

# DETECÇÃO REMOTA MULTIESPETRAL



# Maxar and Ecopia roll out AI-powered Earth mapping system

The product, called Vivid Features, combines Maxar's satellite imagery archive with Ecopia's artificial intelligence software

by Sandra Erwin

September 17, 2025



Maxar and Ecopia mapped buildings, roads and land cover footprints across Reynosa, Mexico, on the southern border. With these vectors, authorities can establish a trusted "before" picture of the town, then quickly detect anomalies: new structures in unexpected places, unusual container activity or shifts in traffic patterns. Credit: Maxar Intelligence



WASHINGTON — Maxar Intelligence released a new mapping product developed with Ecopia AI that converts satellite imagery into detailed 2D and 3D maps. The product, called Vivid Features, combines Maxar’s satellite imagery archive with Ecopia’s artificial intelligence software to automatically identify and outline buildings, roads, vegetation, water bodies and other features.

Vector maps, unlike traditional raster images, represent the world using geometric shapes — points, lines and polygons — instead of pixels. They store location data as mathematical equations, making them more precise and easier to update. That precision is critical for everything from urban planning to defense operations, but keeping vector datasets current has historically been labor-intensive and slow.

Maxar and Ecopia say the partnership is focused on reducing those delays and inconsistencies.

“Mapmakers are stuck with laborious processes to update vector maps that reflect the ground truth, a process that takes days and misses critical developments,” Maxar said in a Sept. 17 release. “Maxar and Ecopia’s new Vivid Features product changes that completely by delivering precisely aligned vector maps that mapping systems and AI models can trust. Vivid Features maintains 3-meter accuracy across time, so when your AI flags a new building or road, you know it’s there.”



## AI automation

Ecopia, founded in 2013, specializes in using artificial intelligence to extract features from high-resolution satellite imagery and build what it calls a “digital twin of the Earth.” Its machine learning models can pick out and outline buildings, roads, vegetation, waterways and more with minimal human intervention.

By combining those algorithms with Maxar’s global satellite archive, the companies say they can automatically generate vector maps that update as the real world changes.

Maxar is also bringing software to the partnership, specifically fusion software that unifies imagery to the same level of accuracy (3 meters), a company spokesman said. “We apply that before the data goes into Ecopia AI’s mapping system, which then extracts just the vectors.” The fusion process ensures that the vectors that are produced through Ecopia’s software remain interoperable.

---

Meanwhile, the Sentinel-1 mission will continue to deliver a supply of radar images of Earth's surface, performing in all weathers, day-and-night. It makes a key contribution to Europe's Copernicus programme

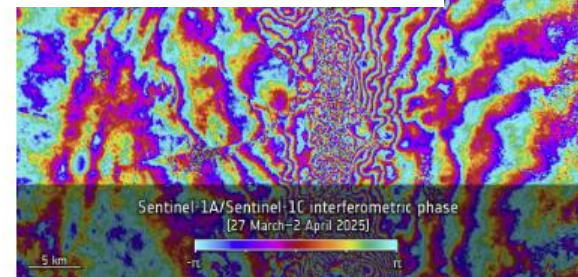
# Sentinel-1D in French Guiana for launch campaign

11/09/2025 4723 VIEWS 35 LIKES

- Measuring one of the biggest ever methane releases related to human activity

Sentinel-1D will continue this work and will now undergo a series of launch preparation activities to ensure it is ready for liftoff.

Ramón Torres, Sentinel-1 Satellite Mission Director at ESA, commented, "This time we are launching the fourth Sentinel-1 satellite, and last of the first generation, on an Ariane 6, which will be an important moment for the whole of our space community. To see this mission, the first of the Copernicus programme

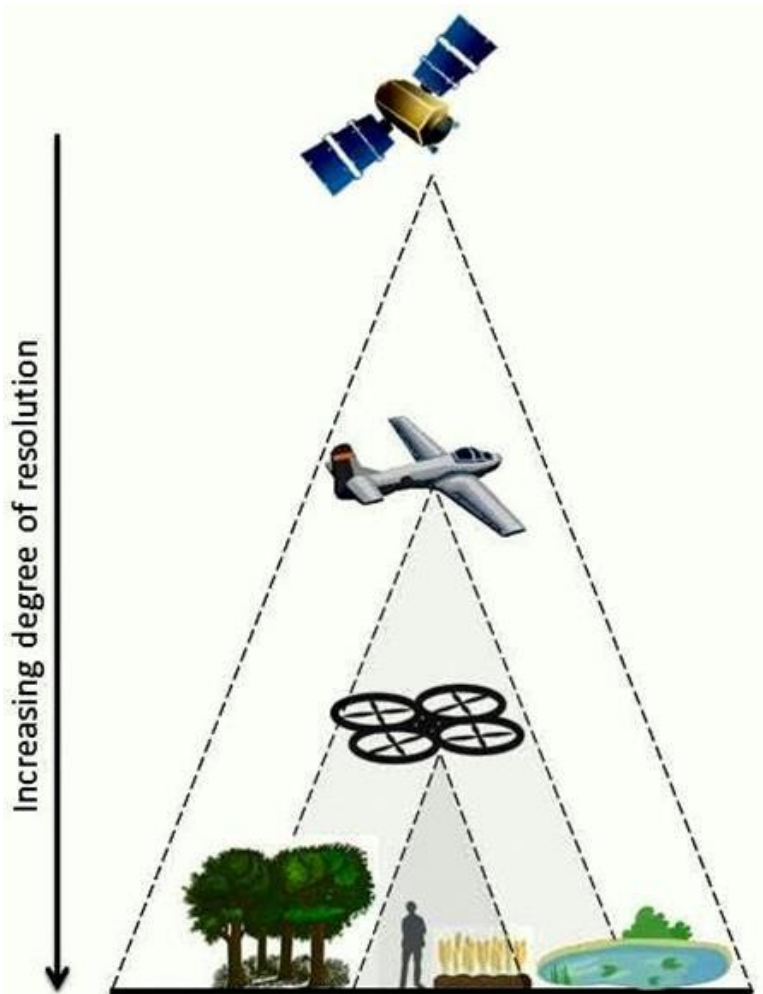


— Sentinel-1 interferogram of Myanmar earthquake

## Capitulo 1 – A Detecção Remota

- ☐ O que é a Detecção Remota
- ☐ Radiação Electromagnética
- ☐ Interação com atmosfera
- ☐ Interacção Radiação-Alvo
- ☐ Assinatura Espectral
- ☐ Detecção Passiva vs Activa
- ☐ Sensores Ópticos
- ☐ Características das imagens
- ☐ Resolução Espacial, Espectral, Radiométrica e Temporal
- ☐ Formato dos dados

# O que é a Detecção Remota?



A Detecção Remota é o processo de medição e monitorização das características físicas da superfície da Terra, sem estar em contacto com esta.

# A Detecção Remota

1+

Isto é conseguido por detecção e registo da radiação electromagnética (REM) reflectida ou emitida pelos objectos na superfície da Terra e transportada até ao sensor (em geral a bordo dum satélite ou avião).

This is done by sensing and recording reflected or emitted energy and processing, analysing, and applying that information

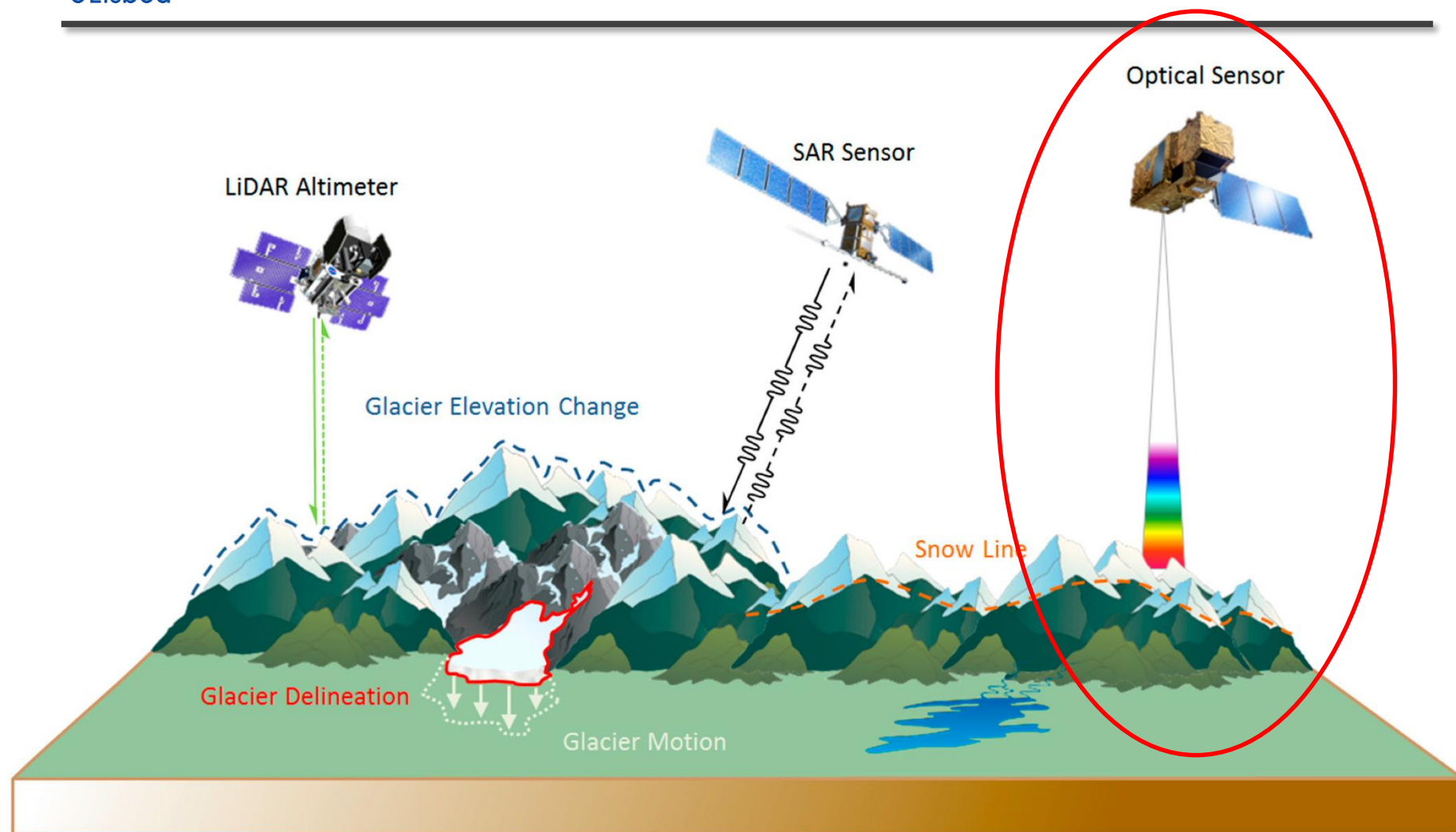
Os dados da Detecção Remota podem ser:

- ☐ medições discretas pontuais ou
- ☐ um varrimento (scan) ao longo de um percurso de satélite



Ciências  
ULisboa

# A Detecção Remota





Ciências  
ULisboa

# Detecção Remota : Motivação

Provides unique information to solve environmental, security and societal challenges on a global scale



Climate Change



Environment



Resources



Sustainable Development



Megacities



Mobility



Hazards



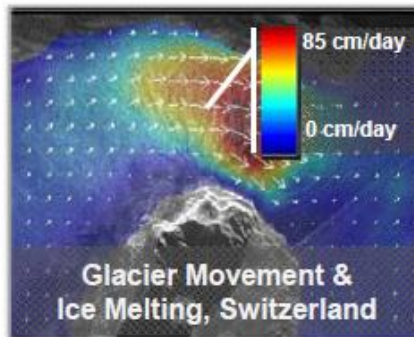
Disaster



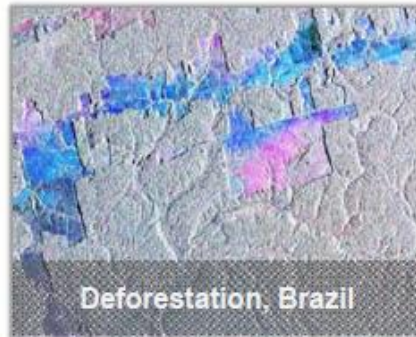
Ciências  
ULisboa

# Detecção Remota : Motivação

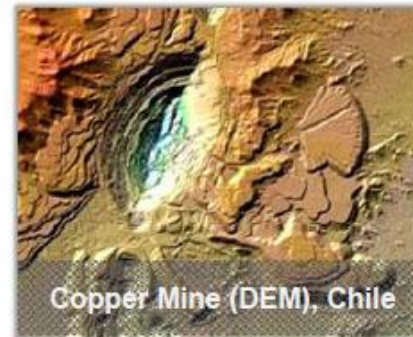
Fornece informação única para resolver os desafios ambientais, segurança e sociais de escala global



Climate Change



Environment



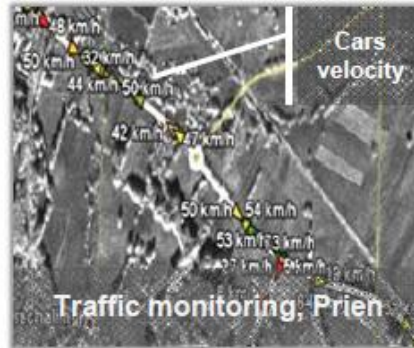
Resources



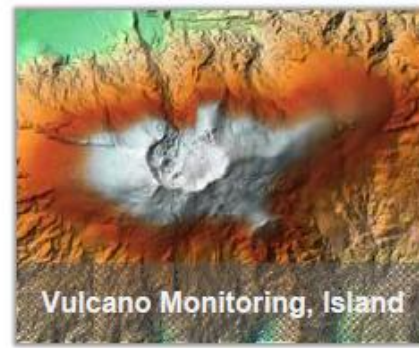
Sustainable Development



Megacities



Mobility



Hazards



Disaster

# Detecção Remota - Multispectral

- Measuring objects properties from distance with dedicated instruments

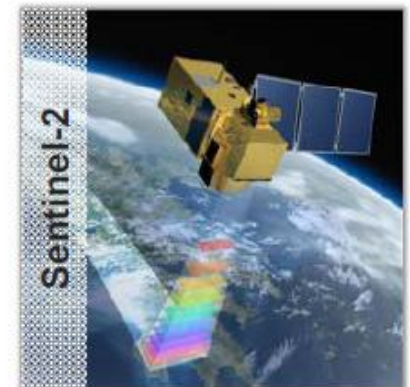
- Acquired information

- spatial (geometric resolution)
- spectral (frequency resolution)
- intensity (radiometric resolution)
- temporal (revisit time)



- Different types of remote sensing sensors:

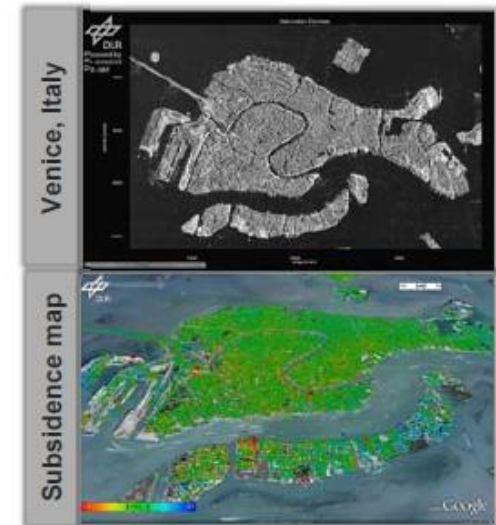
- Optical and infrared sensors
  - passive:
    - High-resolution
    - Multispectral, hyperspectral
  - active: Lidar



# Detecção Remota - Micro-ondas

Medição das propriedades dos objetos à distancia com instrumentos dedicados

- **Acquired information**
  - spatial (geometric resolution)
  - spectral (frequency resolution)
  - intensity (radiometric resolution)
  - temporal (revisit time)
- **Different types of remote sensing sensors:**
  - **Microwave sensors**
    - passive (radiometers)
    - active (radars)
      - Scatterometer, Altimeter
      - Synthetic Aperture Radar - SAR



A era moderna da Detecção Remota começou com o primeiro

**LandSat Multispectral Scanner System (MSS) em 1972,**

que forneceu pela primeira vez um conjunto consistente de imagens sinópticas de elevada resolução à comunidade científica mundial.

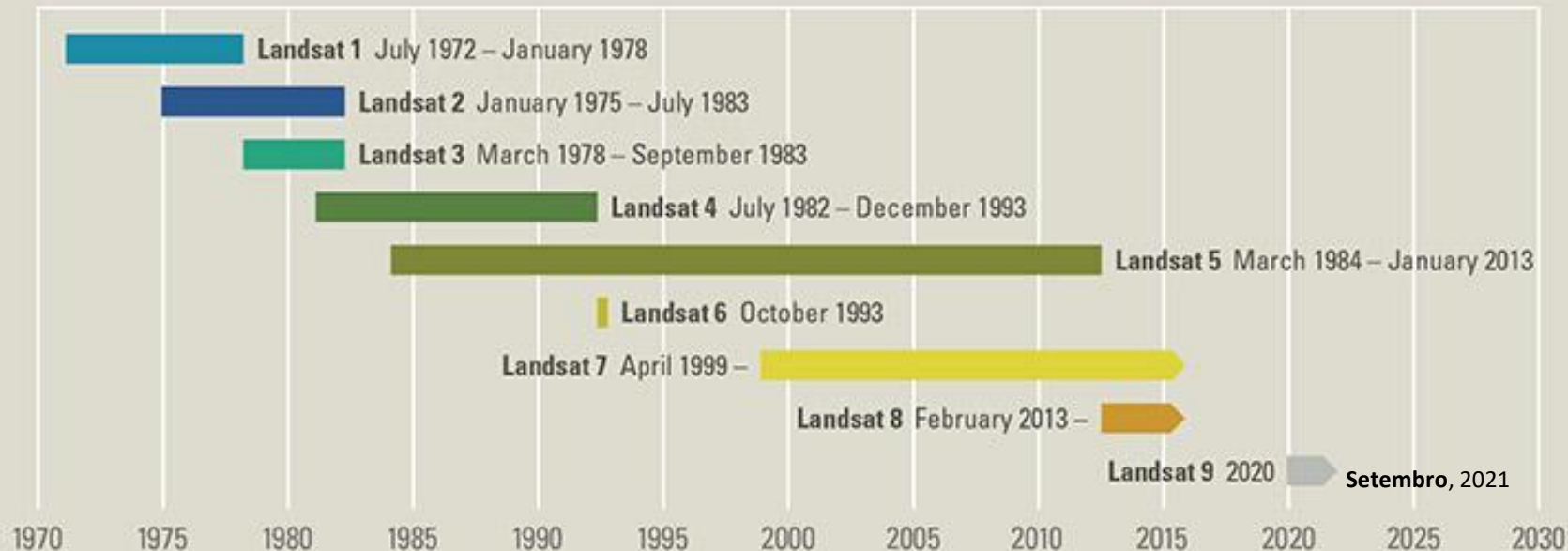
A principal característica deste sensor era a possibilidade de registar várias bandas espectrais (4 bandas, com 100 nm de largura cada) com uma resolução temporal de 18 dias.

Os dados eram adquiridos e difundidos pela primeira vez em formato digital.



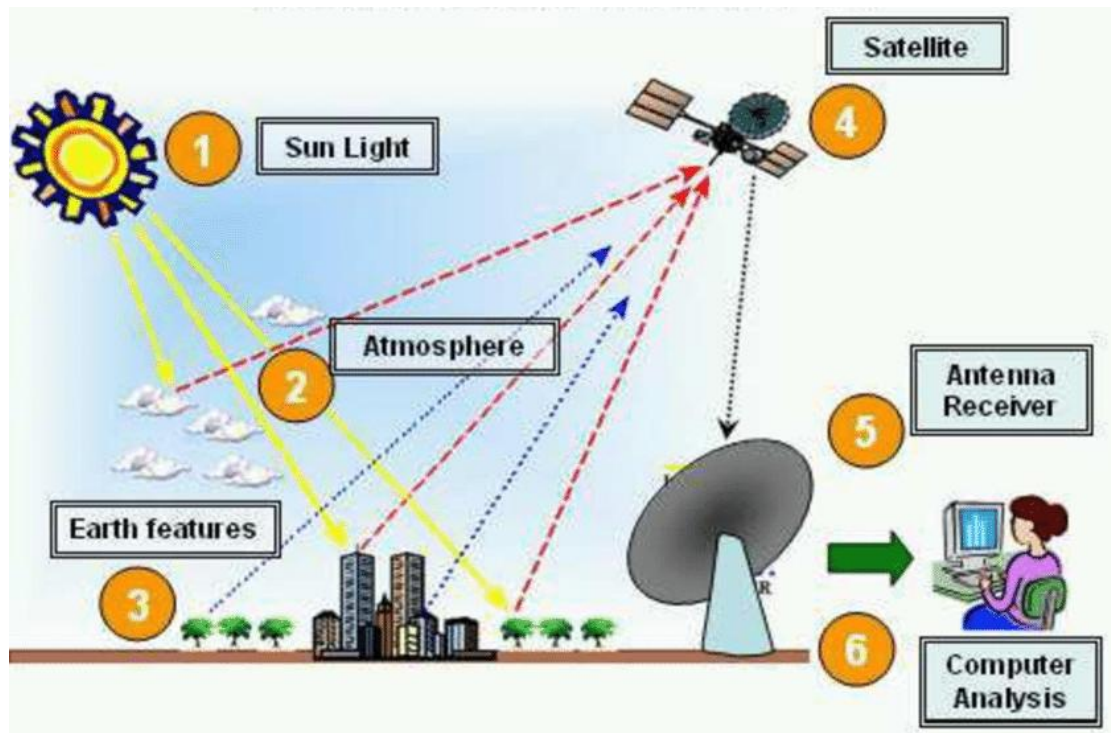
Ciências  
ULisboa

# LandSat



# Detecção Remota

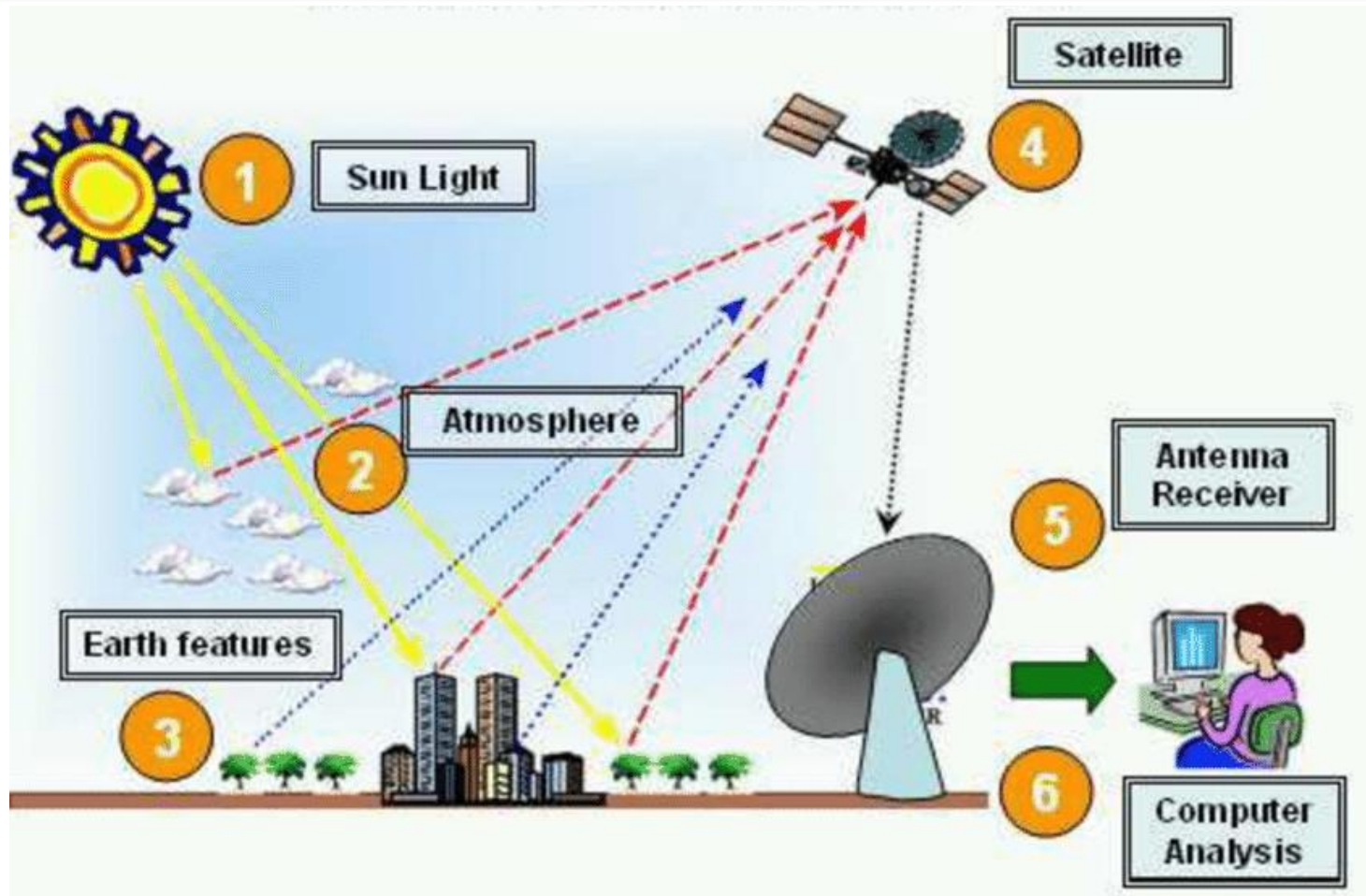
Em grande parte da Detecção Remota **o processo** envolve uma interacção entre a radiação incidente e os alvos de interesse.



