub>2</sub>O no IV)**
- **Espalhamento atmosférico**
- **Modifica a distribuição espacial e espectral da REM no alvo**

# *Interações da REM com a atmosfera*

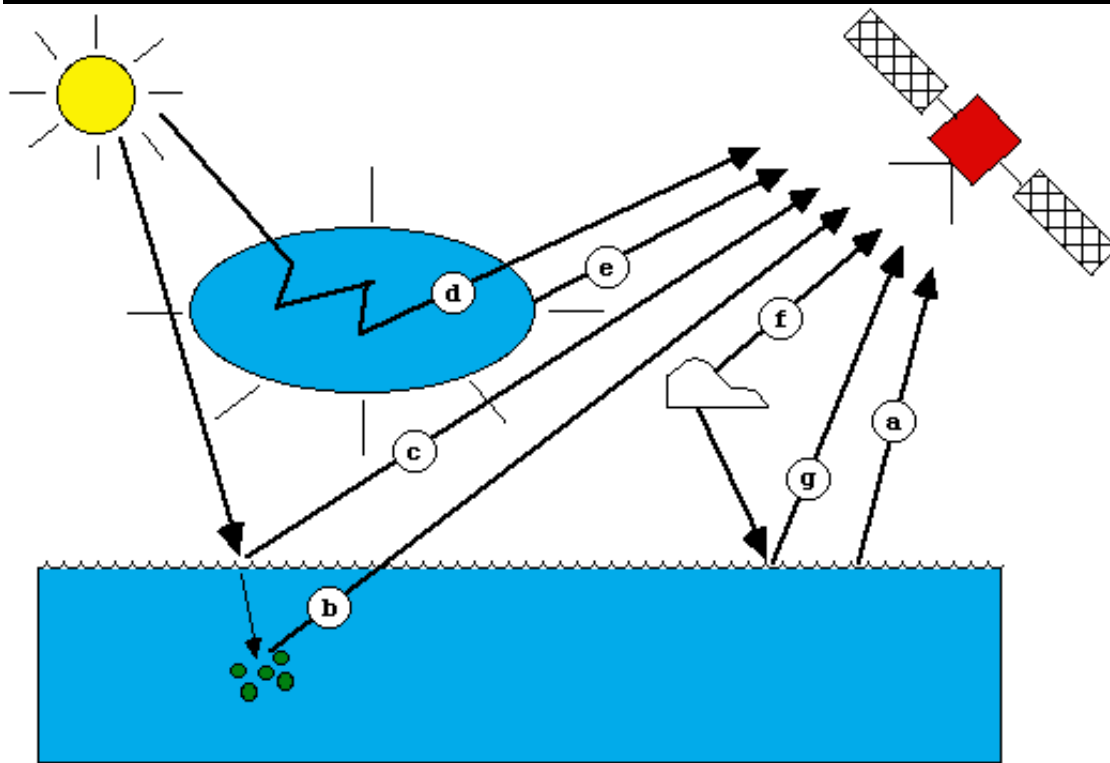


**SINAL COLETADO DO SENSOR**



**a radiação proveniente do Sol interage com a atmosfera até atingir o alvo e retorna ao sensor interagindo novamente com a atmosfera**

# Fontes de Energia Radiante Recebidas por um Satélite



- a) Emissão da Superf.
- b) Contribuição do oceano
- c) Energia solar Refletida
- d) Energia solar espalhada
- e) Emissão atmosférica
- f) Emissão das nuvens
- g) Reflexão da radiação emitida pela nuvem