Isto é exemplificado pelo uso de sistemas de imagem onde os seis elementos indicados na figura estão envolvidos.

Estes seis elementos compõem o processo de Detecção Remota do começo ao fim.

# Detecção Remota



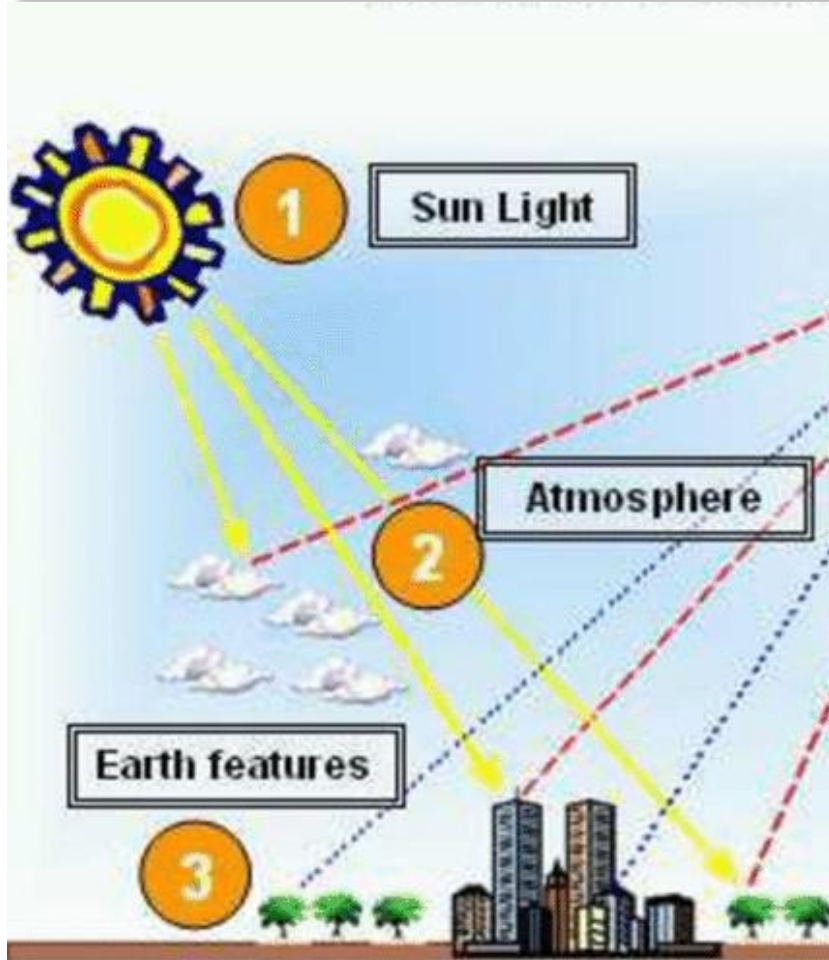
1: Fonte de energia

2: Interação com atmosfera

3: Interação com alvo

4: Registo da energia pelo sensor

# Radiação Electromagnética



O primeiro requisito para a detecção remota é a existência de uma fonte de energia para iluminar o alvo

(a menos que a energia seja emitida pelo alvo).

A propagação da energia é efetuada sob a forma de radiação electromagnética.

# Radiação Electromagnética

A propagação é feita à velocidade da luz sob a forma de um campo eléctrico e magnético que constituem uma onda eletromagnética .

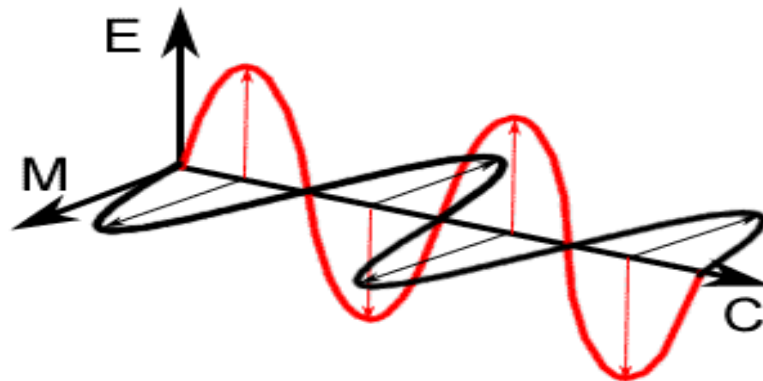
## Campo Eléctrico

Que varia em magnitude numa direcção perpendicular à direcção de deslocamento da radiação

Ambos se deslocam à velocidade da luz ( $c$ ).

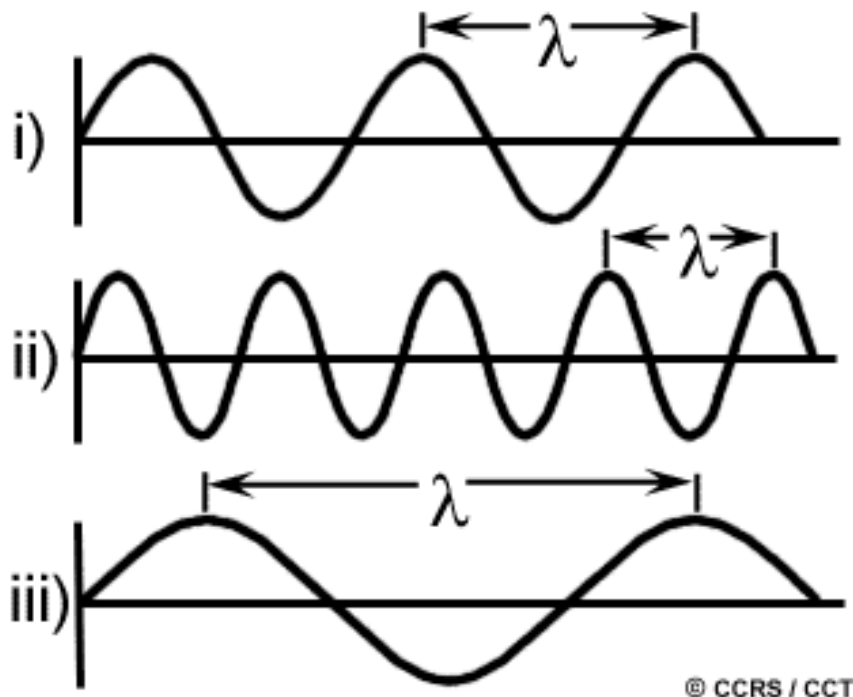
## Campo Magnético

Orientado perpendicularmente ao campo eléctrico.



# Radiação Electromagnética

Duas características da radiação electromagnética são particularmente importantes para a compreensão da Detecção Remota. São elas:



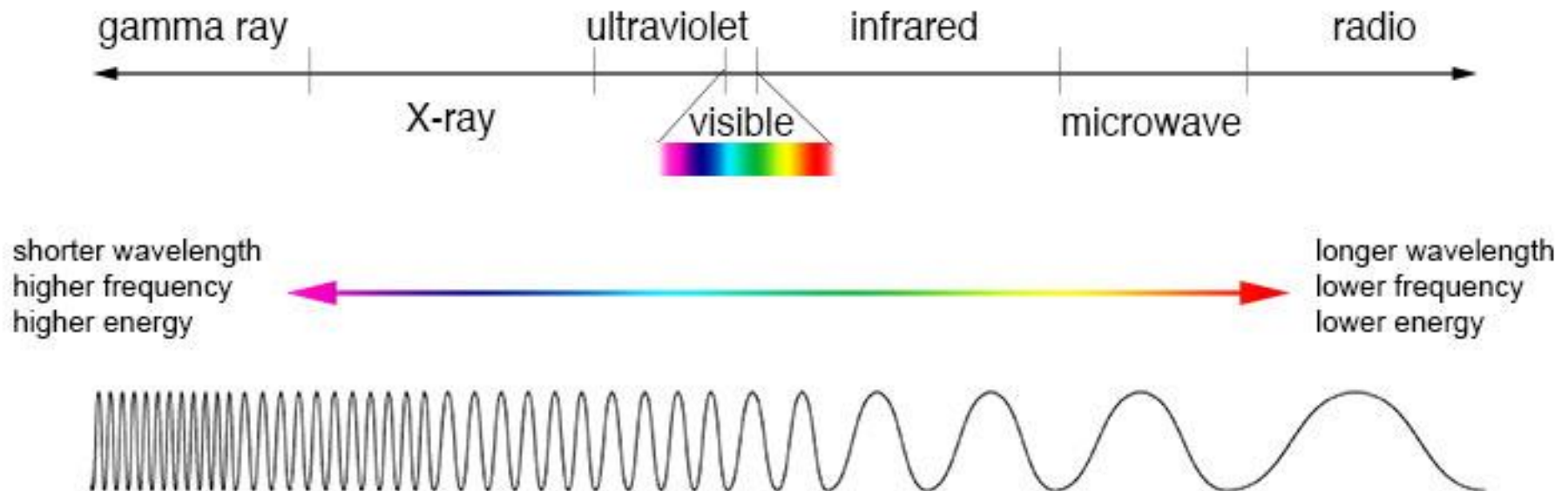
**Comprimento de onda  
( $\lambda$ )**

nanómetro (nm,  $10^{-9}$  m),  
micrómetro ( $\mu\text{m}$ ,  $10^{-6}$  m)

**Frequência  
( $f$ )**

1 ciclo por segundo  
Hz ( $\text{s}^{-1}$ )(kHz, MHz, GHz)

# Espetro eletromagnético



$$c = \lambda f$$

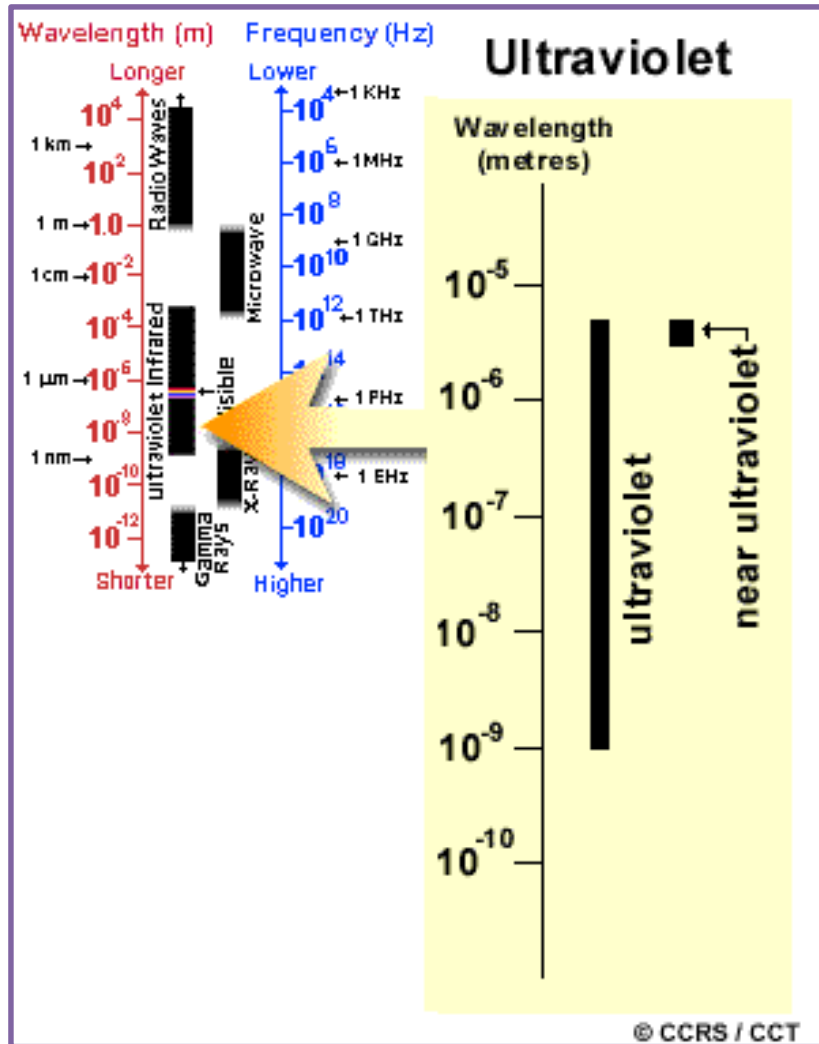
$c$  = velocidade da luz no  
vácio ( $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ )

$$Q = h \cdot f$$

$Q$  = energia do fotão  
 $h$  = constante de Planck  
( $6.3 \times 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$ )

# Espectro Electromagnético

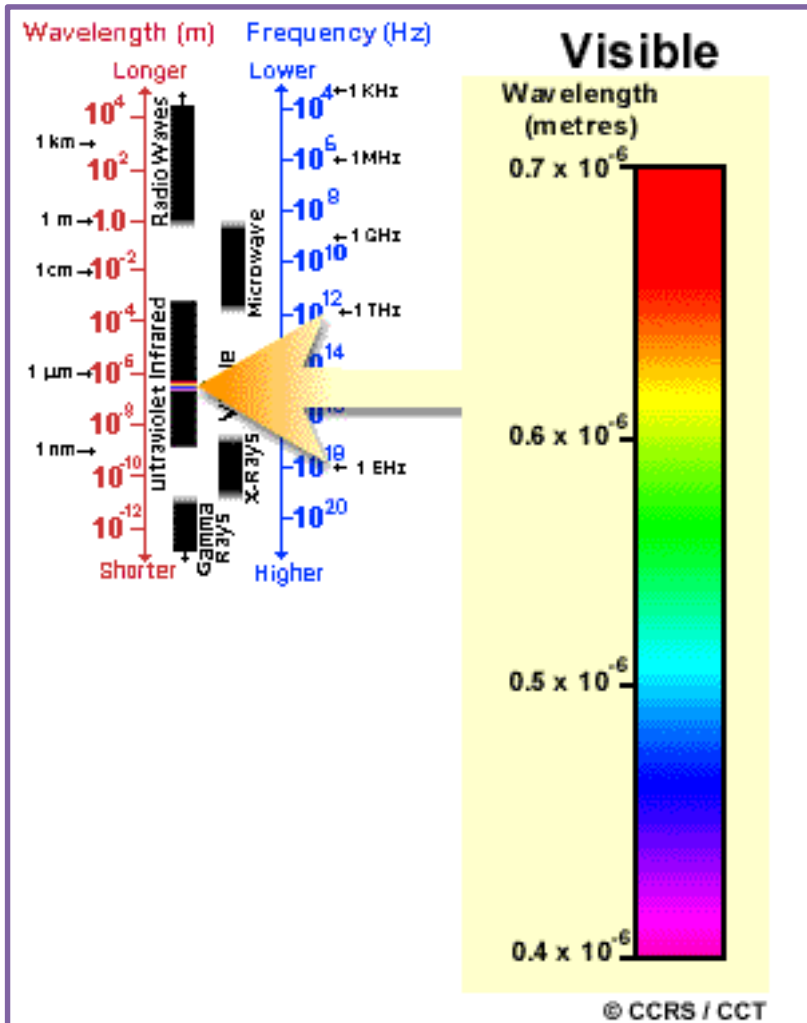
2+



Para a maioria das aplicações, o menor comprimento de onda usado na Detecção Remota é a porção do EE correspondente aos Ultravioleta (UV).

Esta radiação está imediatamente abaixo do violeta (visível), daí o nome.

# Espectro Electromagnético



A luz que os nossos olhos conseguem detectar é a porção designada por espectro visível.

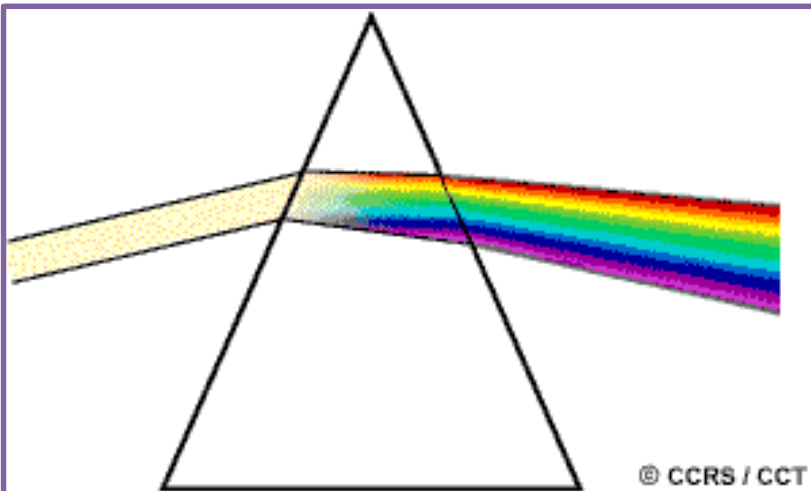
É importante referir o quão pequeno é o visível relativamente à totalidade do espectro.

O visível vai desde os  $0.4 \mu\text{m}$  aos  $0.7 \mu\text{m}$

Esta região do espectro está associada ao conceito de cor.

# Espectro Electromagnético

## A COR



|                  |                                               |
|------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Violeta:</b>  | <b>0.400 - 0.446 <math>\mu\text{m}</math></b> |
| <b>Azul:</b>     | <b>0.446 - 0.500 <math>\mu\text{m}</math></b> |
| <b>Verde:</b>    | <b>0.500 - 0.578 <math>\mu\text{m}</math></b> |
| <b>Amarelo:</b>  | <b>0.578 - 0.592 <math>\mu\text{m}</math></b> |
| <b>Laranja:</b>  | <b>0.592 - 0.620 <math>\mu\text{m}</math></b> |
| <b>Vermelho:</b> | <b>0.620 - 0.700 <math>\mu\text{m}</math></b> |

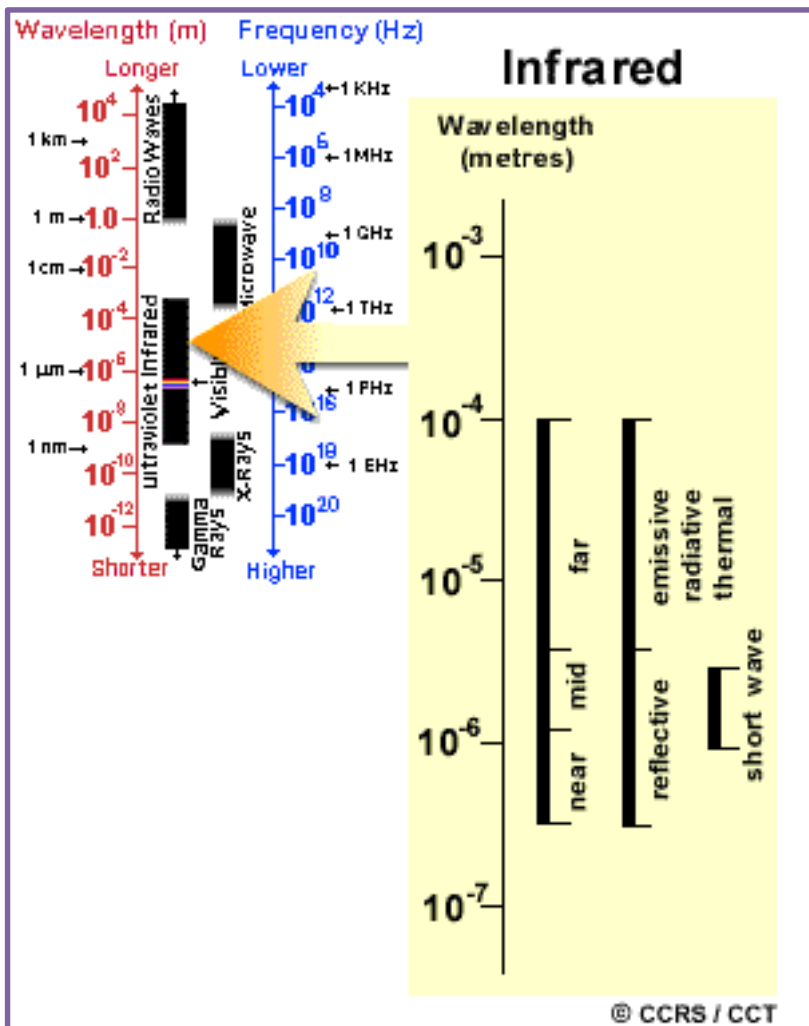
O Azul, Verde e Vermelho são as cores primárias ou comprimentos de onda do espectro visível.

São definidas desta forma porque nenhuma cor primária pode ser construída a partir das outras duas, mas todas as outras podem ser criadas a partir da combinação destas três combinando as proporções.

Embora vejamos a luz do Sol como uma cor uniforme e homogénea é composta de vários comprimentos de onda de radiação essencialmente das regiões do espectro do ultravioleta, visível e infravermelho

# Espectro Electromagnético

1+



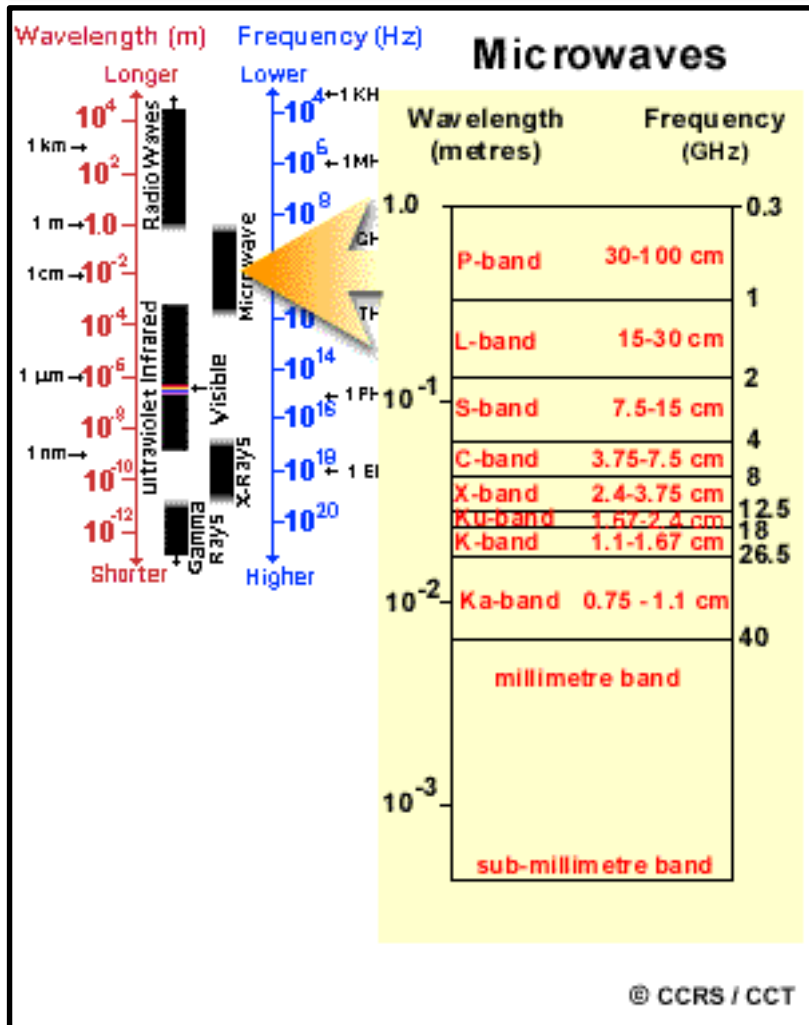
O Infravermelho vai desde os 0.7  $\mu\text{m}$  aos 100  $\mu\text{m}$  (1mm)

A região do infravermelho é dividida em duas categorias:

- ☐ IV reflectido (0.7 $\mu\text{m}$  a 3.0 $\mu\text{m}$ )
- ☐ IV térmico (3.0 $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ )

O IV térmico é diferente do visível uma vez que a energia é essencialmente a radiação emitida pela Terra sob a forma de calor.

# Espectro Electromagnético



A **região das microondas** vai desde 1mm a 1m.

Cobre a maior região do espectro usada na detecção remota.

Os pequenos comprimentos de onda têm um comportamento idêntico ao infravermelho térmico enquanto que os grandes comprimentos de onda têm um comportamento idêntico às ondas rádio

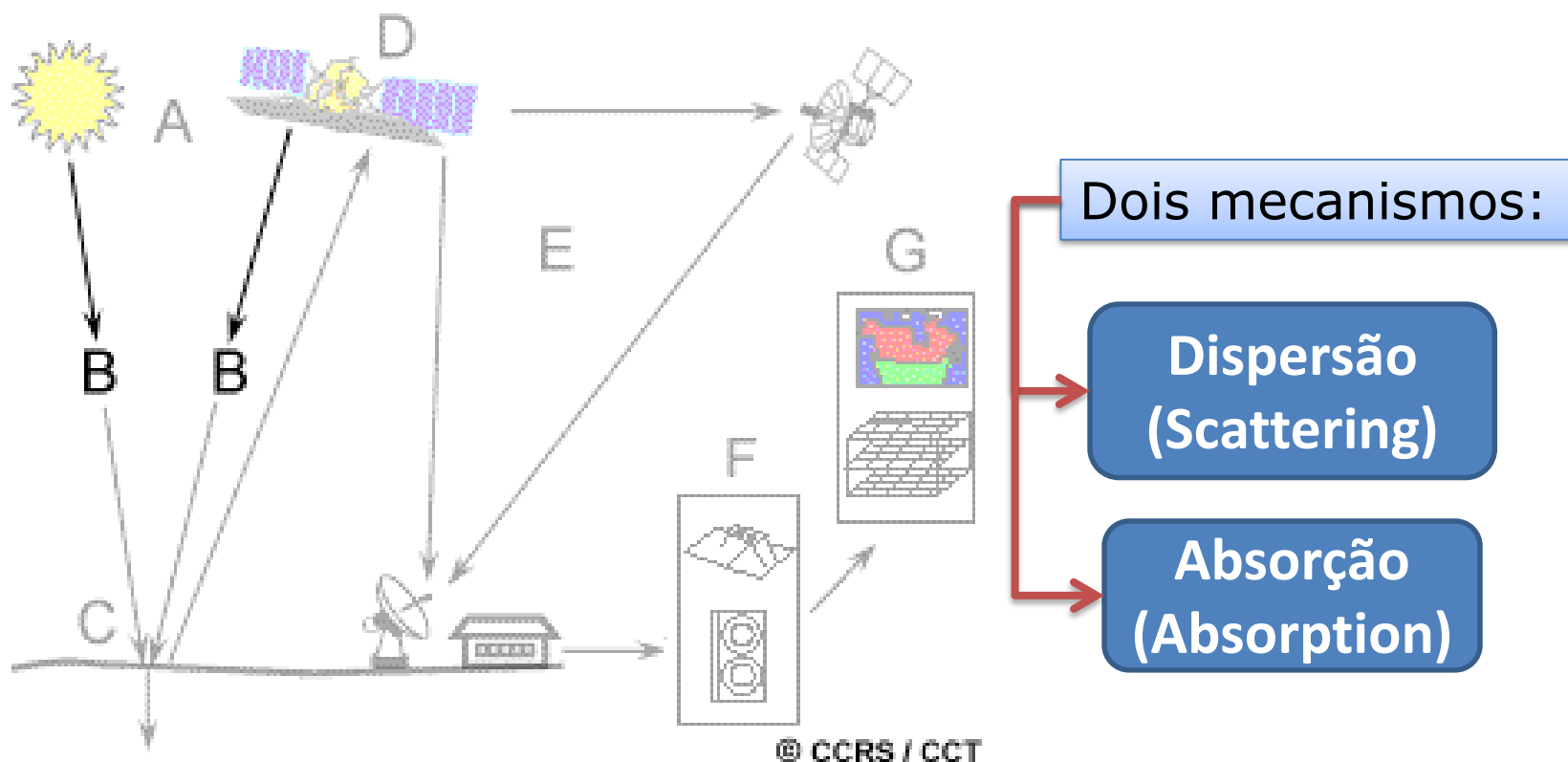
# Espectro Electromagnético

A região das microondas também se designa RADAR que é o acrónimo de **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging

| Designação | Frequência (GHz) | Comp. Onda (cm) |                      |
|------------|------------------|-----------------|----------------------|
| P          | 0.3-1            | 30-100          | 4G: 700MHz- 2600 MHz |
| L          | 1-2              | 15-30           |                      |
| S          | 2-4              | 7.5-15          |                      |
| C          | 4-8              | 3.8-7.5         | 5G: 3.4 - 3.8 GHz    |
| X          | 8-12.5           | 2.4-3.8         |                      |
| Ku         | 12.5-18          | 1.7-2.4         |                      |
| K          | 18-26.5          | 1.1-1.7         | 5G: 26 GHz           |
| Ka         | 26.5-40          | 0.8-1.1         |                      |
| W          | > 50             | < 0.6           |                      |

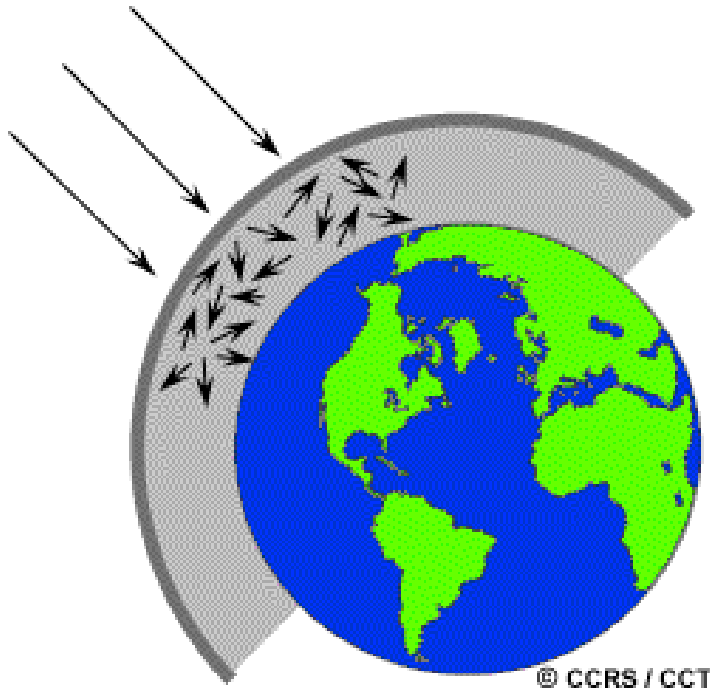
# Interacção com a Atmosfera

As partículas e gases da atmosfera afectam a radiação registada pelo sensor a bordo do satélite



# Interacção com a Atmosfera

3+



A **Dispersão** consiste na alteração da direção de propagação da radiação eletromagnética (ou do fóton) sem que ocorra troca de energia com a atmosfera.

Três tipos de dispersão:

Rayleigh

Mie

Não selectivo

O processo de dispersão da radiação depende da relação entre o comprimento de onda da radiação incidente e o diâmetro ( $D$ ) das partículas intervenientes.

# Interação com a Atmosfera

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

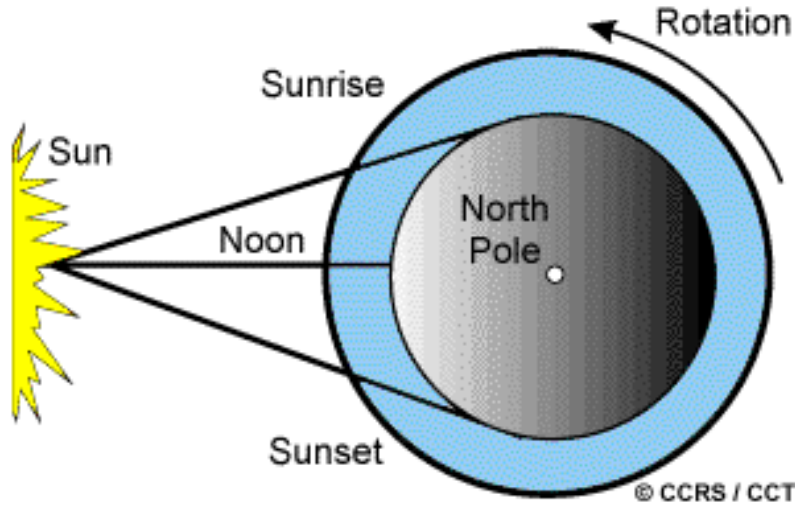


Em que  $r$  é o raio da partícula,  $\lambda$  é o comprimento de onda da radiação e  $x$  é um parâmetro sem dimensões que caracteriza a interação da partícula com a radiação incidente:

- Objetos com  $x \gg 1$  atuam como formas geométricas dispersando a radiação de acordo com a sua área de reflexão (não seletivo).
- Para  $x \simeq 1$  : Dispersão de Mie, os efeitos da interferência são observados como variações de fase sobre a superfície do objeto.
- Para  $x \ll 1$ : A dispersão de Rayleigh aplica-se aos casos em que a partícula é muito pequena ( $r < \lambda^{-4}$ ) e toda a superfície reflete com a mesma fase.

# A dispersão Rayleigh

2+

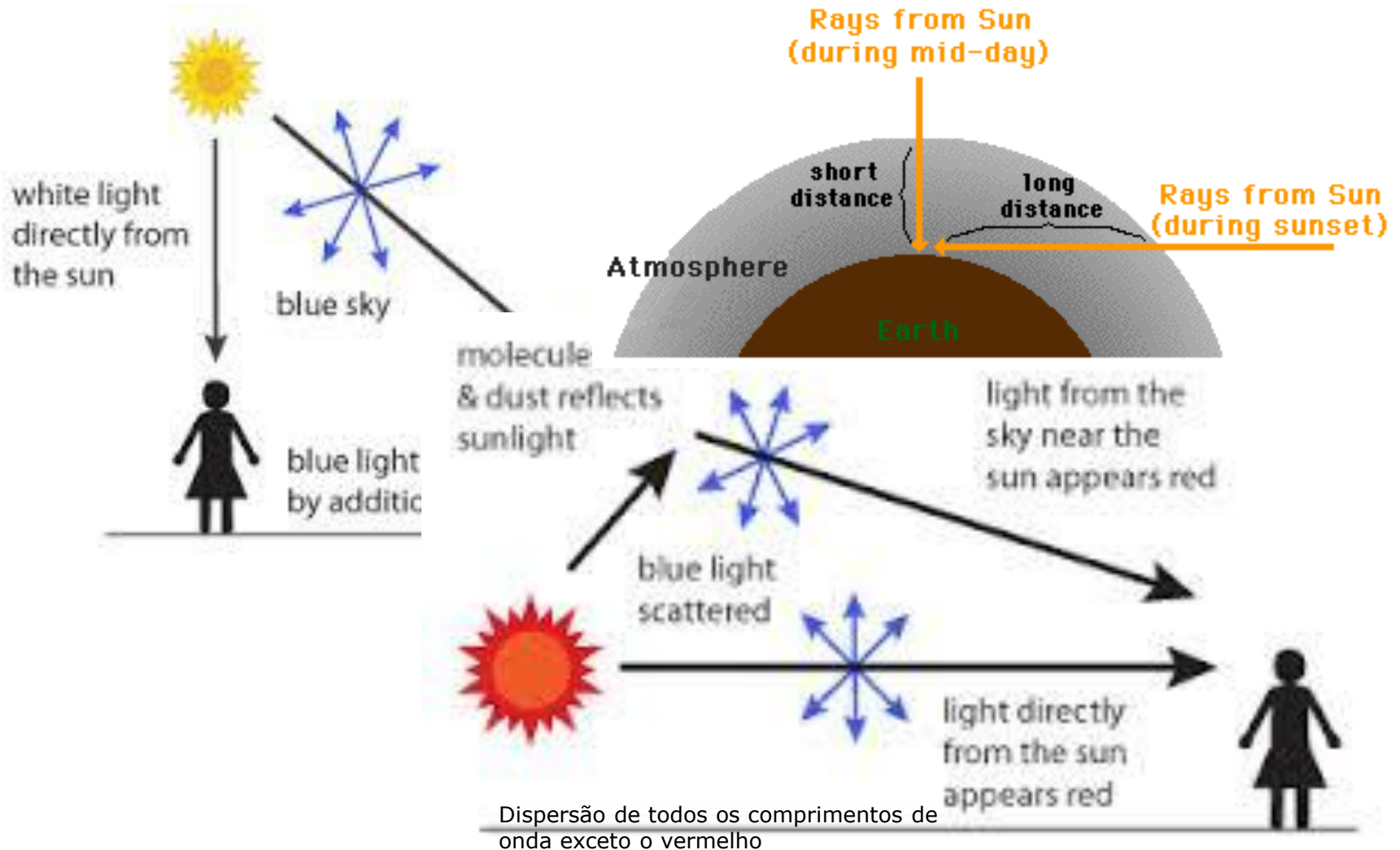


## A dispersão Rayleigh

ocorre quando as partículas são muito pequenas quando comparadas com o comprimento de onda da radiação (pequenas partículas de pó ou moléculas de oxigénio ou nitrogénio).

A dispersão Rayleigh é o resultado de uma maior dispersão nos pequenos comprimento de onda que nos grandes comprimentos de onda (por isso o céu é azul).

# A dispersão Rayleigh



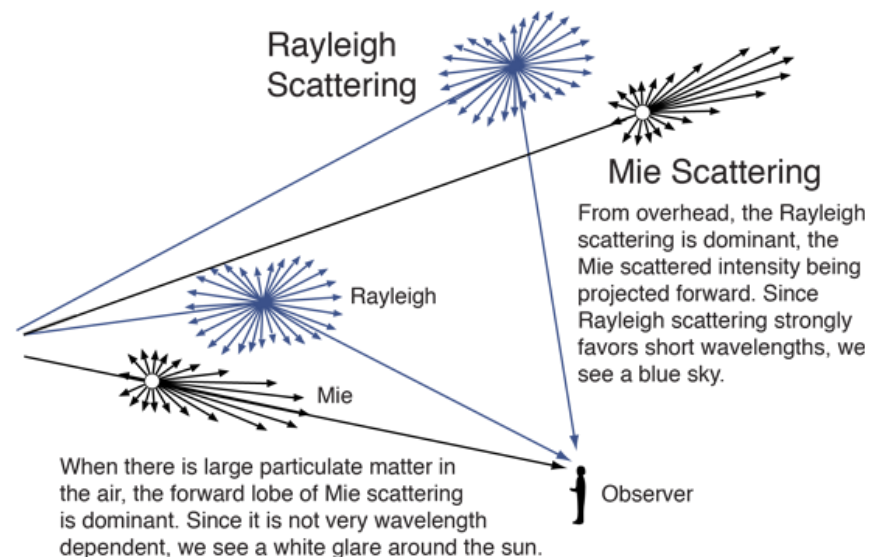
# Dispersão de Mie

A **dispersão de Mie** ocorre quando as partículas são do mesmo tamanho que o comprimento de onda da radiação.

São exemplos: o pó, pólen, fumo e vapor de água

Estes elementos causam a dispersão Mie que tem tendência para afectar **maiores comprimentos** de onda que a dispersão de Rayleigh.

A dispersão de Mie ocorre nas porções mais baixas da atmosfera.



É dominante em dias nublados, auréola branca em volta do Sol

# Dispersão não selectiva



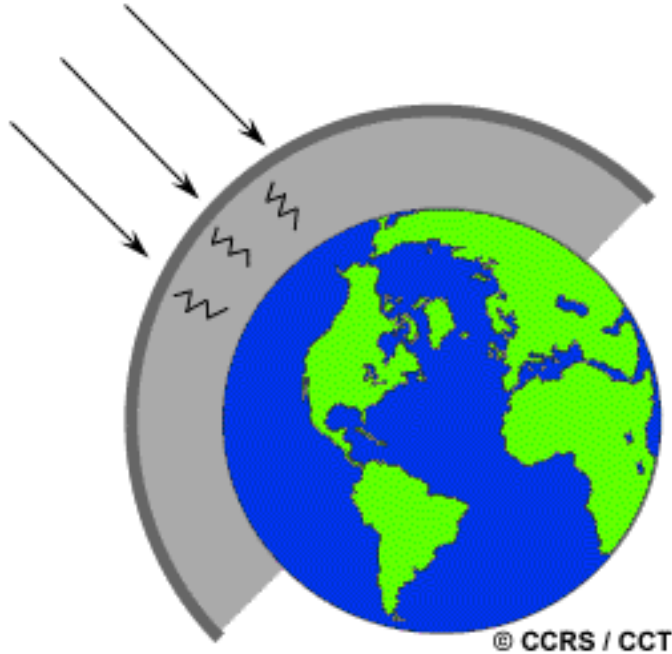
A **dispersão não selectiva** ocorre quando as partículas são muito maiores que o comprimento de onda da radiação.

Afecta todos os comprimentos de onda por igual.

Pingos de água e grandes partículas de pó são a causa desta dispersão.

Este tipo de dispersão faz com que o nevoeiro e as nuvens surjam brancas aos nossos olhos, porque o azul, verde e vermelho são afectados da mesma forma e azul+verde+vermelho = luz branca

# Interacção com a Atmosfera



**Absorção:** este fenómeno faz com que as moléculas na atmosfera absorvam energia nos vários comprimentos de onda.

O ozono, dióxido de carbono e o vapor de água são os três constituintes atmosféricos que absorvem radiação.

O **Ozono** absorve a radiação ultravioleta prejudicial à maioria dos seres vivos.

# Interacção com a Atmosfera

---

Já ouvimos referir que o **dióxido de carbono** é o gás de efeito de estufa. (greenhouse gas)

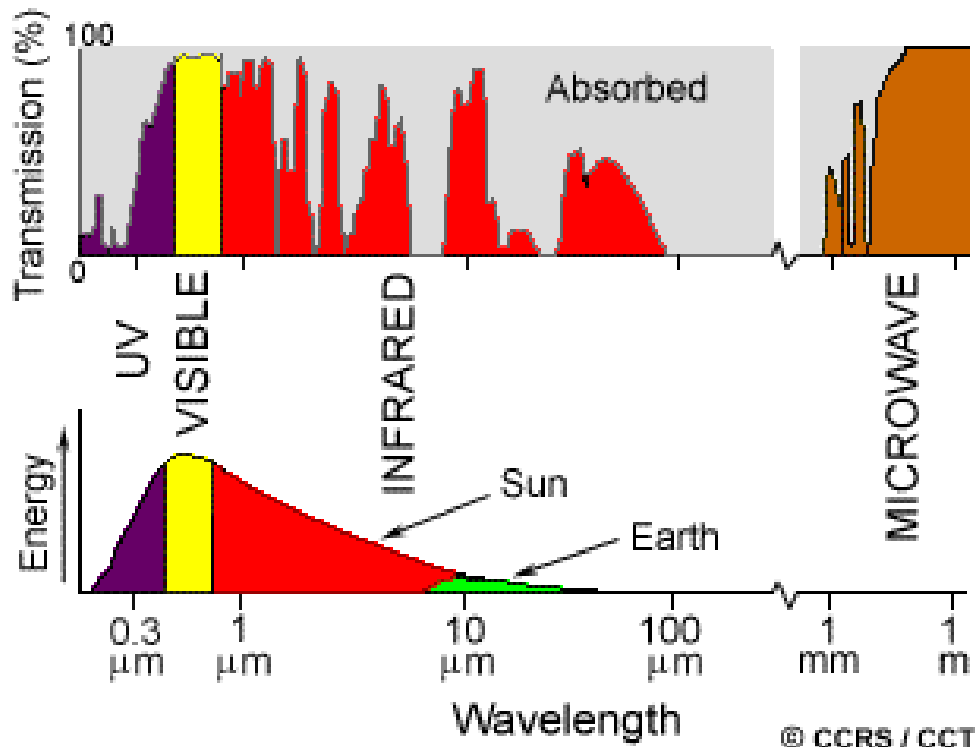
Isto é porque tende a absorver (fortemente) radiação na porção do espectro do infravermelho afastado – a área associada ao aquecimento térmico – que provoca o aquecimento no interior da atmosfera.

O **vapor de água** na atmosfera absorve muitos dos grandes comprimentos de onda no infravermelho afastado e nas microondas.

A presença de vapor de água na atmosfera varia muito no tempo e no espaço.

O vapor de água é um elemento importante na degradação da qualidade do registo da radiação pelo sensor.

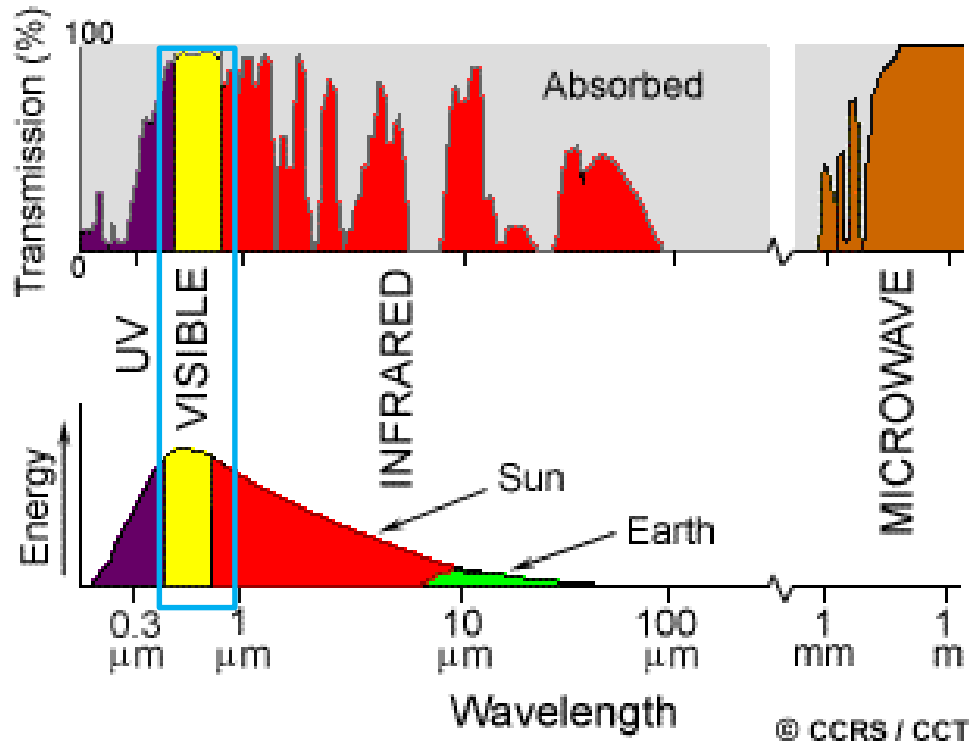
# Janelas Atmosféricas



Como estes gases absorvem energia electromagnética em regiões muito específicas do espectro, eles influenciam onde podemos “olhar” para efeitos da detecção remota.

Essas áreas do espectro que não são severamente influenciadas pela absorção atmosférica, e são consequentemente úteis para a detecção remota, são chamadas: **janelas atmosféricas** (atmospheric windows)

# Janelas Atmosféricas

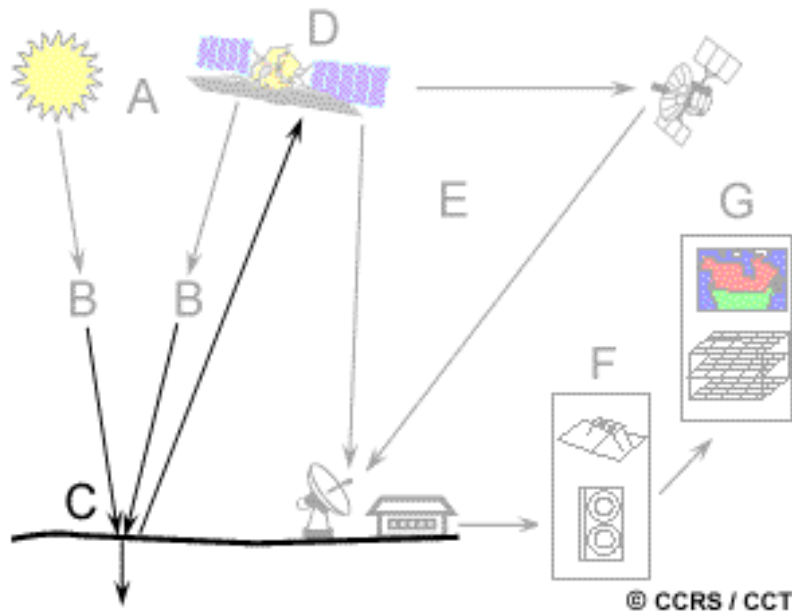


A parte visível do espectro, aos quais os nossos olhos são sensíveis, corresponde a uma janela atmosférica e também a um pico de energia do Sol.