**Não inclui emissão atmosférica:**

**h) Refletida e i) Espalhada**

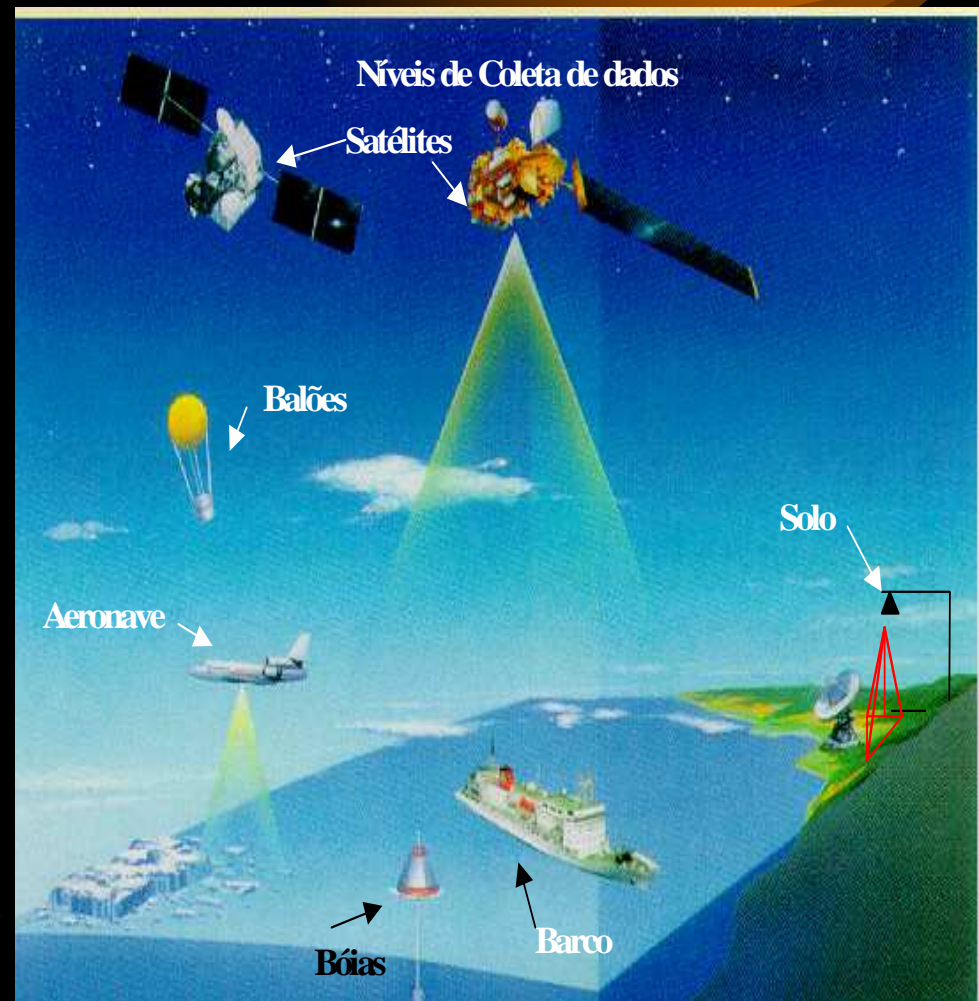
# Níveis de Coleta de Dados

- Nível orbital ou plataforma espacial
- Nível suborbital
  - plataforma aérea
  - plataforma terrestre
    - campo
    - laboratório