A energia calorífica emitida pela Terra corresponde a uma janela em torno dos 10  $\mu\text{m}$  no IV térmico e a grande janela dos comprimentos de onda maiores que 1mm corresponde às microondas.

# Interacção Radiação - Alvo

2+



A **energia total incidente** irá interagir com a superfície de uma ou mais que uma destas formas.

A radiação que não é absorvida ou dispersa na atmosfera pode chegar e interagir com a superfície da Terra.

Existem três formas de interagir com a superfície:

**Absorção**

**Transmissão**

**Reflexão**

# Interação Radiação - Alvo

## Absorção (A):

Ocorre quando a radiação (energia) é absorvida pelo alvo

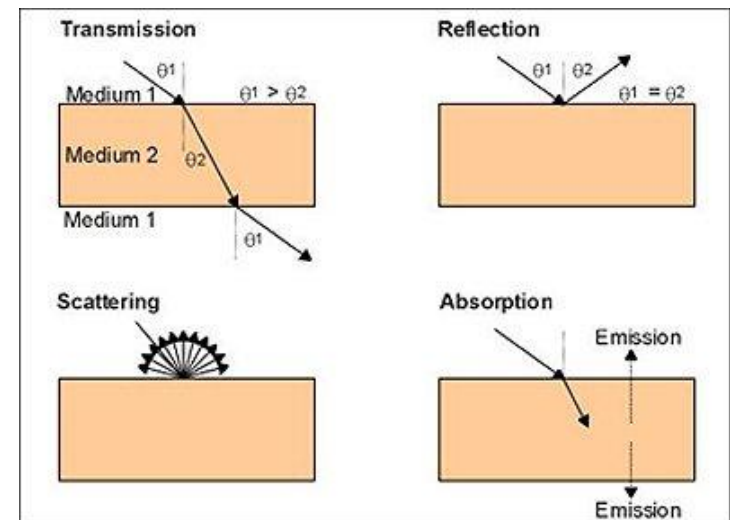
## Transmissão (T):

Ocorre quando a radiação passa pelo alvo.

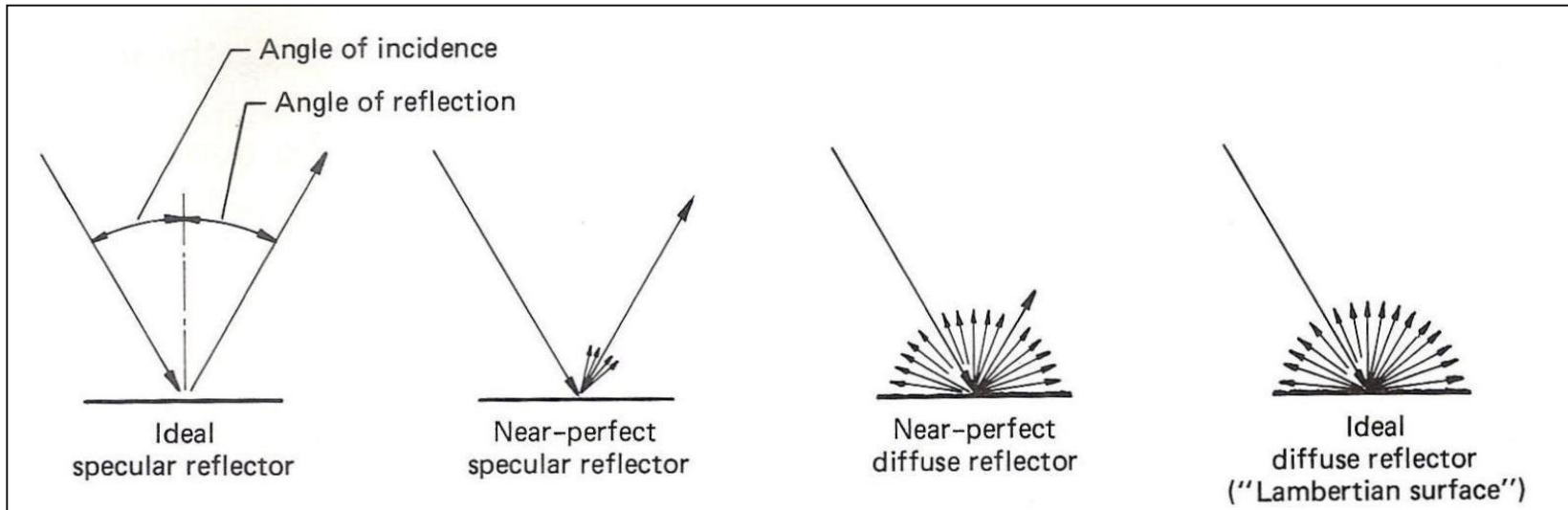
## Reflexão (R)

Ocorre quando a radiação é reflectida no alvo e é redireccionada.

Em detecção remota  
estamos interessados em  
medir a  
**radiação reflectida**  
nos alvos



# Interação da radiação com a matéria



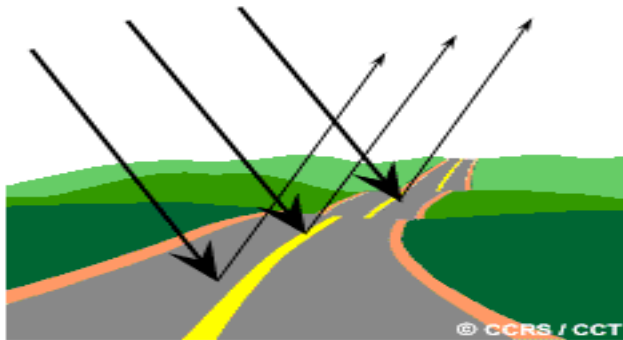
A categoria que caracteriza uma qualquer superfície é ditada pela rugosidade da superfície em comparação com o comprimento de onda da radiação incidente na superfície.

Quando o comprimento de onda da radiação incidente é muito menor que as variações altimétricas da superfície, ou tamanho das partículas que a compõem, a reflexão é difusa.

Separamos a Reflexão em dois casos extremos:

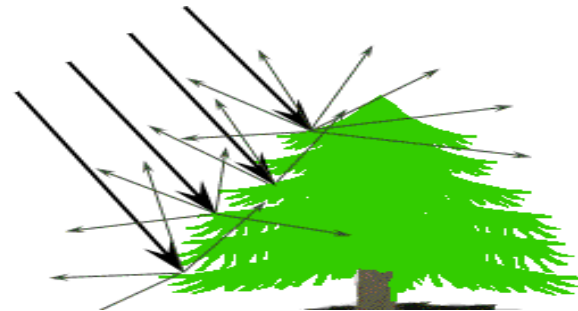
## Especular (specular)

Numa superfície suave toda ou quase toda a energia é reflectida numa única direcção



## Difusa (diffuse)

Quando a superfície é rugosa e a energia é reflectida uniformemente em todas as direcções



Se o comprimento de onda é muito mais pequeno que as variações da superfície ou o tamanho das partículas, dominará a reflexão difusa.

# Interacção Radiação - Alvo

Especular

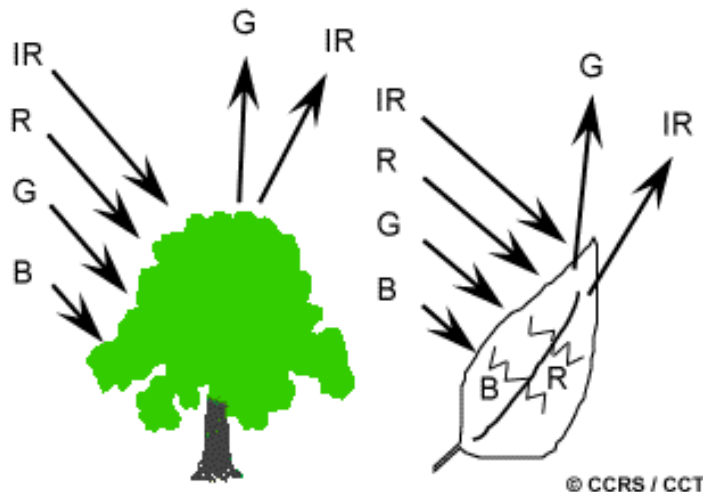


Difusa



# Interação Radiação – Alvo

## Exemplo: As folhas



O pigmento das folhas, a clorofila, absorve radiação no visível para uso na fotossíntese.

A estrutura das células das folhas reflete fortemente o infravermelho.

No Outono há menos clorofila, e por isso menos absorção do vermelho (vermelho é refletido) e por isso as folhas surgem amarelas (combinação verde+vermelho)

A estrutura interna das folhas têm uma forte reflexão nos comprimentos de onda do IV. Por isso monitorizando a reflectância no IV é um indicador da saúde da vegetação



Ciências  
ULisboa

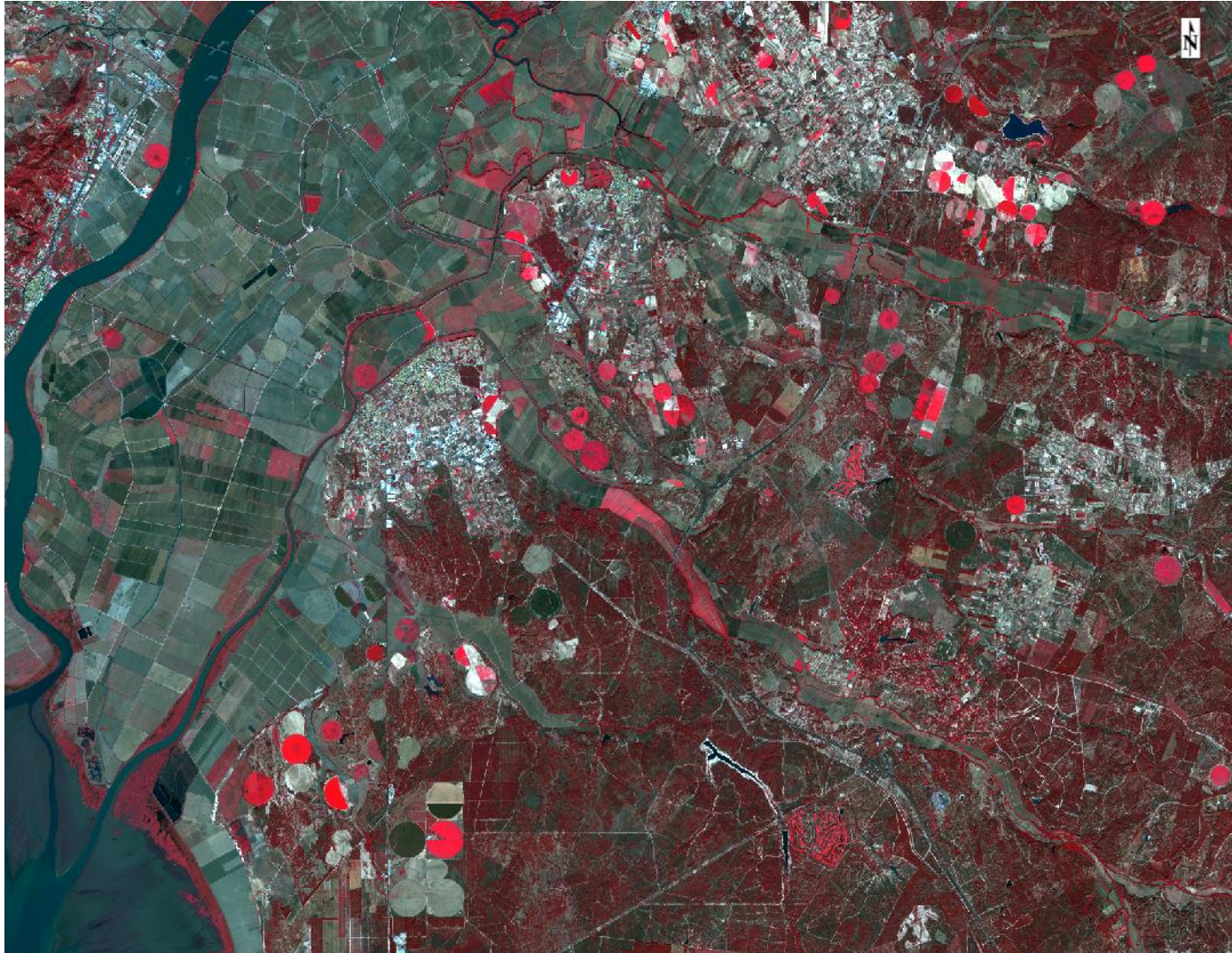
# Sentinel-2: composição 4-3-2

22 out 2017



# Sentinel-2: composição 8-4-3

22 out 2017



# Sentinel-2: composição 8-4-3

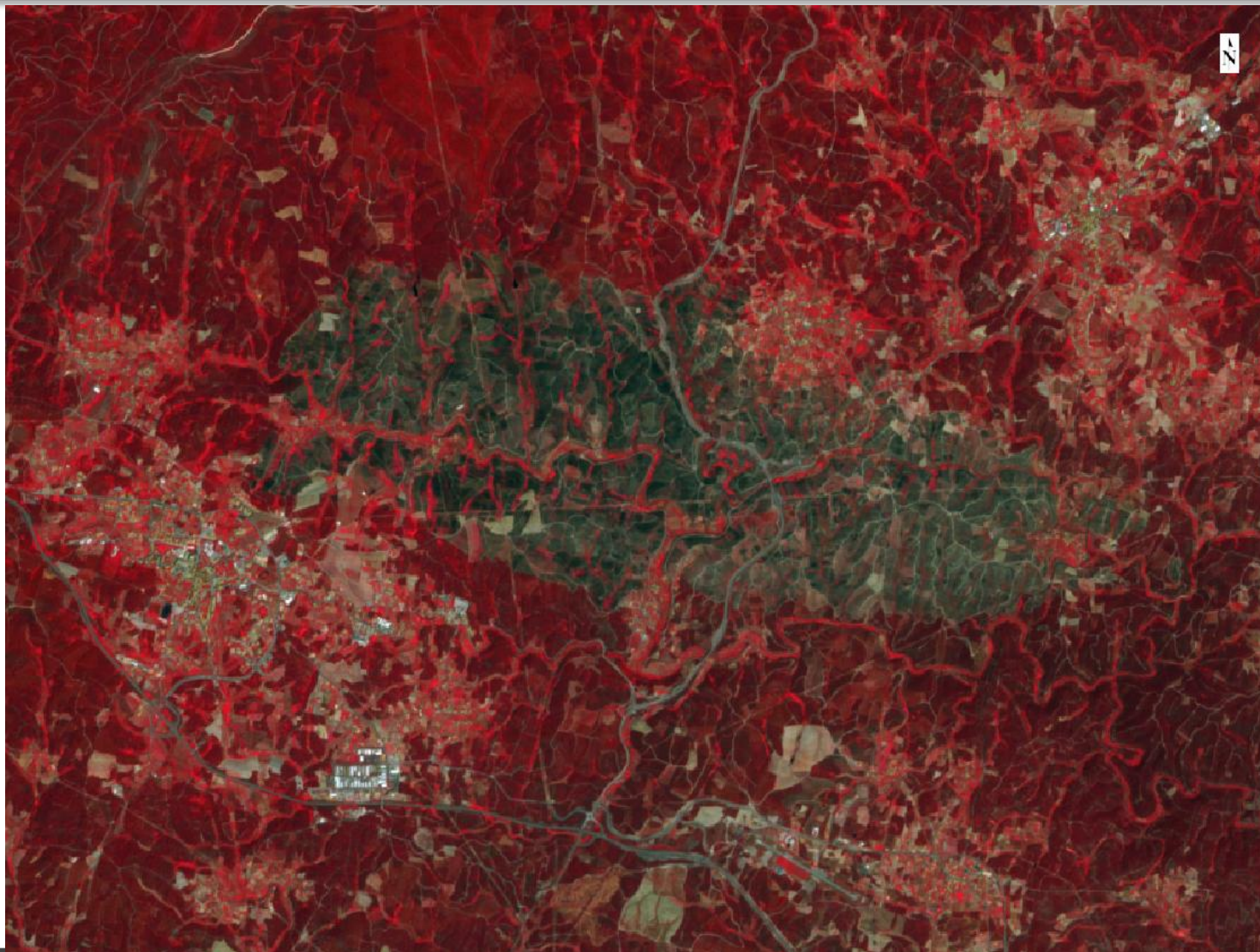
Companhia das Lezírias





Ciências  
ULisboa

# Sentinel-2: composição 8-4-3

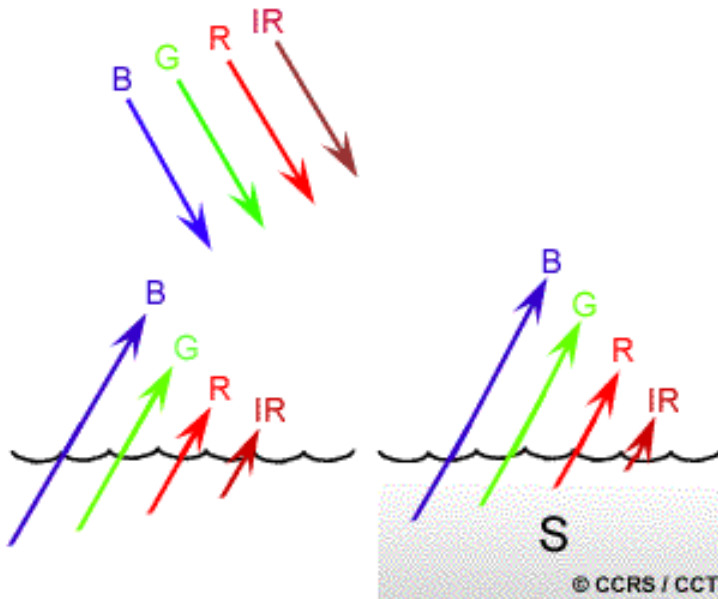


# Sentinel-2: composição 4-3-2



# Interação Radiação – Alvo

## Exemplo: água



A água absorve mais os grandes comprimentos de onda do visível (vermelho) e IV que os pequenos comprimentos de onda.

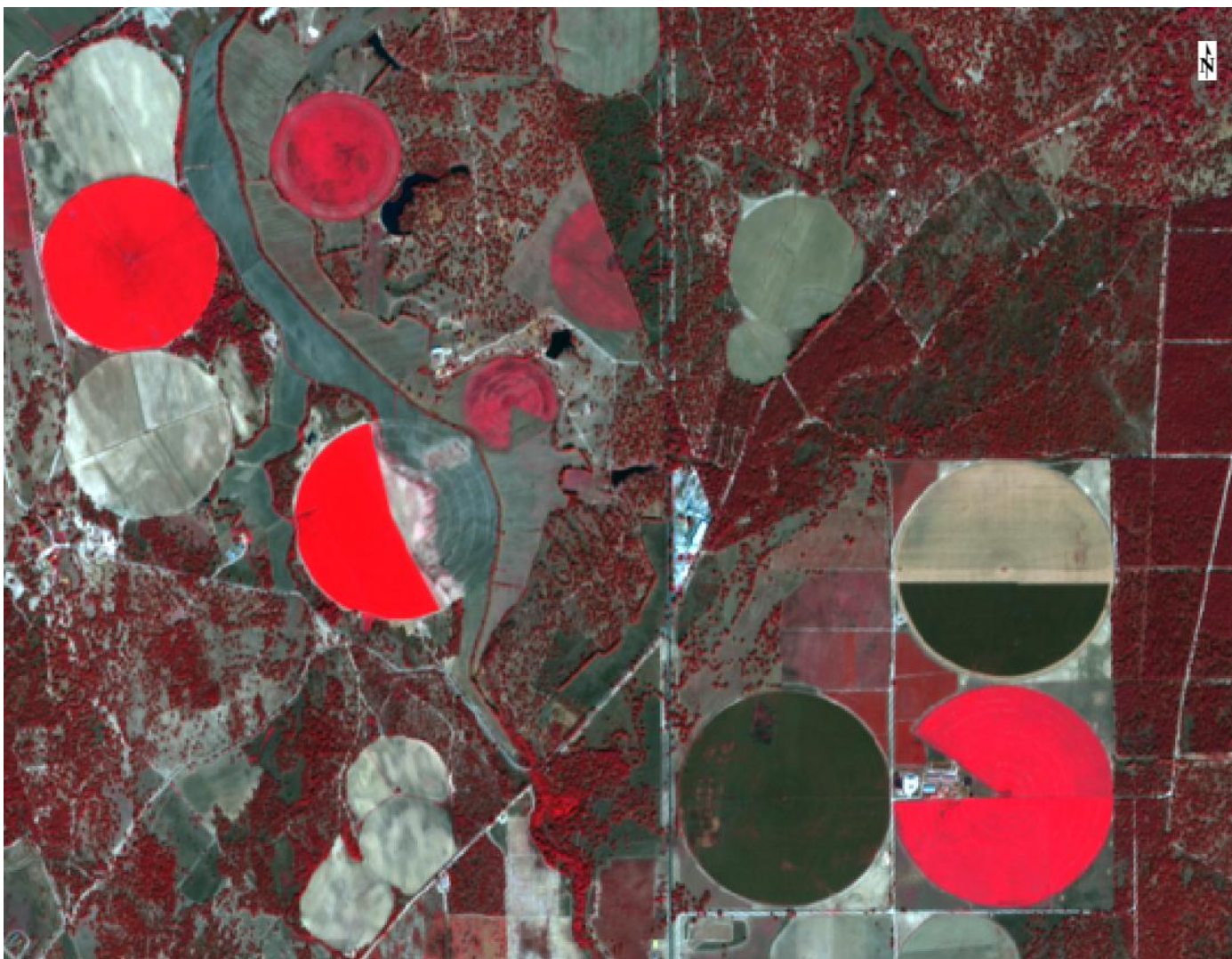
Por isso a água aparece azul aos nossos olhos e escura se vista nos maiores comprimentos de onda.

Se existirem sedimentos (S) em suspensão nas camadas superiores permitirá uma maior reflectividade e um aspecto mais brilhante da água.

A clorofila nas algas absorve mais o azul e reflecte o verde fazendo parecer a água verde na presença de algas.

# Sentinel-2: composição 8-4-3

Reflectância da água no infravermelho

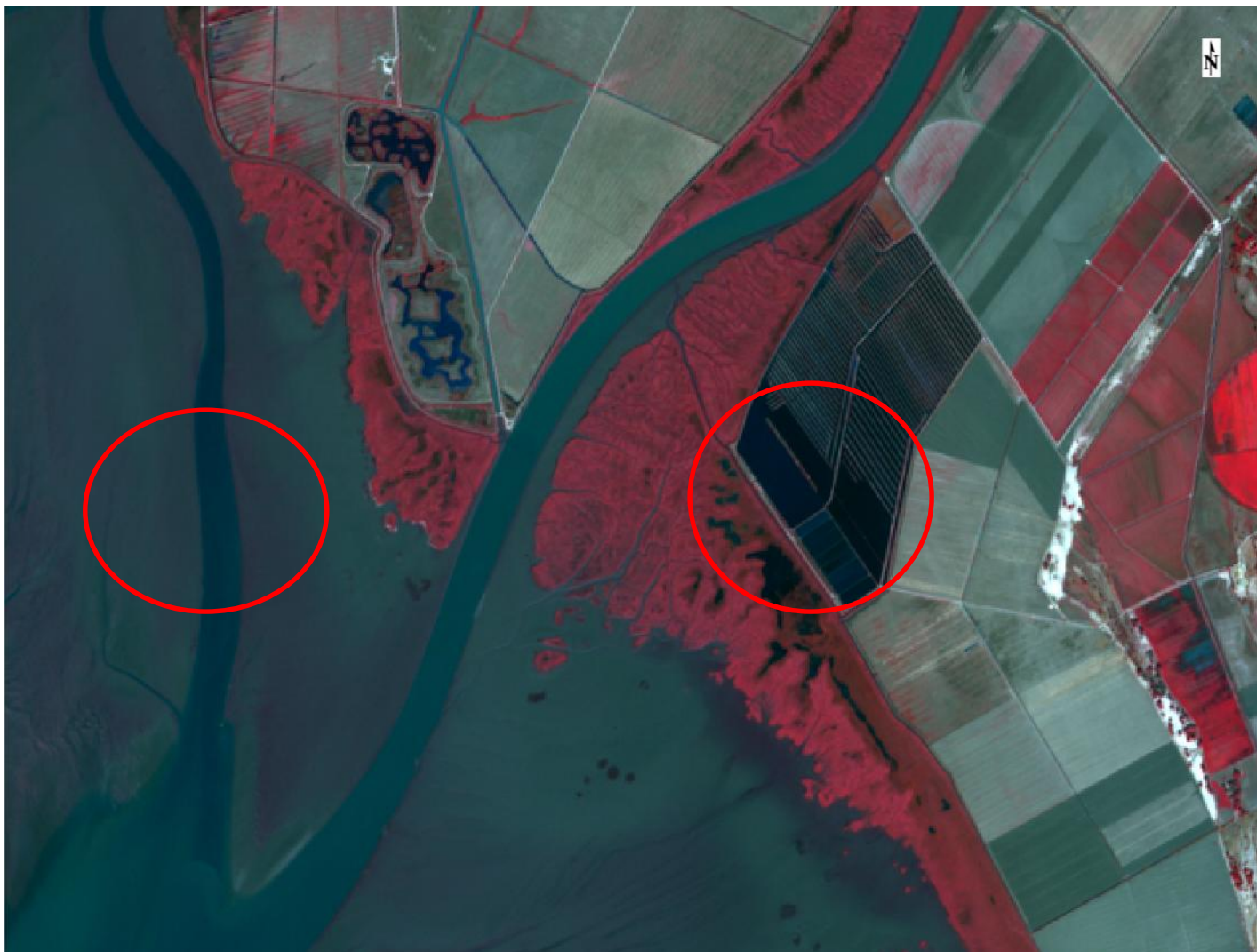




Ciências  
ULisboa

# Sentinel-2: composição 8-4-3

Reflectância da água no infravermelho



22 out 2017

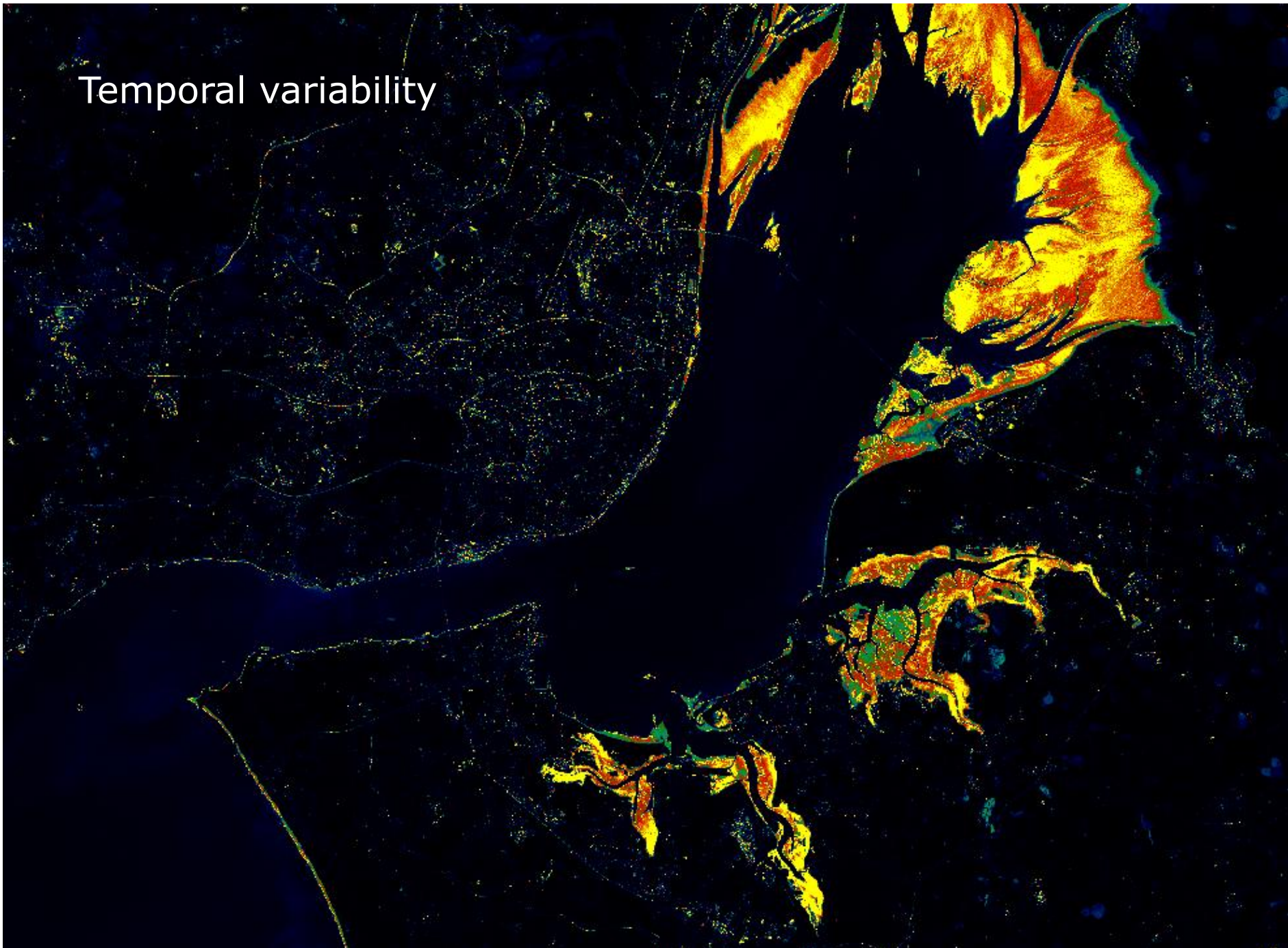
B8, 842 nm

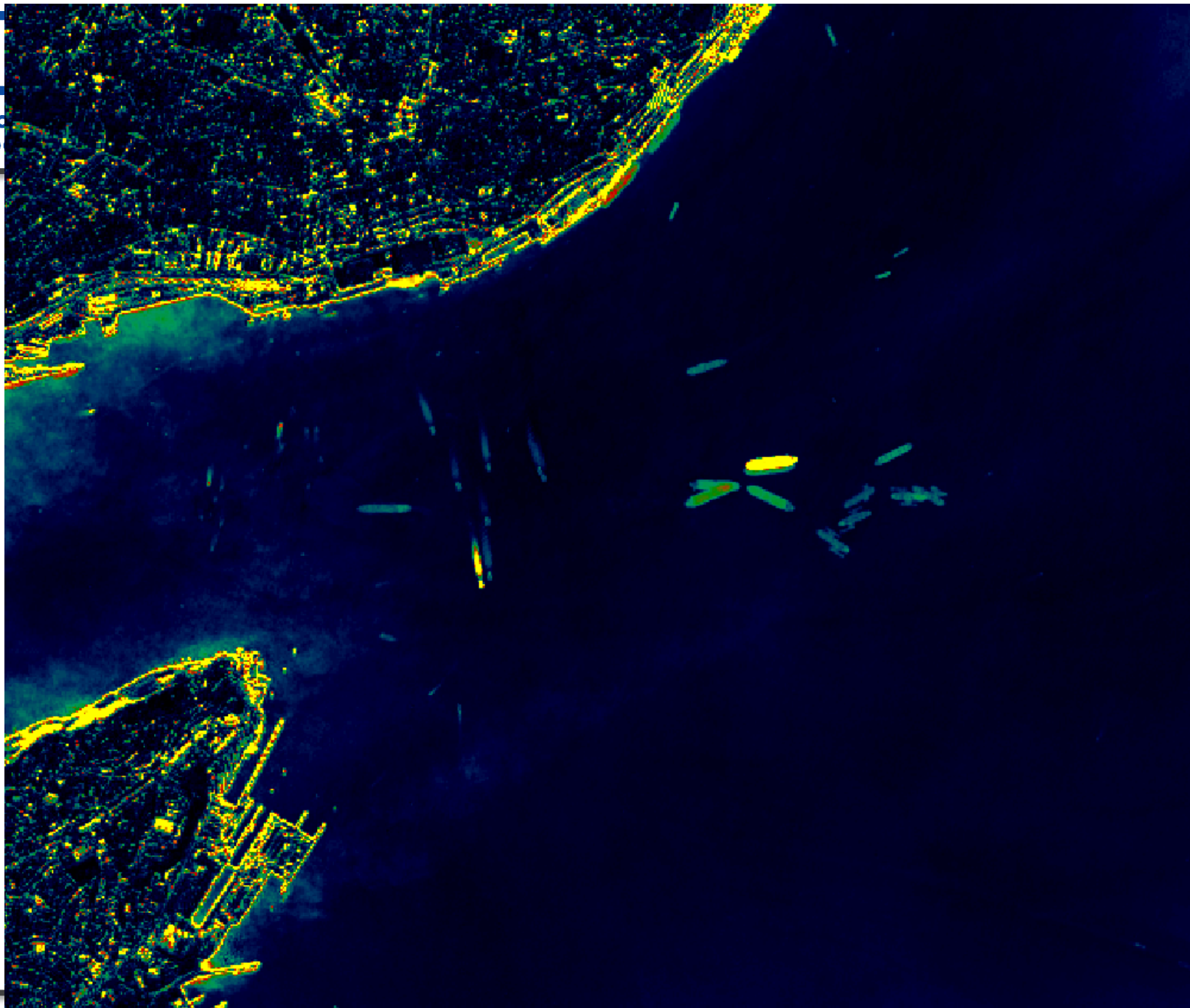


B11, 1610 nm



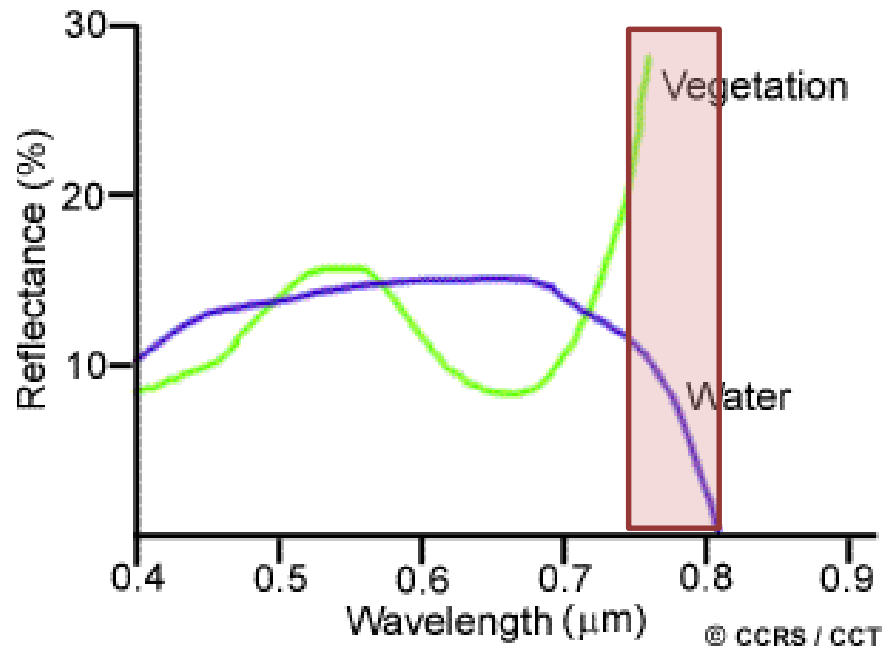
Temporal variability





# Interacção Radiação - Alvo

1+



Medindo a energia que é reflectida (ou emitida) pelos alvos em vários comprimentos de onda pode construir-se **a resposta espectral** para cada objecto.

Comparando o padrão de resposta de diferentes entidades podemos distingui-las, mesmo que o conseguíssemos fazer analisando apenas um comprimento de onda.



Ciências  
ULisboa



EDIÇÃO ANTERIOR

# Terra em Foco

Conferência Nacional de Observação da Terra

17 e 18 de março de 2026

Coimbra

Agenda

Datas importantes / Important Dates

+ Info

+ Workshops

Prémio TeF - Estudante

15:30

## Meio Terrestre IV - Agricultura/ Land IV - Agriculture

Moderação/ Moderation

João Falcão, iFAP

### 📄 Parceria europeia Agriculture of Data

Duarte Cota, Agência Espacial Portuguesa

### 📄 Observatório da Agricultura do Oeste por IoT e Observação da Terra: estudo de caso.

Jucilene de Medeiros Siqueira, Smart Farm Colab

### 📄 mySense: Plataforma modular de aquisição e integração de dados para agricultura de precisão

Raul Morais, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

### 📄 Estimativa do teor de água no solo em Olivais com dados Sentinel-1

Ana Cláudia Teixeira, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

### 📄 Estimativa da produção de parcelas de vinha na Região Demarcada do Douro com base em dados de Observação da Terra e machine learning

Pedro Marques, Universidade de Trás-os-Montes e

## Meio Terrestre V - Biodiversidade e Serviços dos Ecossistemas/ Land V - Biodiversity & ecosystem services

Moderação/ Moderation

TBD

### 📄 Mapas híbridos para avaliação da Área Potencial de Instalação (API) para espécies invasoras em contexto urbano

Mónica Alexandra Vilela Andrade, Universidade de Coimbra

### 📄 Tracking the Flowering Phenology of Acacia dealbata through Satellite Observations and Citizen Science Data

Magdalena Majchrzak, Adam Mickiewicz, University Poznan & Universidade de Coimbra

### 📄 Sistema Municipal de Monitorização do Carbono: Quantificação e Inventariação através de proxies obtidos por Detecção Remota

Carlos Álvaro, FCSH/ Use concept

### 📄 Enhancing the spatial and temporal resolution of ecosystem accounts using satellite data

Filipe Bernardo, Universidade dos Açores

### 📄 Utilização de Dados de Observação

# Assinatura Espectral

---

A resolução espectral dos sensores a bordo dos satélites é demasiado pequena para identificar muitos dos objectos pela sua forma ou detalhe espacial.

Em alguns casos é possível identificar estes objectos por medições espectrais no terreno.



Existe um grande interesse na medição das **assinaturas espectrais** dos materiais como vegetação, solo, rocha no intervalo espectral.

A deteção remota multi-espectral baseia-se na possibilidade de distinguir os diferentes elementos da superfície com base na sua assinatura espectral

# Curva de Reflectância

## Curva de reflectância:

descreve como varia a refletividade dum dada superfície num determinado o intervalo espectral (p.e.: 0.4 – 2.5 mm).

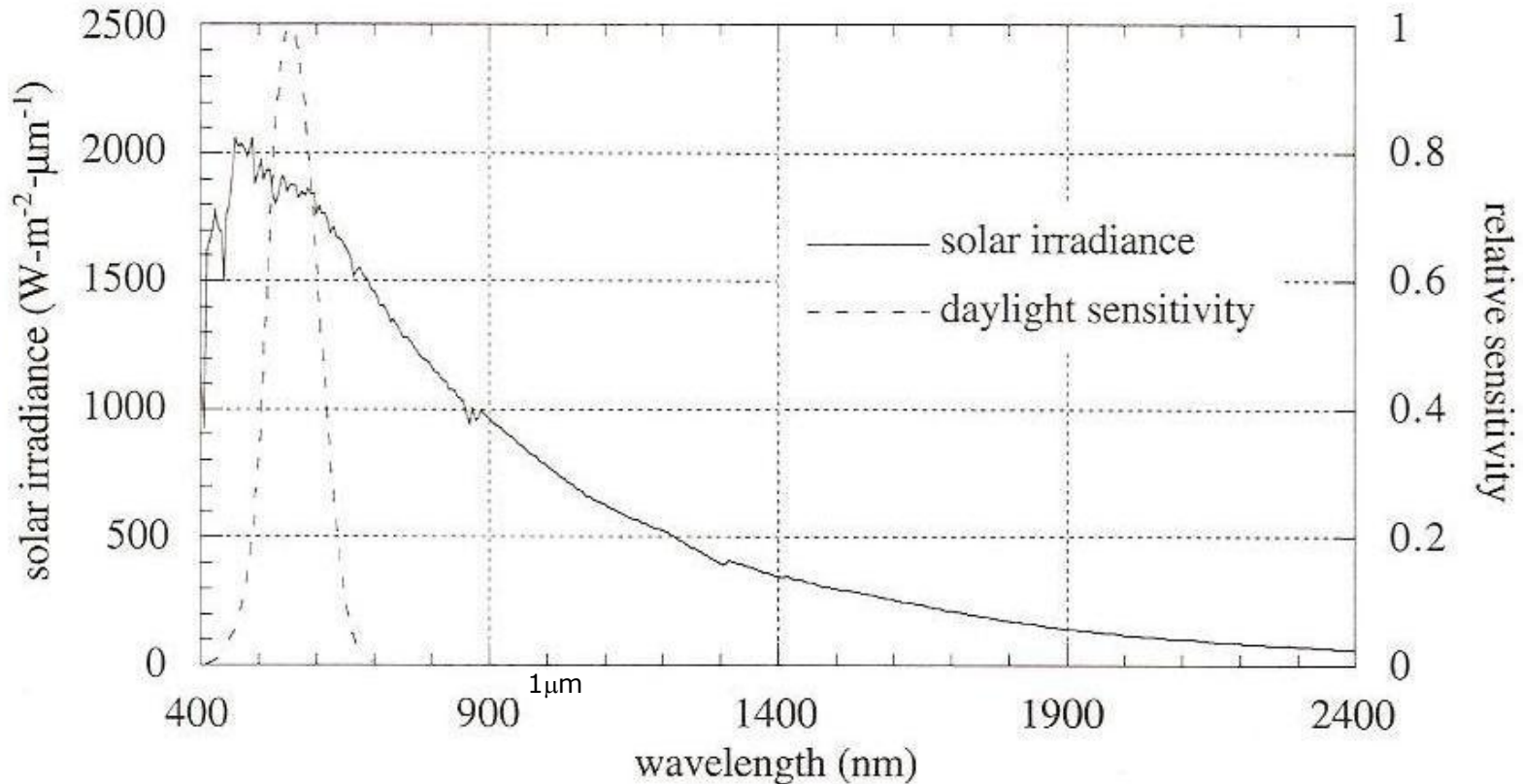
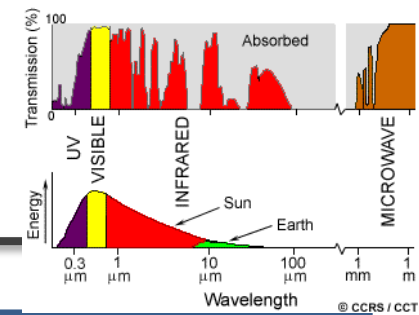
Esta curva de reflectividade dum superfície varia muito em função:

das **condições ambientais** (estação do ano, condição física e química da superfície) e

de **tomada da imagem** (geometria Sol – superfície – Terra)

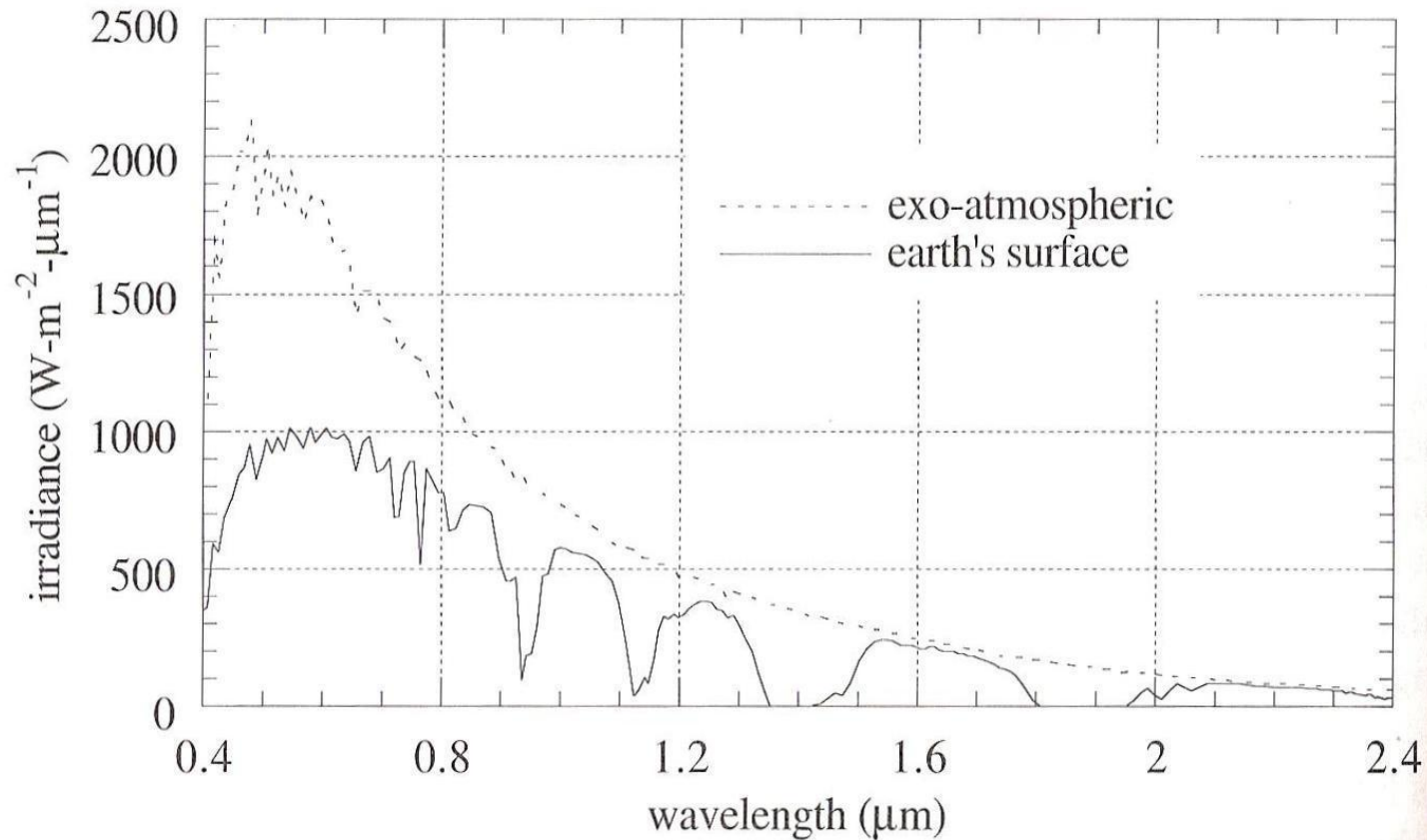
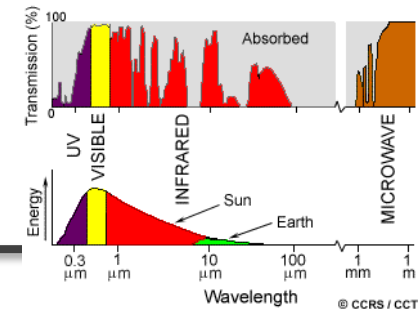
É possível obter curvas de refletividade média que, embora tenham apenas um valor indicativo no sentido que podem variar muito em função dos parâmetros apenas descritos, contem informações úteis sobre o comportamento da superfície observada.