Importância da plataforma terrestre

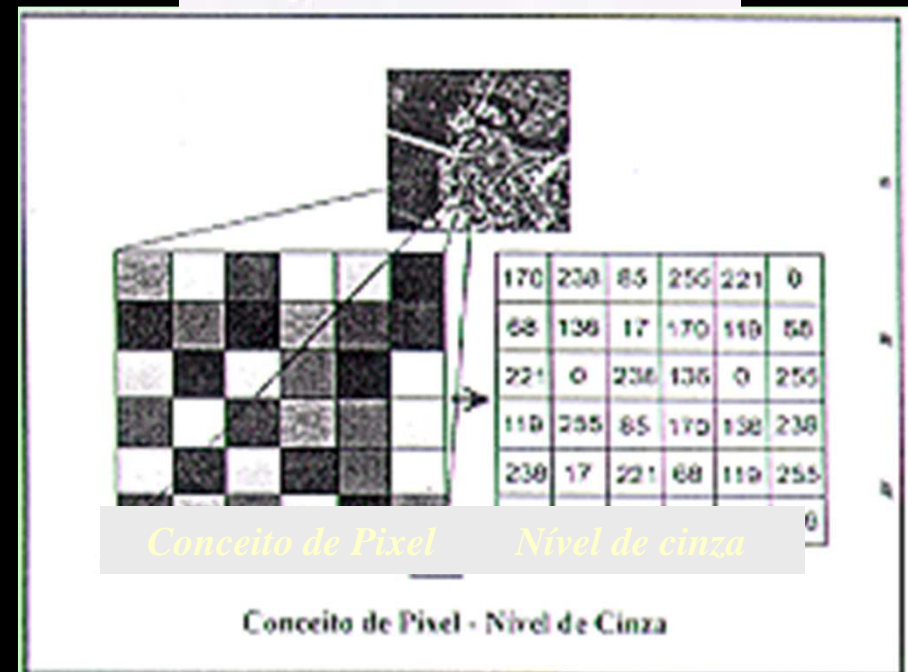
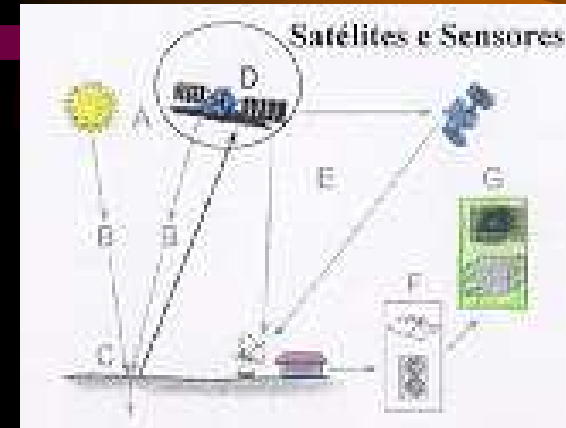
→ verdade terrestre para as outras plataformas

→ eliminação da atmosfera terrestre



# Plataforma Espacial

- Sistemas sensores a bordo de satélites artificiais.
- Cobertura repetitiva da Terra.
- Monitoramento dos recursos naturais de grandes áreas.
- Melhor relação custo/benefício



# APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO ESPECTRAL

BANDA	FAIXA ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )	APLICAÇÕES
<b>1</b>	<b>0,45-0,52(azul)</b>	MAPEAR ÁGUAS COSTEIRAS DIFERENCIAR: SOLO E VEGETAÇÃO DIFERENCIAR : CONÍFERA E DECÍDUA
<b>2</b>	<b>0,52-0,60(verde)</b>	MAPEAR VEGETAÇÃO QUALIDADE D'ÁGUA
<b>3</b>	<b>0,63-0,69(vermelho)</b>	ABSORÇÃO DA CLOROFILA DIFERENCIAR ESPÉCIES VEGETAIS ÁREAS URBANAS, USO DO SOLO AGRICULTURA QUALIDADE D'ÁGUA
<b>4</b>	<b>0,76-0,90(IR próximo)</b>	DELINEAR CORPOS D'ÁGUA MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO MAPEAMENTO GEOLÓGICO ÁREAS DE QUEIMADAS ÁREAS ÚMIDAS AGRICULTURA VEGETAÇÃO
<b>5</b>	<b>1,55-1,75(IR médio)</b>	USO DO SOLO MEDIDAS DE UMIDADE DE VEGETAÇÃO DIFERENCIAR NUVEM E NEVE AGRICULTURA VEGETAÇÃO
<b>6</b>	<b>10,40-12,50(IR termal)</b>	MAPEAR ESTRESSE TÉRMICO EM PLANTAS CORRENTES MARINHAS PROPRIEDADES TERMAL DO SOLO OUTROS MAPEAMENTOS TÉRMICOS
<b>7</b>	<b>2,08-2,35(IR médio)</b>	IDENTIFICAR MINERAIS MAPEAMENTO HIDROTERMAL