# Irradiância espectral solar

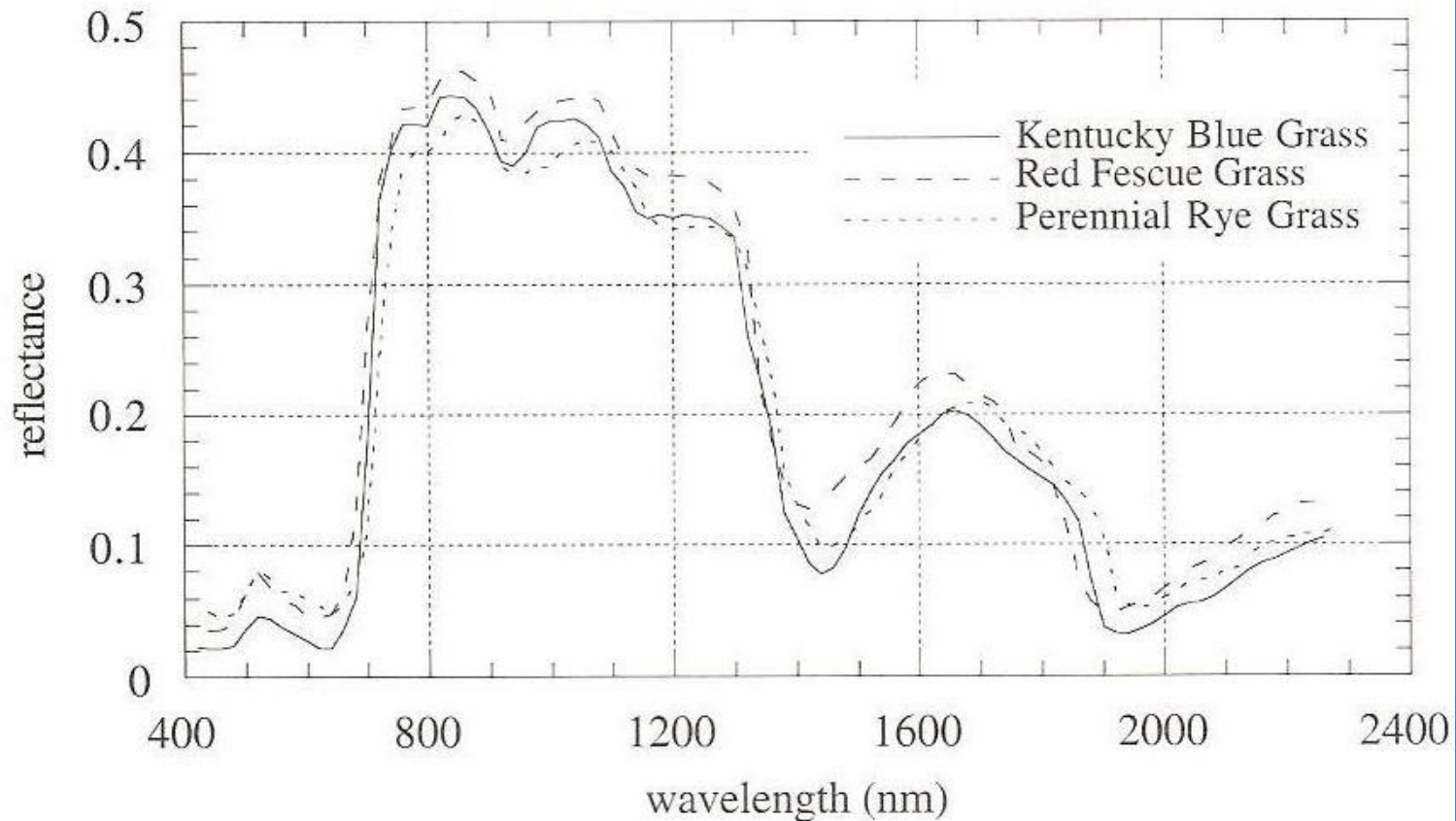


Irradiância espectral solar no topo da atmosfera

# Irradiância espectral solar

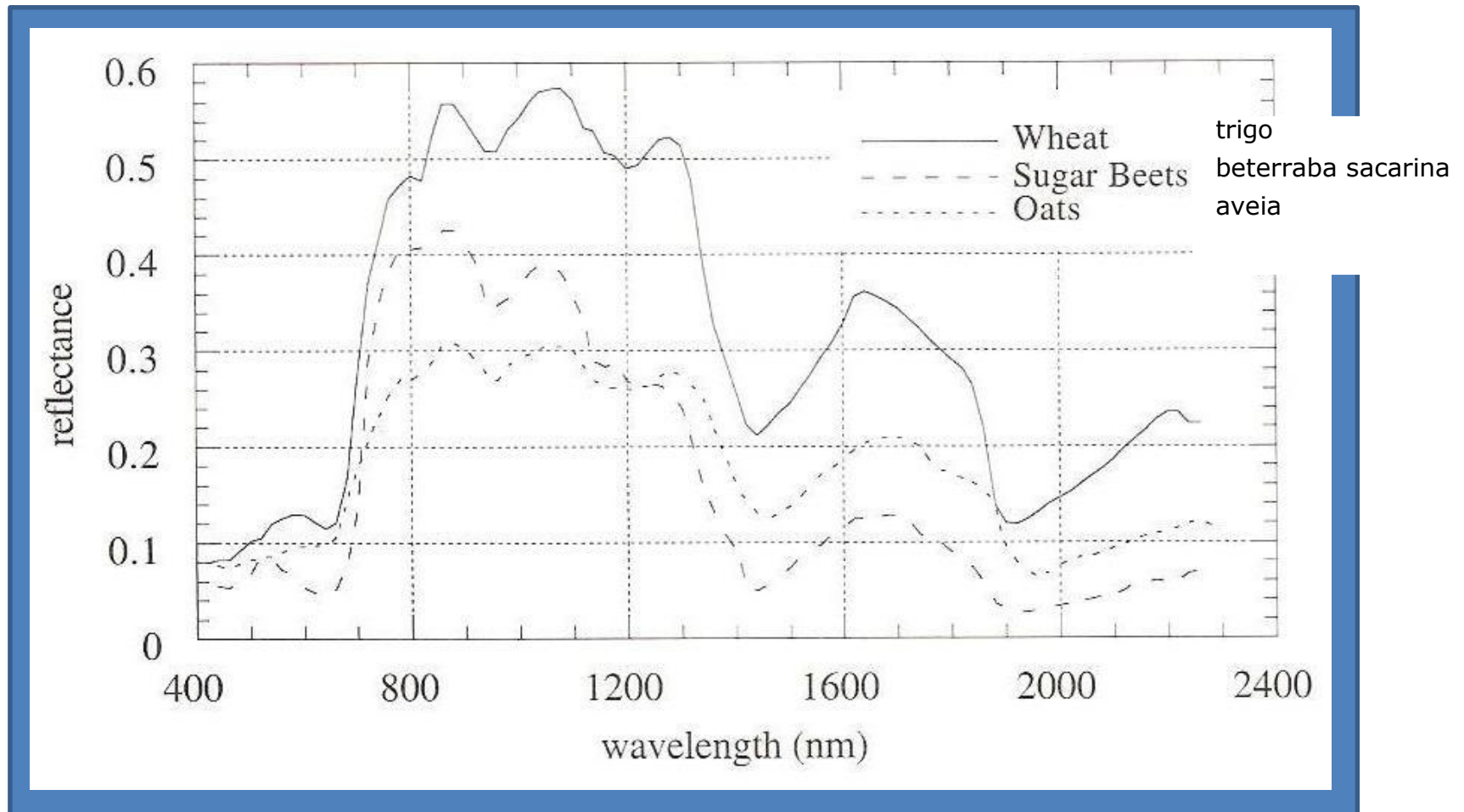


# Assinatura Espectral da vegetação



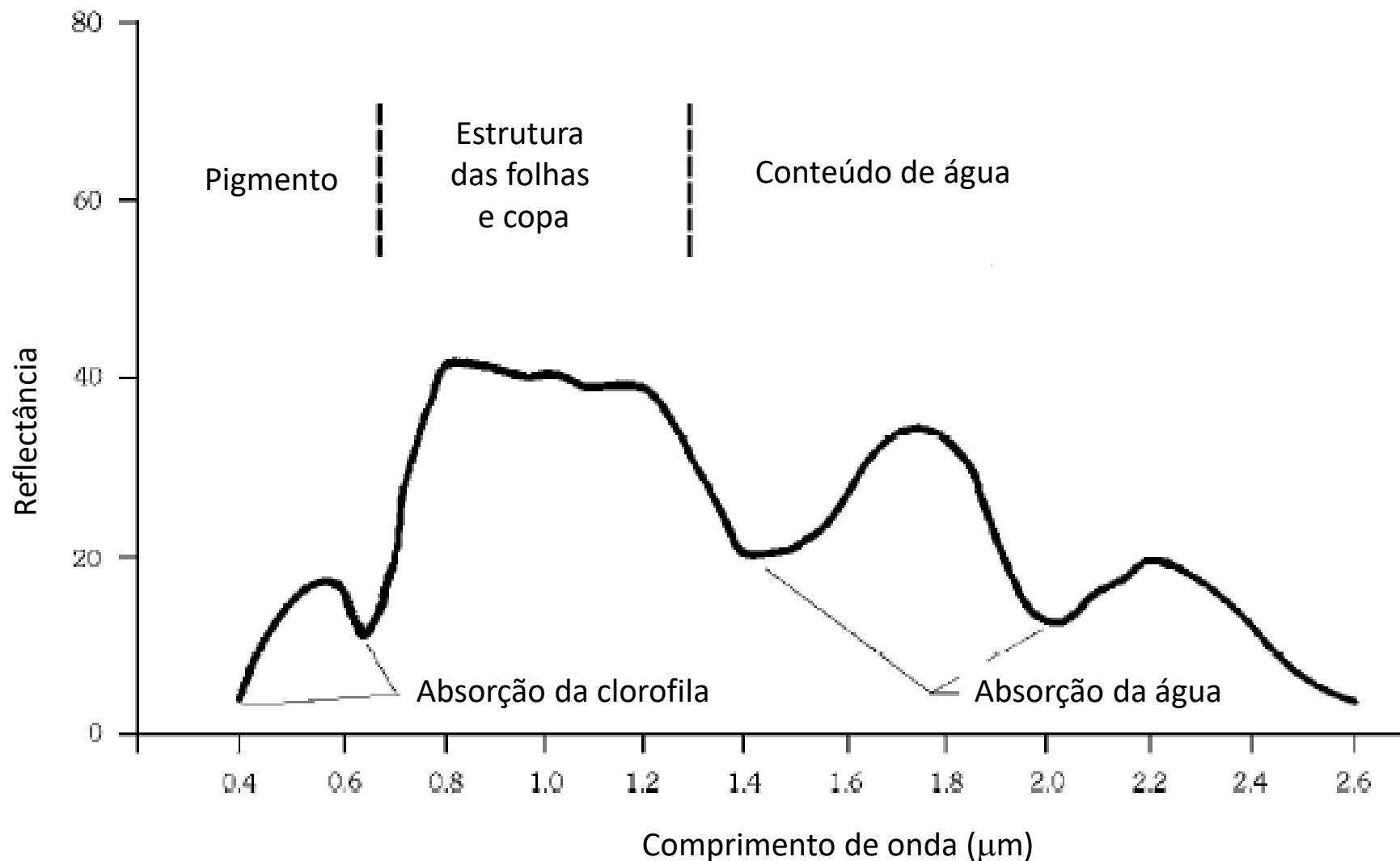
Exemplo de curvas de reflectância espectral

# Assinatura Espectral da vegetação

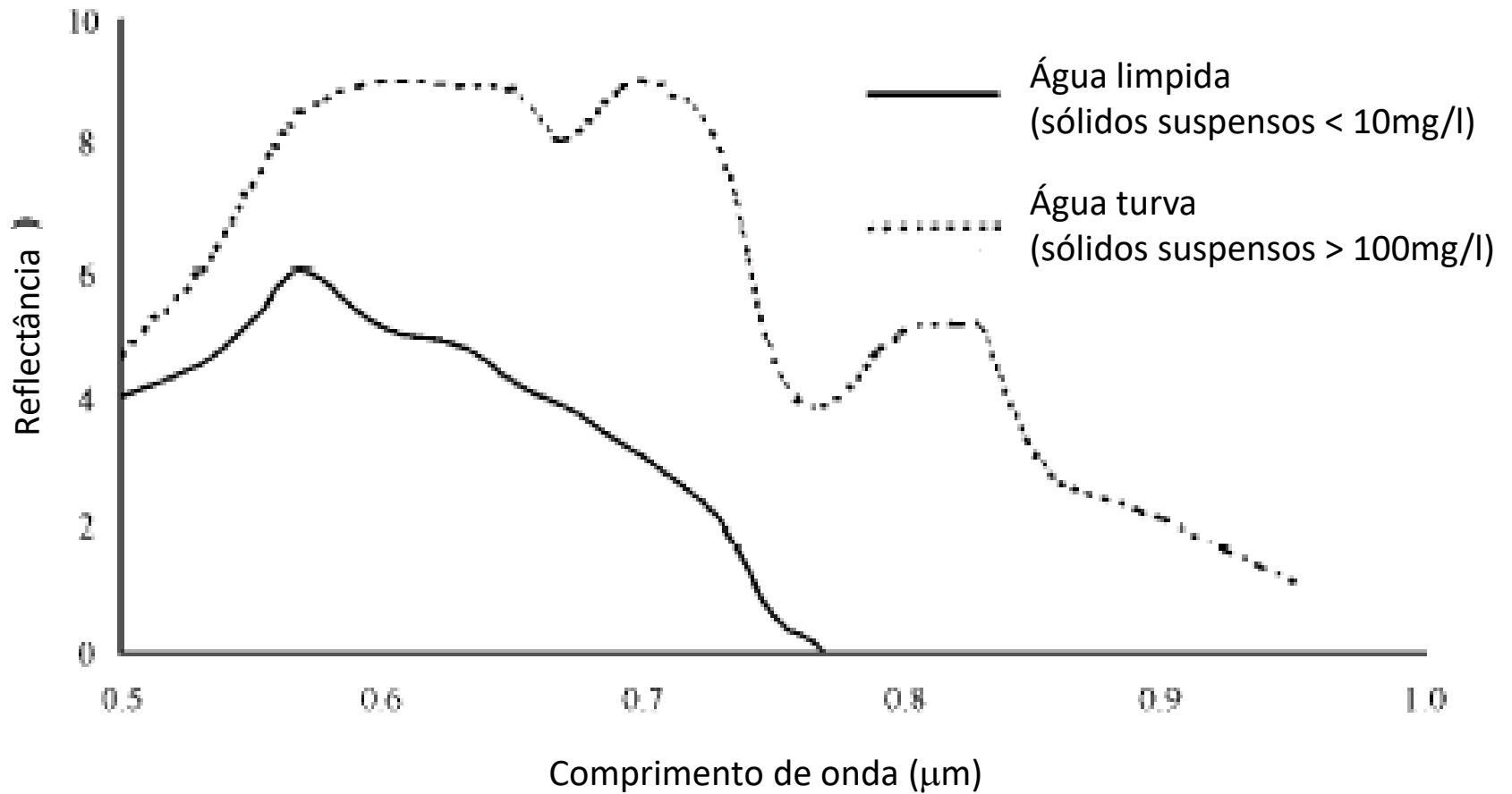


Exemplo de curvas de reflectância espectral

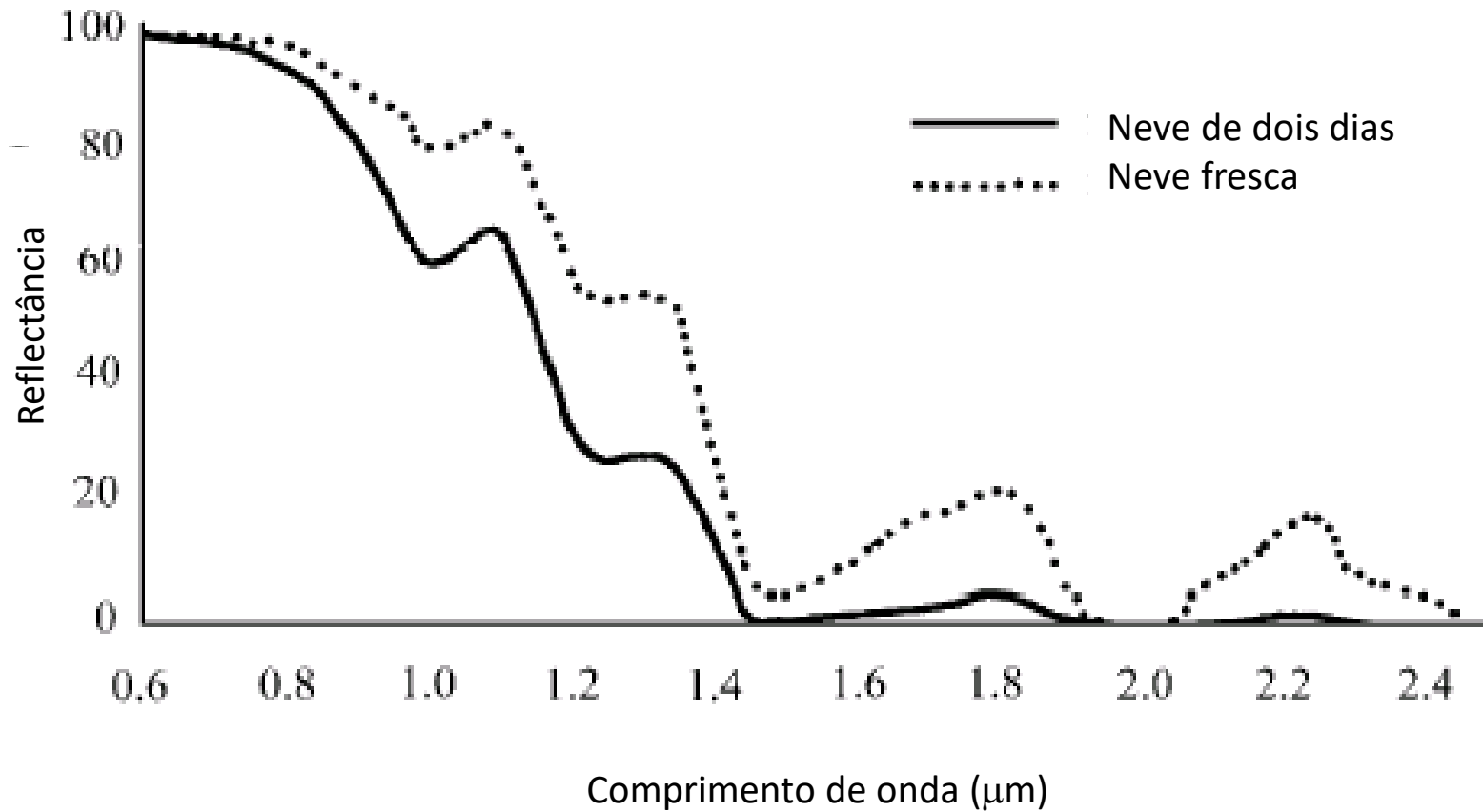
# Vegetation reflectance



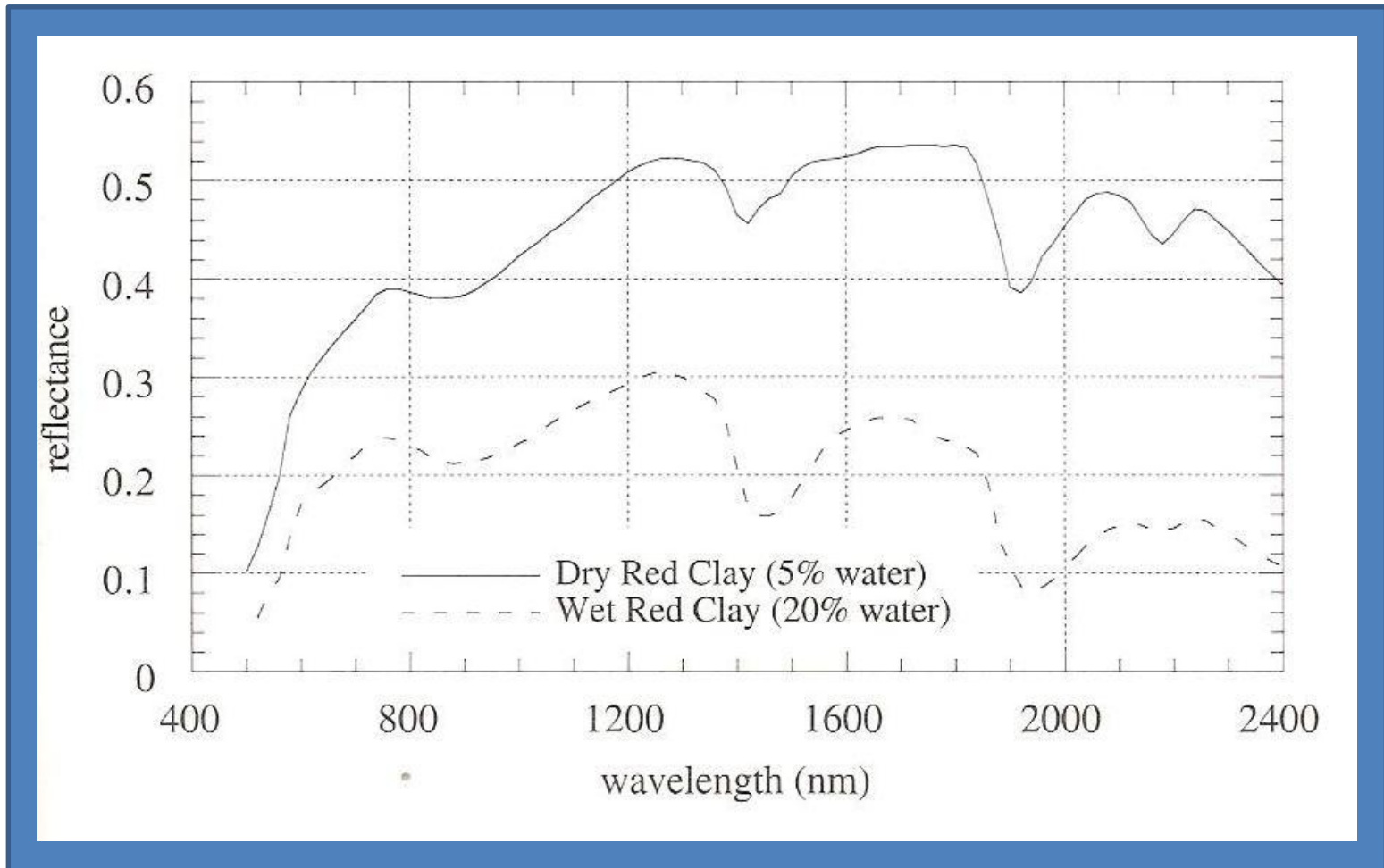
# Water reflectance



# Snow reflectance

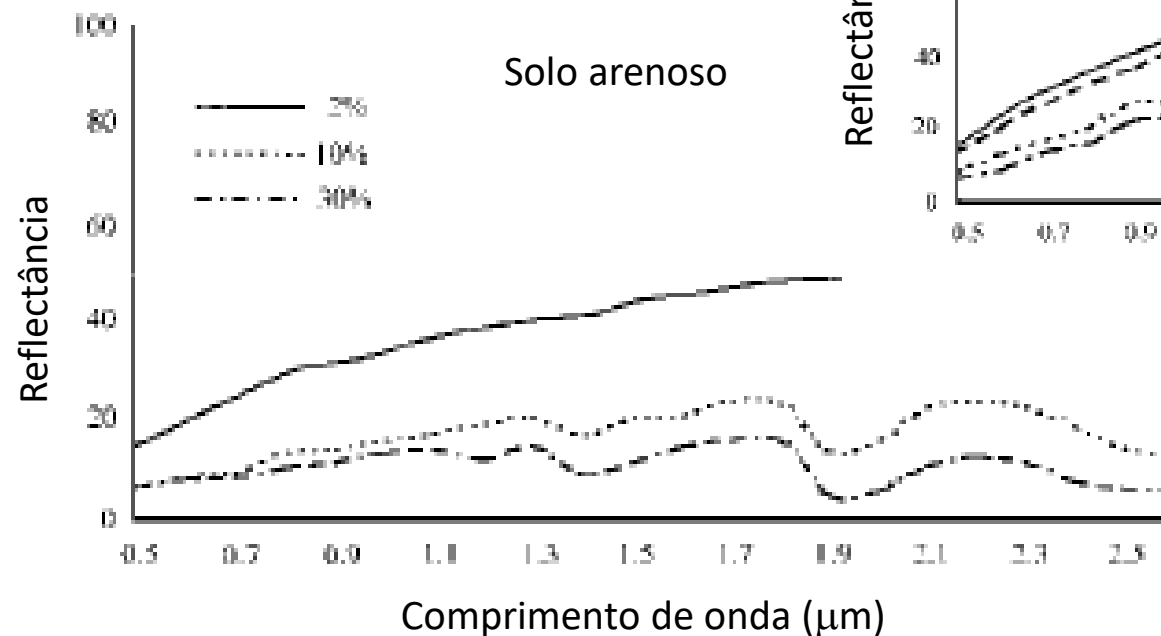
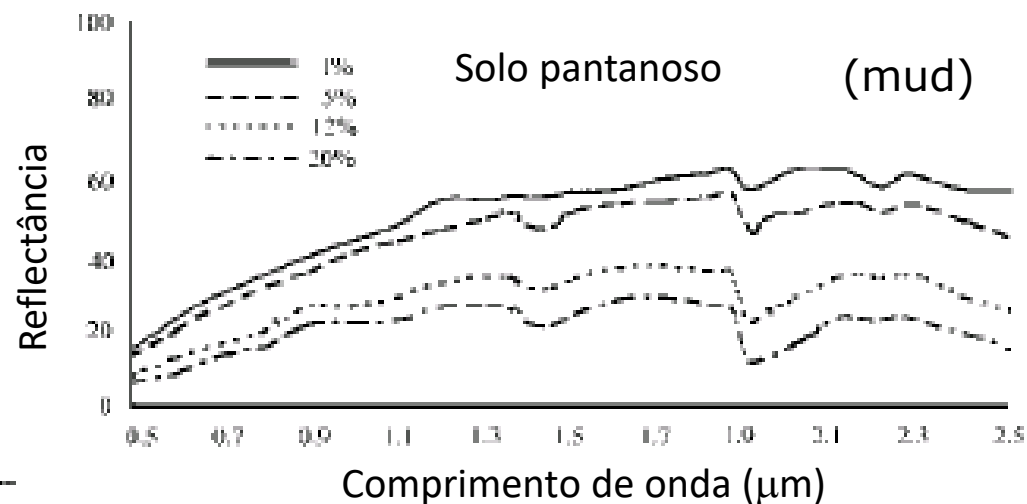
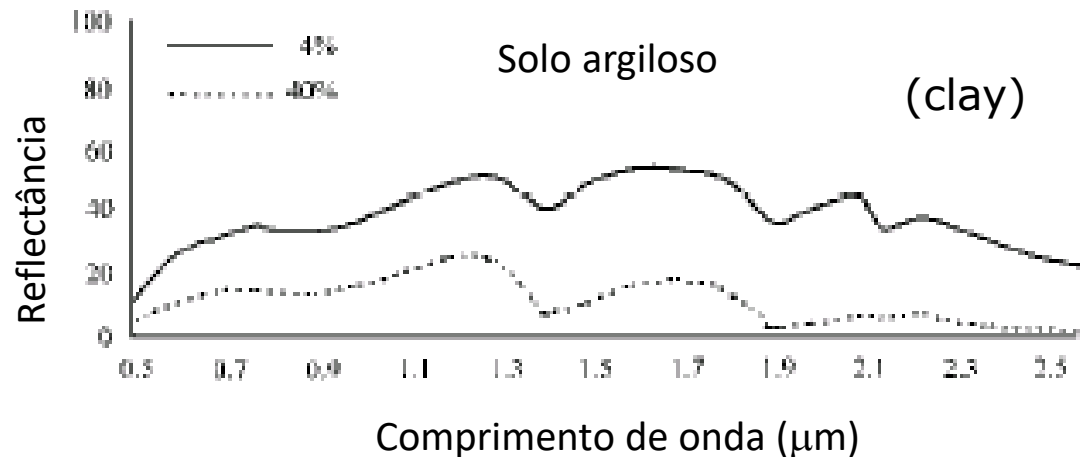