**BANDA 1**



**BANDA 2**



# **RIO DE JANEIRO**

Imagem gerada pelo INPE/DGI

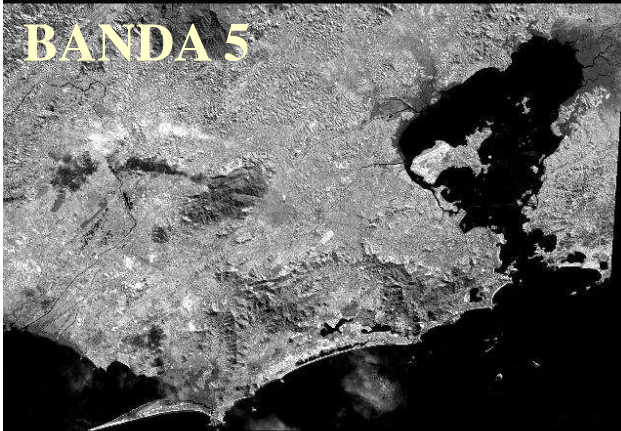
**BANDA 3**



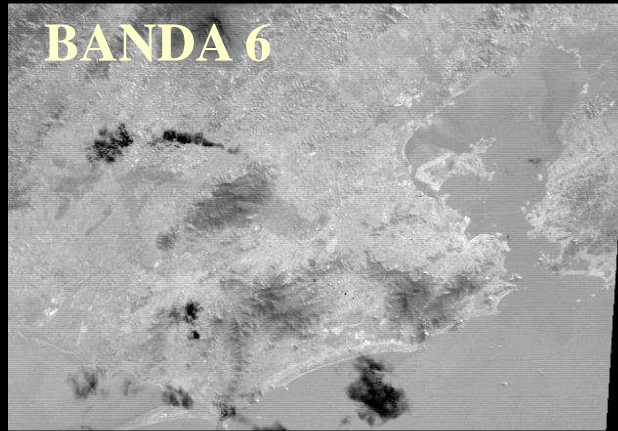
**BANDA 4**



**BANDA 5**



**BANDA 6**

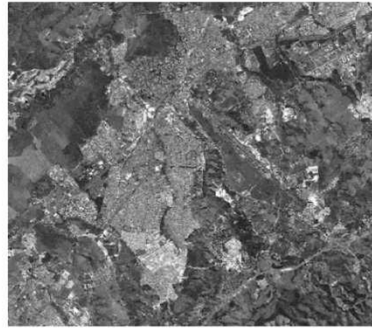


**BANDA 7**



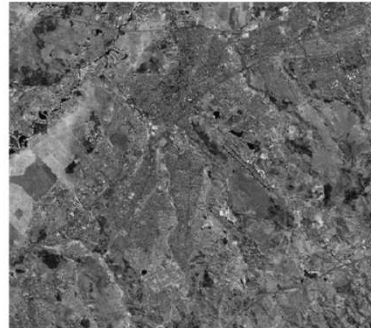


Banda 3  
Visível



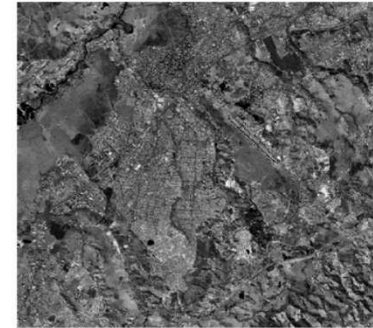
Filtro Azul

Banda 4  
Infravermelho



Filtro Verde

Banda 5  
Infravermelho



Filtro Vermelho

Banda 3,4 e 5



Colorida

# *COMBINAÇÃO DE BANDAS 3, 4, 5* *(azul, verde, vermelho)*



## **RIO DE JANEIRO**

Imagem gerada pelo INPE/DGI

Combinação de duas bandas no  
IR possibilita uma maior  
diferenciação entre solo e água.