# Assinatura Espectral

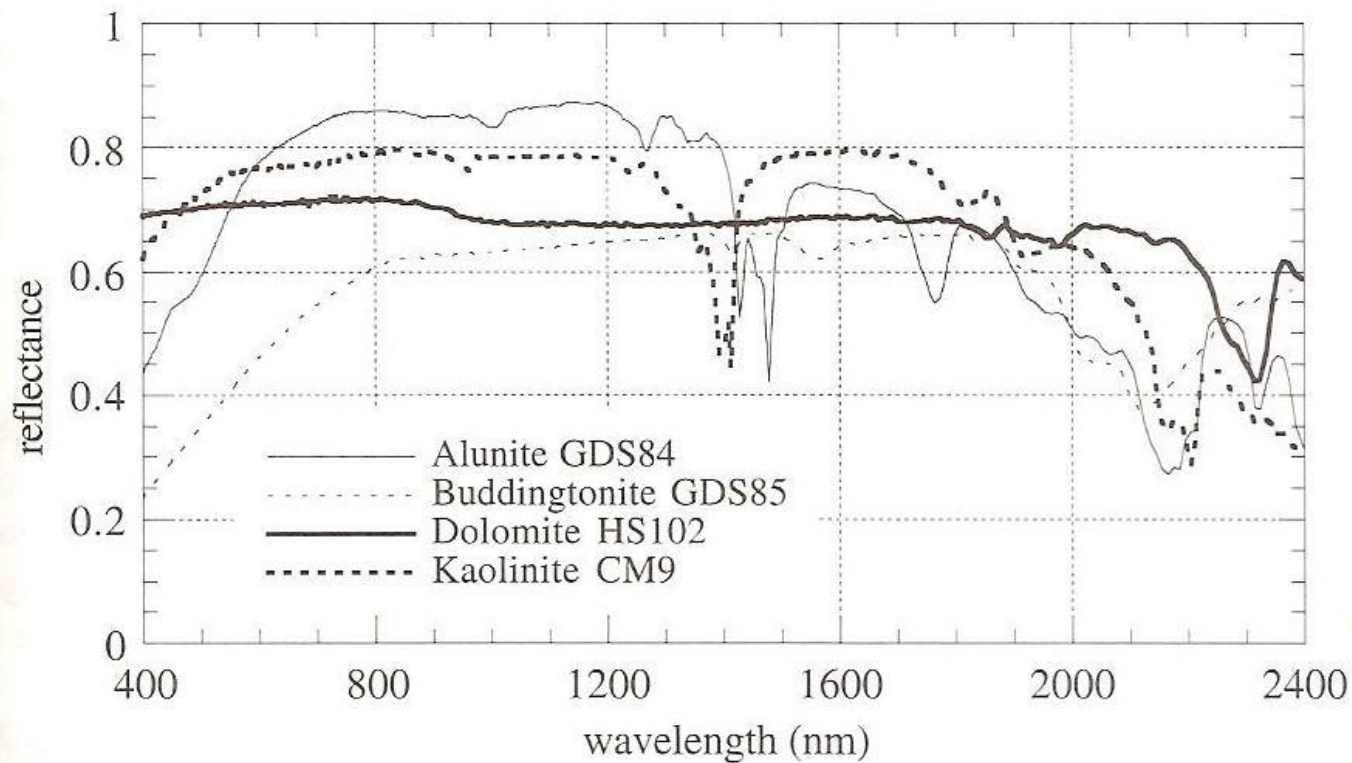


Exemplo de curvas de reflectância espectral (Clay = argila)

A curva de refletividade de diferentes solos nu com a variação do teor de humidade

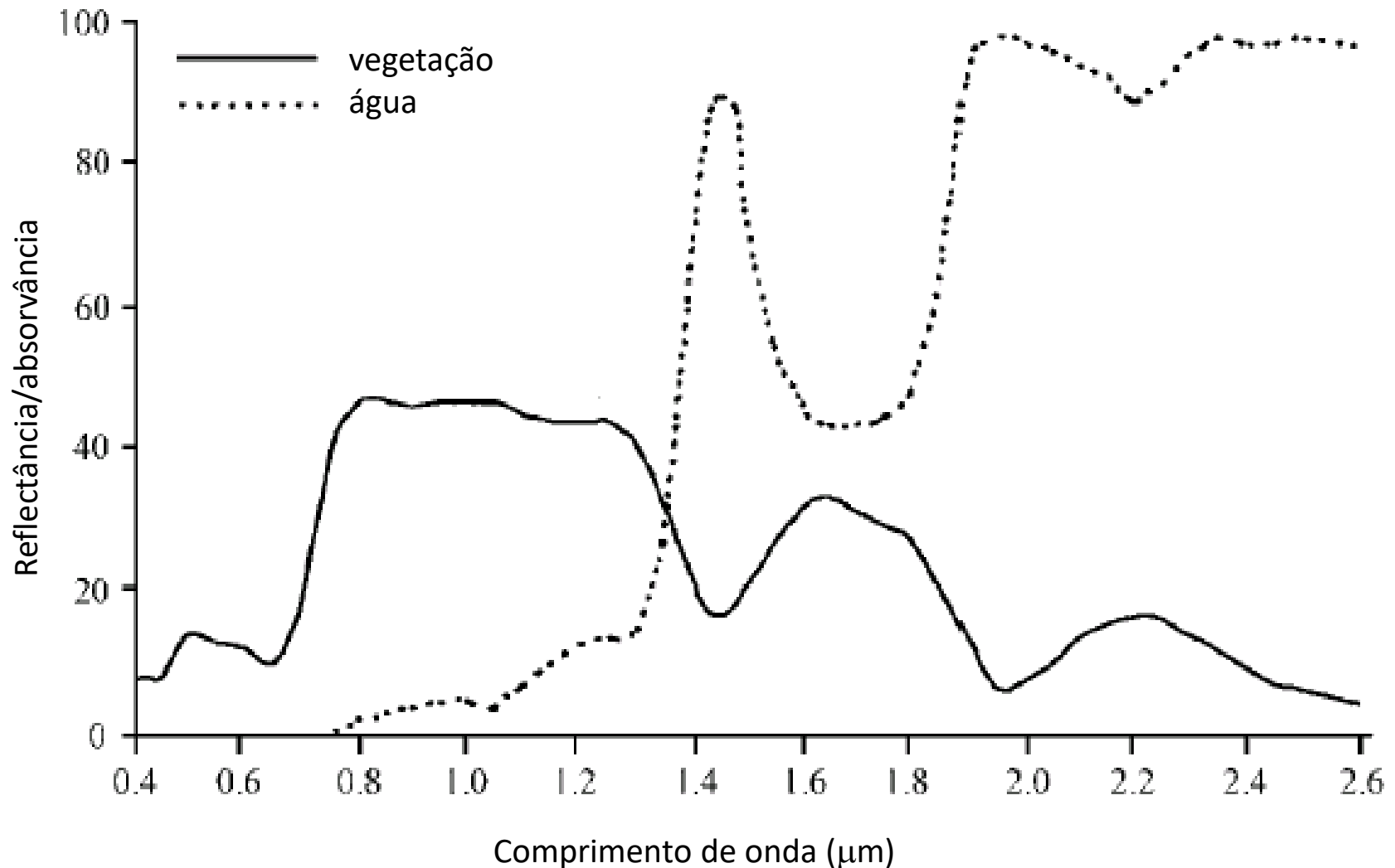


# Assinatura Espectral



Exemplo de curvas de reflectância espectral

# Comparação entre a curva de refletividade da vegetação e a curva de absorção da água

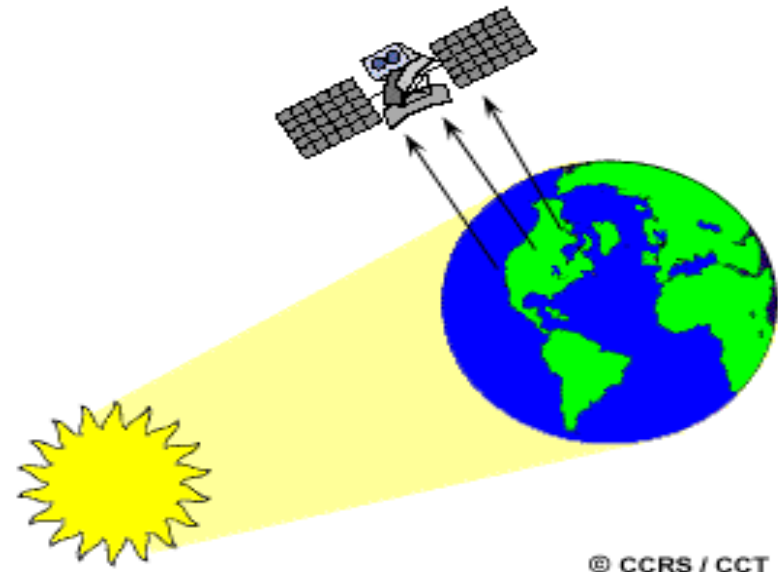


# Detecção Passiva vs Activa

1+

**A energia do Sol é:**

- ☐ **reflectida**, no caso dos comprimentos de onda no visível, ou
- ☐ **Reemitida**, no caso do infravermelho térmico.



## Sensores Passivos

Os sistemas de Detecção Remota que registam a energia disponível.

Só funciona de dia quando há luz Solar

A energia do IV térmico pode ser detectada de noite ou de dia desde que em quantidade suficiente para ser registada

# Detecção Passiva vs Activa

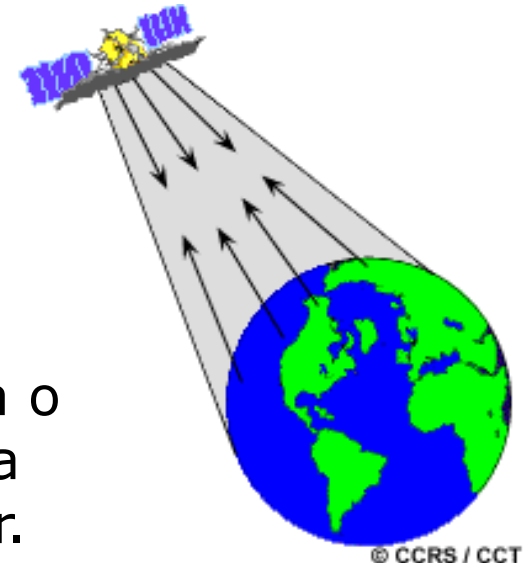
## Sensores Activos

Os Sensores Activos têm a sua própria fonte de iluminação.

O sensor emite radiação directamente para o alvo a ser investigado. A radiação reflectida pelo alvo é detectada e medida pelo sensor.

As vantagens dos sensores activos é que podem funcionar a qualquer hora do dia

Estes sensores podem ser usados para examinar a interação com a superfície de comprimentos de onda que são fracamente fornecidos pelo Sol – tipo micro-ondas.





# Tipos de sensores

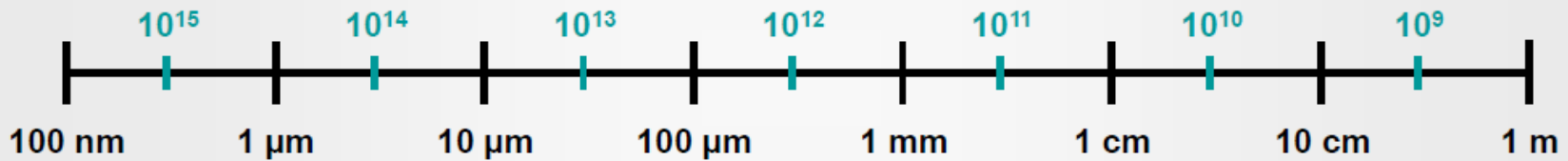
*Spaceborne sensors for Earth remote sensing with electromagnetic waves*

## active sensors

Lidar

Radar

Frequency (Hz)



visible thermal Infrared

Infrared

optical  
sensors

wave length

Microwave  
radiometers

## passive sensors

*Microwaves: 300 MHz – 300 GHz:  
(1 m – 1 mm)*

# Sensores Ópticos

Cada pixel representa uma média em cada uma das três dimensões:

Espaço

Comprimento de onda

Tempo

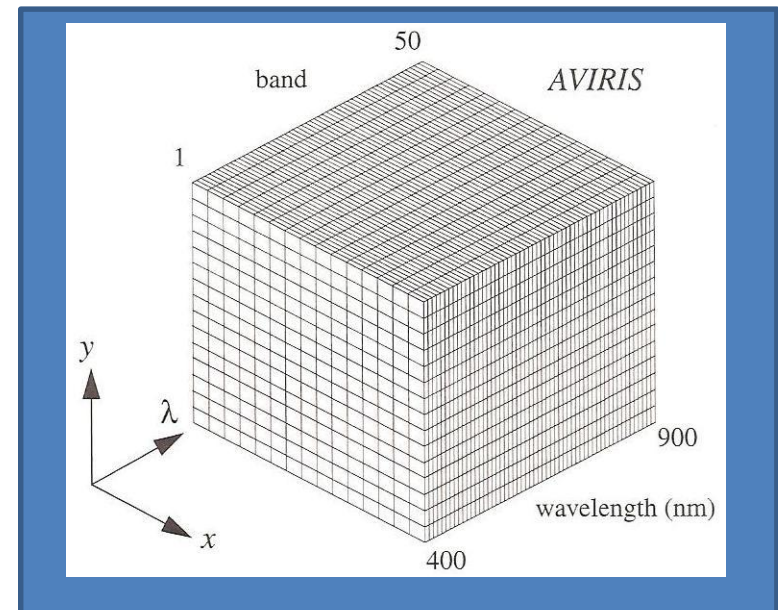
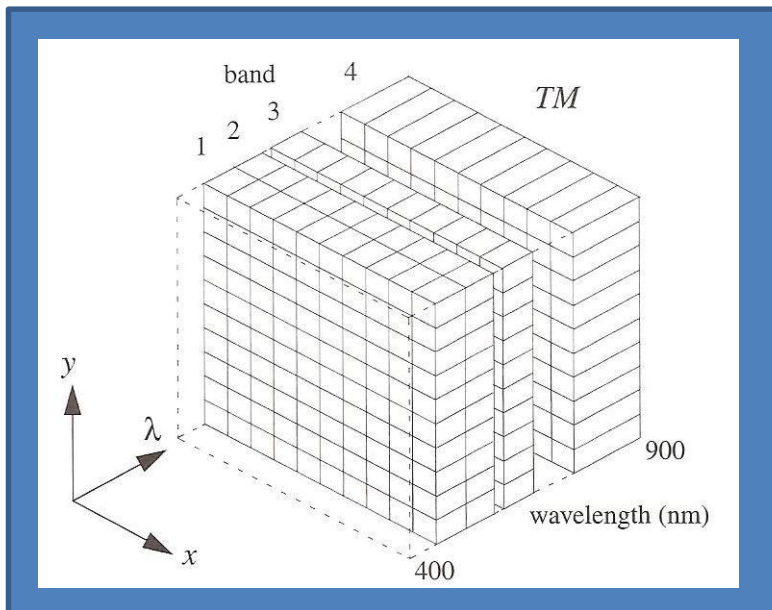
A média no tempo é geralmente muito pequena (na ordem dos micro segundos para sensores whiskbroom como TM e milissegundos para sensores pushbroom como o SPOT) e é inconsequente na maioria das aplicações.

A média no espaço e no comprimento de onda define as características dos dados nestas dimensões críticas.

Whiskbroom =  
movimento rápido

# Sensores Ópticos

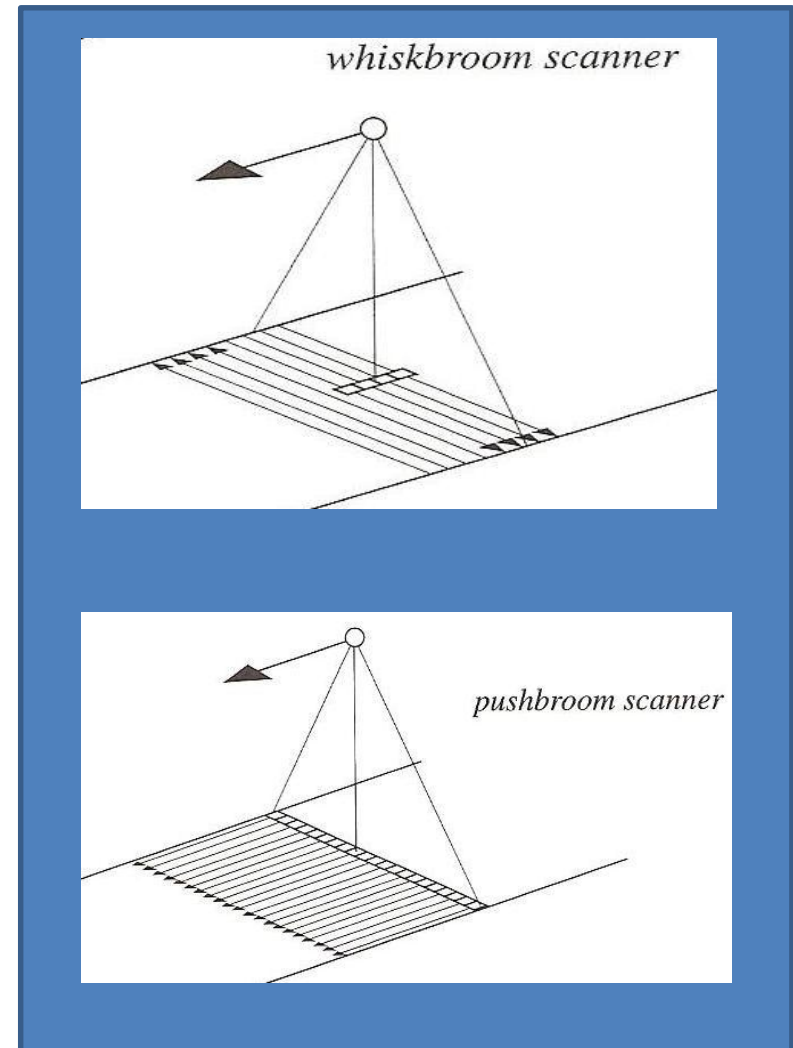
Se considerarmos um espaço contínuo tri-dimensional paramétrico  $(x, y, \lambda)$ , definido com as coordenadas  $(x, y)$  e o comprimento de onda  $(\lambda)$  podemos visualizar cada pixel de uma imagem como representando uma integração sobre um elemento de volume pequeno.



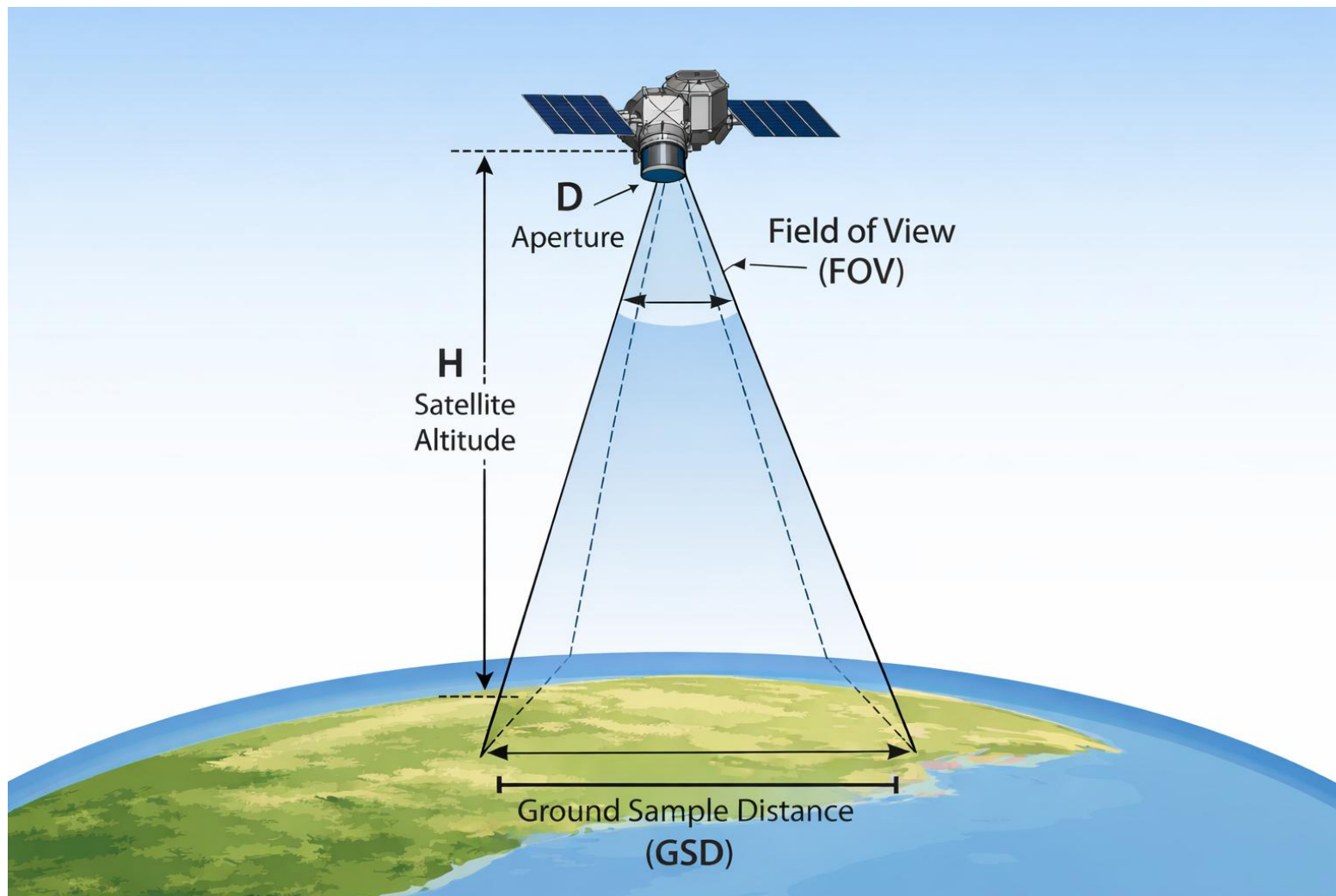
# Sensores Ópticos

**Os scanners whiskbroom,** como o Landsat TM, usam vários elementos detectores alinhados com a direcção do movimento para efectuar o varrimento paralelo.