**Tipos e condições de vegetações**

**Áreas urbanas e solos expostos**

**Água**

# COMBINAÇÃO DE BANDAS 1, 2, 3 (azul, verde, vermelho)



## RIO DE JANEIRO

Imagem gerada no INPE/DGI

**Realça informações sobre:**

- regiões de águas rasas;
- turbidez;
- correntes; e
- sedimentos em suspensão.

Áreas Urbanas

Vegetação



# *Imagens de Satélite*

## *Canal de São Sebastião*

LANDSAT5: TM 45-PAN

SPOT: RGB54-PAN



Imagens geradas no INPE/DGI



# *Imagens De Satélite* **Brasília**

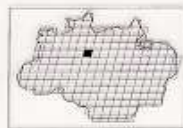


*Imagem SPOT PAN+XS da cidade de Brasília/DF*



# Imagens de Satélite

## Encontro dos Rios Negro e Solimões



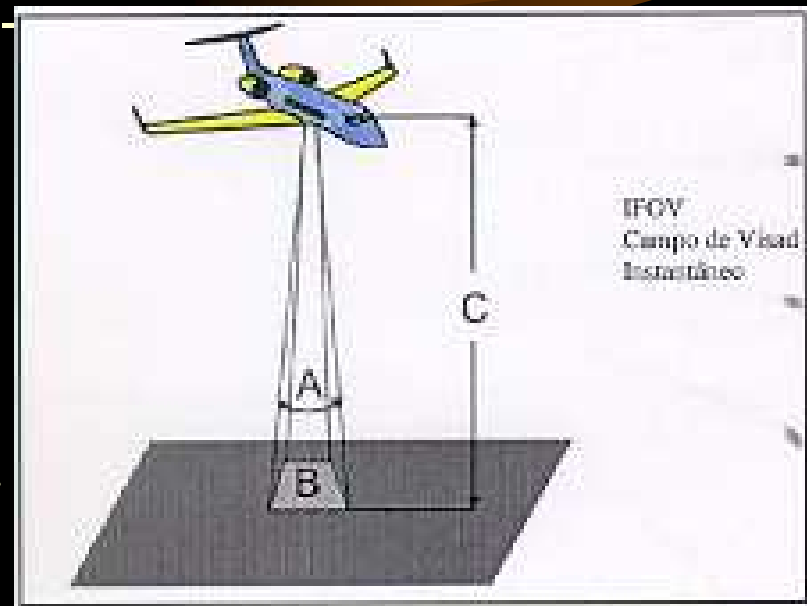
landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, de 15 de agosto de 1988, órbita / ponto 231/062  
landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, August 15, 1988, orbit / point 231/062  
landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, 15 août 1988, point orbite 231/062



landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, de 15 de agosto de 1988, órbita / ponto 231/062  
landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, August 15, 1988, orbit / point 231/062  
landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, 15 août 1988, point orbite 231/062

# Plataforma Aérea

- Aeronaves aéreas estáveis
- Sensores de varredura óptico-eletrônico; fotográficos, e/ou radar
- Possibilidade de:
  - ❑ coleta de dados e imagens muito detalhadas
  - ❑ obtenção de dados de qualquer local
  - ❑ obtenção de dados a qualquer hora
- Problema → custo





# *PLATAFORMA TERRESTRE*

- Campo ou Laboratório
- Sistema Sensor
  - espectroradiômetro
  - radiômetro
- Sistema sensor posicionado próximo ao alvo
  - tripé
  - mastro
  - andaime
  - torres
- Elimina o efeito da atmosfera
- Verdade Terrestre