**Os scanners Pushbroom,** como o SPOT, têm um vector linear de detectores (sensores) com milhares de elementos, alinhados cross-track que varrem a totalidade da largura da imagem em paralelo.



# Sensores Ópticos



# Sensores Ópticos

A quantidade mais frequentemente usada é o IFOV (Instantaneous Field of View) definido como o ângulo subtendido por um único detector no eixo do sistema óptico.

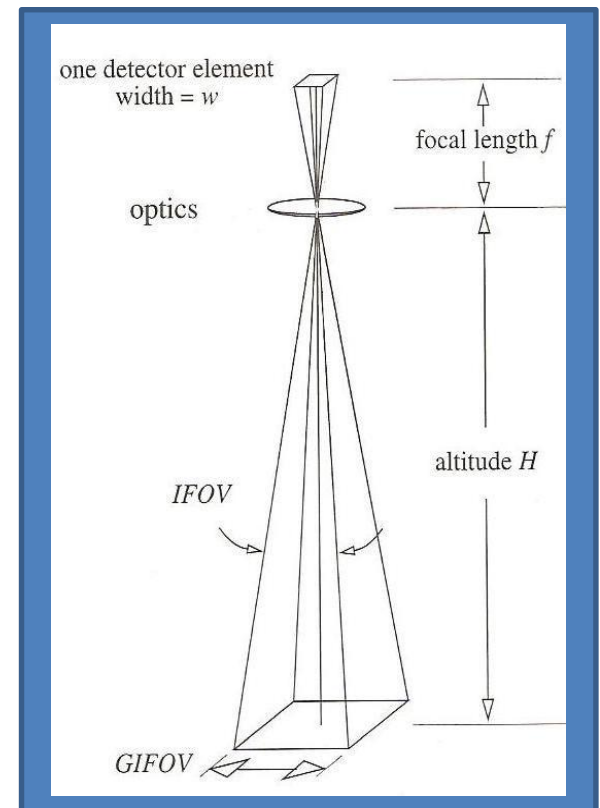
$$\text{IFOV} = \text{FOV} / (\text{número píxeis})$$

O IFOV é independente da altitude do satélite.

O valor de GIFOV é:

$$\text{GIFOV} = H \, \text{tg}(\text{IFOV})$$

ou GSD, Ground Sampling Distance



# Spatial Resolution as a Function of Wavelength

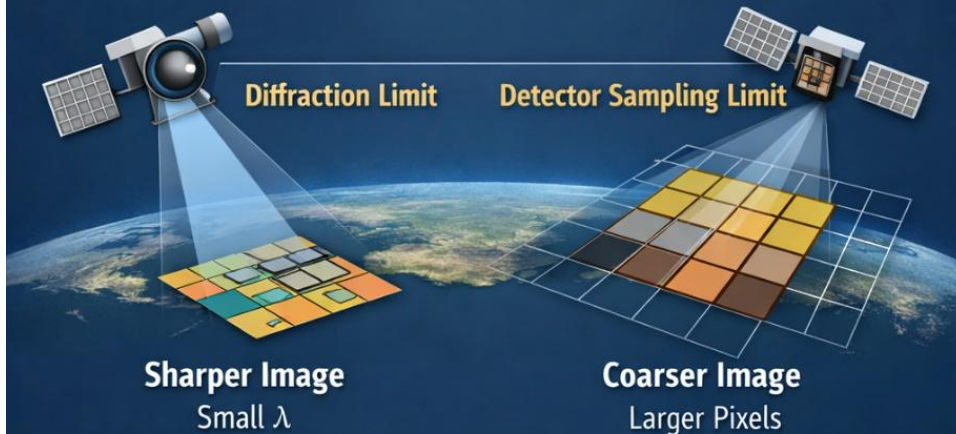
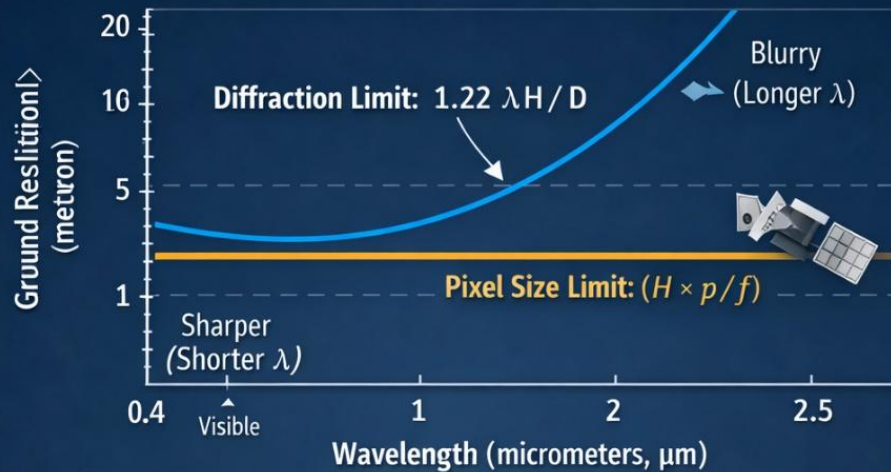
## ● Diffraction Limit:

Sharpness drops with longer wavelength ( $\lambda$ )



## ● Detector Sampling:

Pixel size limits the achieved resolution



$$\text{Resolution } (\lambda) = \max (1.22 \lambda H / D, H \times p / f)$$

Sentinel-2

$D = 0.15\text{m}; H = 786 \text{ km}$

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda H}{D}$$

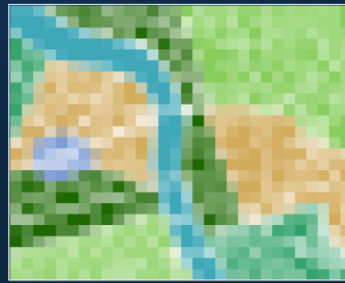
| $\lambda$ (nm) | Diffraction limit (m) |
|----------------|-----------------------|
| 490            | 3.13                  |
| 665            | 4.25                  |
| 842            | 5.38                  |
| 1610           | 10.29                 |
| 2190           | 14.00                 |

# Remote Sensing Resolutions

## SPATIAL RESOLUTION



1m pixel



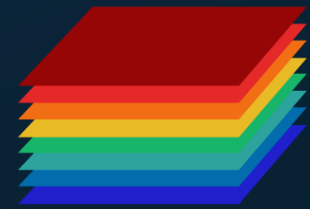
30m pixel

## SPECTRAL RESOLUTION

Wavelength ↑

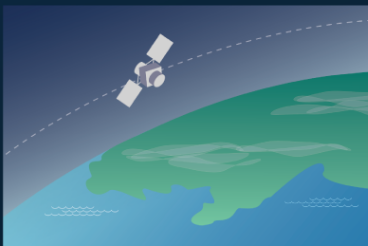


Coarse - 4 bands



Fine - 8 bands

## TEMPORAL RESOLUTION

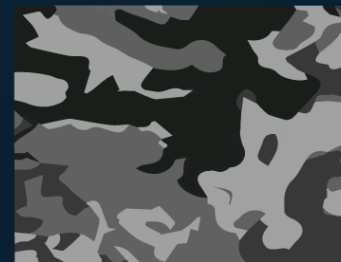


Lower - Annual

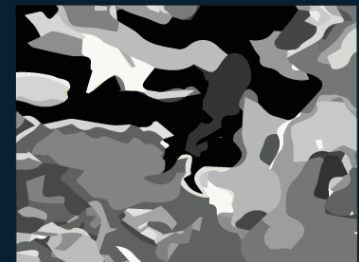


Higher - Daily

## RADIOMETRIC RESOLUTION



Coarse - 4 bit



Fine - 8 bit

# Resolução Espacial

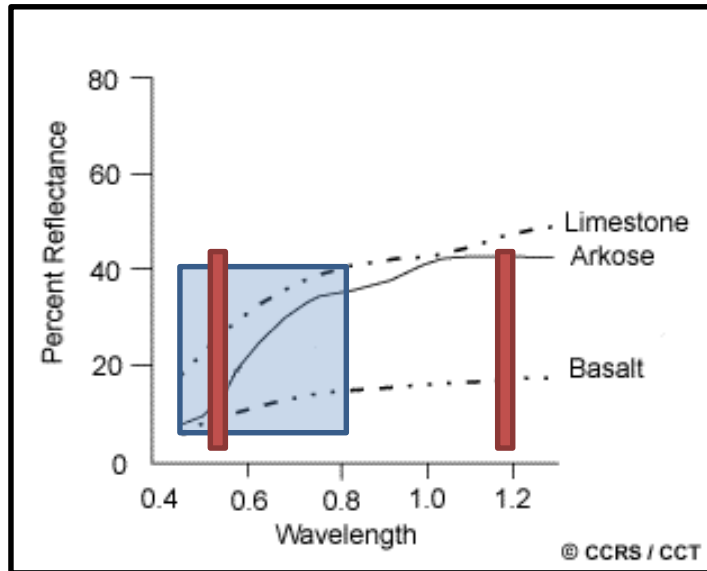
**A resolução espacial** é o valor do GIFOV, a menor dimensão representada na imagem.

Dizemos que a resolução **é baixa ou grosseira** quando não é possível observar elementos de pequena dimensão.

Dizemos que a resolução **é elevada** quando os pequenos objectos são detectáveis



# Resolução Espectral



A **Resolução Espectral** é a capacidade do sensor definir intervalos de comprimentos de onda finos.

Quanto mais fina a resolução espectral mais estreito o intervalo de comprimento de onda para uma determinada banda ou canal

Por exemplo estes tipos de rochas não poderão ser distinguidos com os intervalos de comprimentos de onda usados por este sensor.

# Resolução Espectral

---

Muitos sistemas de DR registam a energia em vários intervalos de comprimentos de onda separados com várias resoluções espectrais.



Estes sensores são referidos por:  
**Sensores multi-espectrais.**



Outros sensores mais avançados que detectam centenas de bandas muito estreitas desde o visível, ao IV próximo e médio do e.m. são chamados **Hiper-espectrais.**

Uma elevada resolução espectral facilita a discriminação entre diferentes alvos baseados na sua resposta espectral em cada uma das suas bandas estreitas

| Band number | S2C                           |                | Radiance sensibility range<br>Lmin < Lref < Lmax<br>(W.m <sup>-2</sup> .sr <sup>-1</sup> .μm <sup>-1</sup> ) | SNR @<br>Lref |
|-------------|-------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|             | Equivalent wavelength<br>(nm) | Bandwidth (nm) |                                                                                                              |               |
| 1           | 444.2                         | 21             | 15.97 < 129.11 < 587.87                                                                                      | 894           |
| 2           | 489.0                         | 65             | 11.70 < 128.00 < 615.48                                                                                      | 162           |
| 3           | 560.6                         | 36             | 6.49 < 128.00 < 559.01                                                                                       | 189           |
| 4           | 666.5                         | 30             | 3.31 < 108.00 < 484.13                                                                                       | 175           |
| 5           | 707.1                         | 15             | 2.61 < 74.60 < 449.55                                                                                        | 192           |
| 6           | 741.1                         | 15             | 2.06 < 68.23 < 412.92                                                                                        | 169           |
| 7           | 784.7                         | 21             | 1.67 < 66.70 < 387.08                                                                                        | 161           |
| 8           | 834.6                         | 114            | 0.95 < 103.00 < 307.80                                                                                       | 174           |
| 8a          | 865.6                         | 20             | 0.95 < 52.39 < 307.80                                                                                        | 117           |
| 9           | 947.2                         | 20             | 0.51 < 8.77 < 232.91                                                                                         | 135           |
| 10          | 1372.2                        | 33             | 0.06 < 6.00 < 45.00                                                                                          | 301           |
| 11          | 1612.0                        | 89             | 0.40 < 4.00 < 69.78                                                                                          | 133           |
| 12          | 2191.3                        | 182            | 0.10 < 1.70 < 24.60                                                                                          | 141           |

Resolução  
espectral do  
Sentinel-2

# Resolução Radiométrica



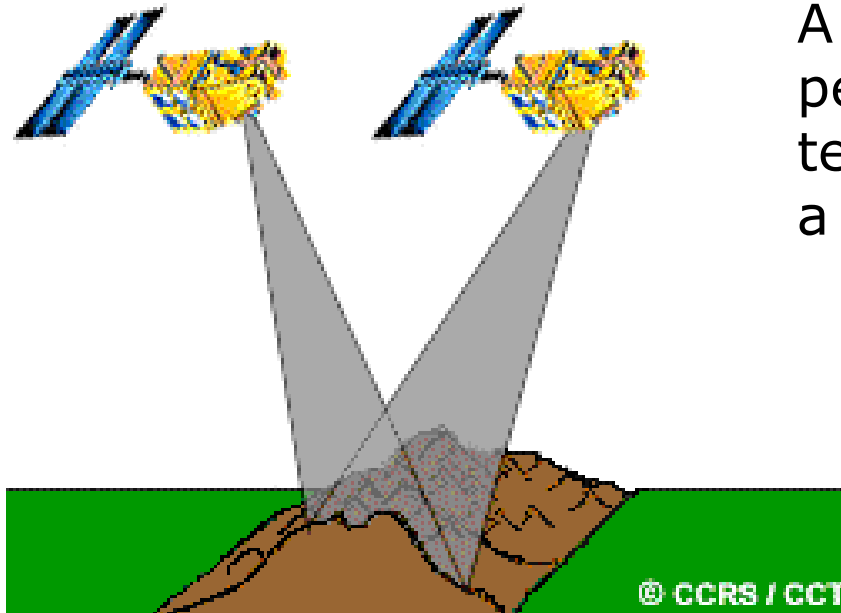
A resolução radiométrica de uma imagem descreve a capacidade de discriminar pequenas diferenças na energia.

Quanto maior a resolução radiométrica de um sensor mais sensível será na detecção de pequenas diferenças na energia reflectida ou emitida.

Quanto maior for o número de bits para representar os valores de intensidade de uma imagem maior será a sua resolução radiométrica.

( este assunto será retomado seguidamente)

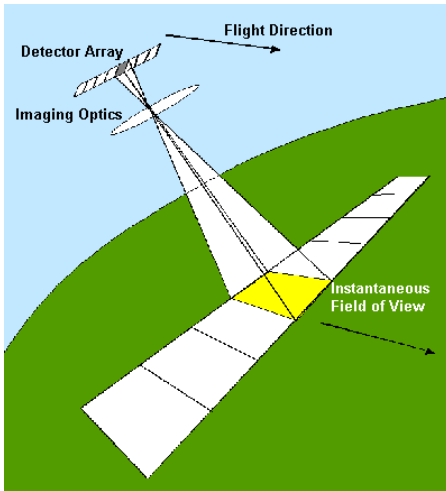
# Resolução Temporal



A resolução temporal é o período de revisita, ou seja o tempo que demora um satélite a completar um ciclo orbital.

O período de revisita é geralmente de vários dias. No caso do Sentinel1 é 12 dias, Landsat 15 dias, SPOT 26 dias.

Alguns satélites têm a capacidade de redireccionar os sensores e permitir registar dados de uma área em passagens (traços) diferentes separados por períodos de um até 5 dias.



Em cada píxel, é medido pelo sensor a **radiância** de uma área relativamente pequena do total da imagem.

A radiância “vista” pelo detector em cada pixel é convertida num sinal eléctrico e posteriormente quantificado num valor discreto inteiro:



**O Número Digital (DN)**

Nos dados digitais é usado um número finito de bits, **Q**, para codificar como números binários os dados contínuos de medição. O número discreto de DNs é dado por:

$$N_{DN} = 2^Q \quad (Q=8 \text{ bits} , N= 256 \text{ níveis})$$

Quanto maior o valor de  $Q$ , mais aproximado é o valor registado dos dados contínuos originais e maior a **resolução radiométrica** do sensor.

Os sensores SPOT e TM têm 8 bits por pixel, enquanto que o MODIS, Landsat-8 e Sentinel-2 têm 12 bits.

Em resumo:

Um pixel é caracterizado, numa primeira ordem, por três quantidades:

GIFOV  
(resolução efectiva no terreno)

resolução espectral  
(numero de bandas)

Resolução  
radiométrica  
(numero de bits)

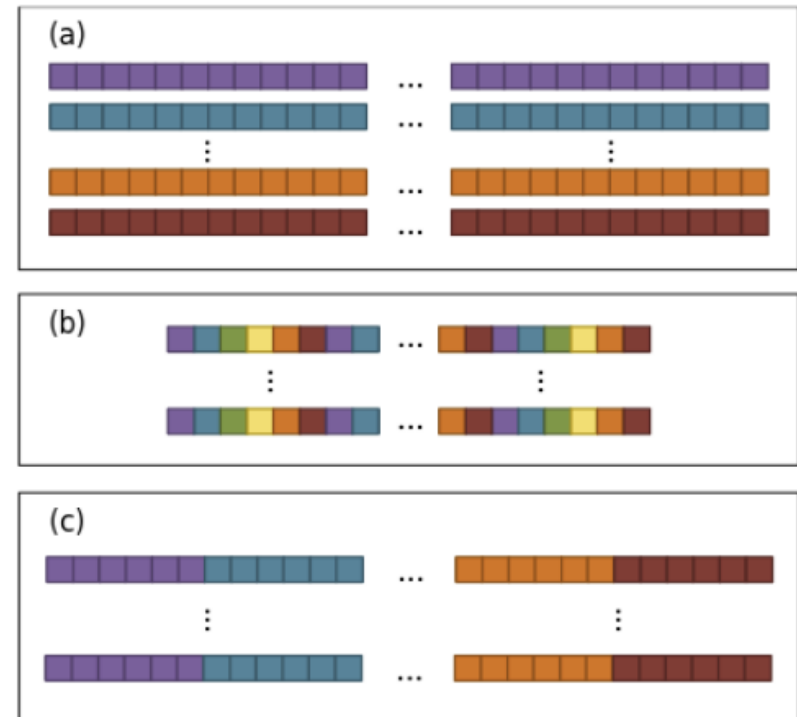
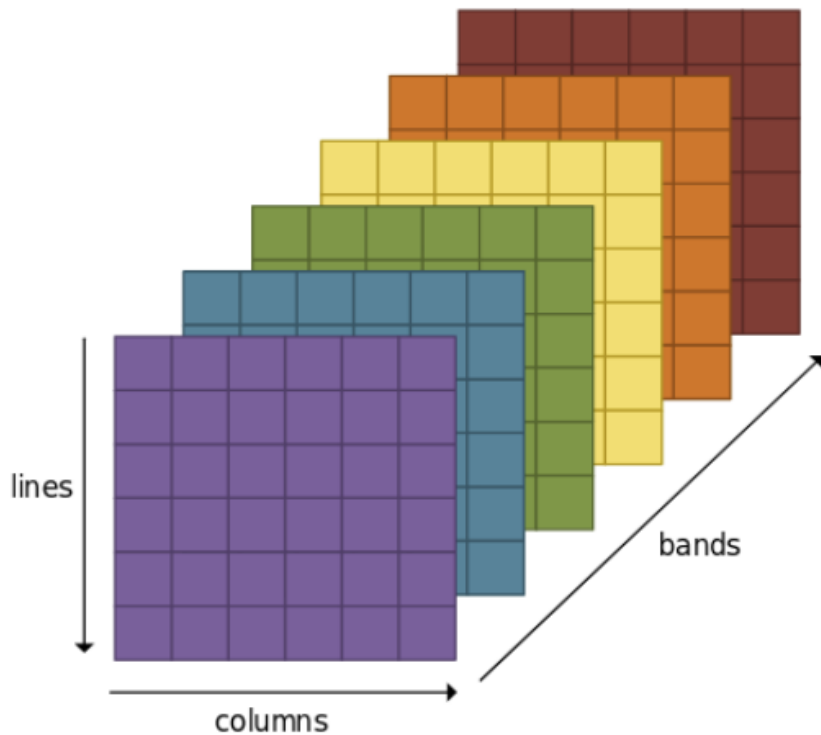
As imagens de Detecção Remota são guardadas no disco num dos três formatos:

BSQ (Band SeQuential)  
BIP (Band Interleaved by Pixel)  
(BIS – Band Interleaved by Sample)  
BIL (Band Interleaved by Lines)

Estes formatos são determinados por diferentes ordenações das três dimensões dos dados. Do ponto de vista do tempo de acesso:

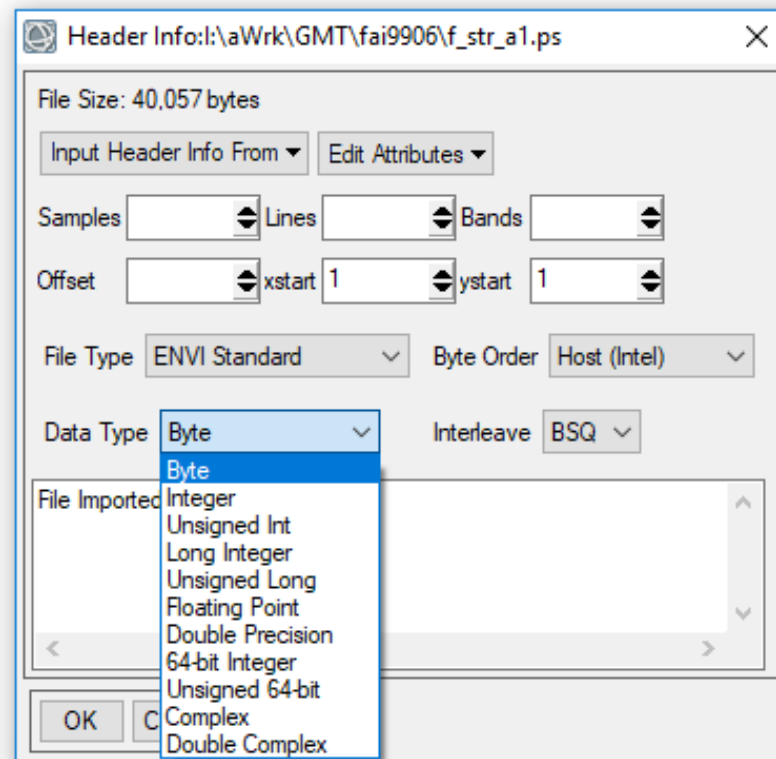
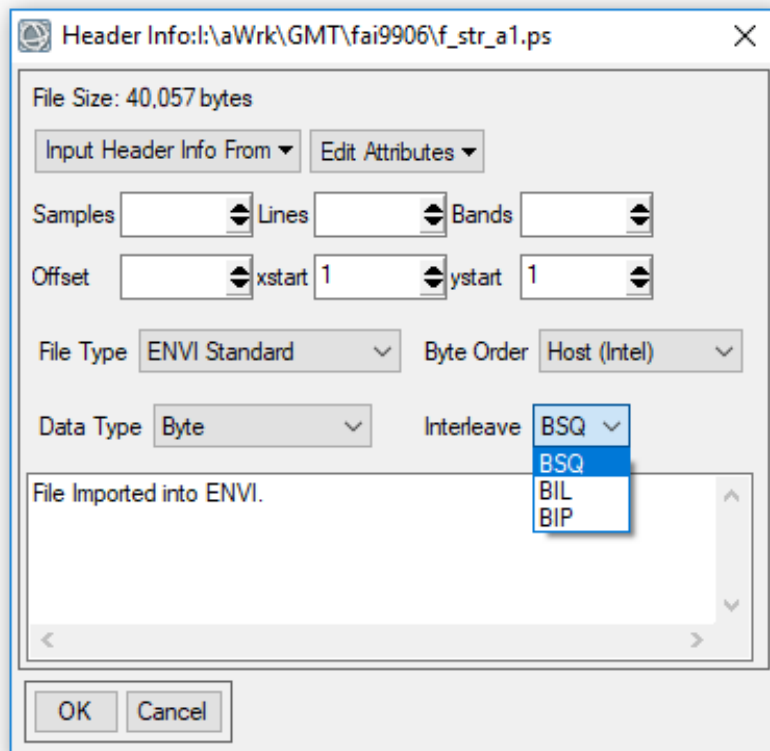
- ❑ o formato BSQ é preferível se estamos interessados em trabalhar individualmente com as bandas
- ❑ o formato BIS é preferível se estamos a trabalhar com todas as bandas numa pequena área.

# Sistemas de Imagem



- a) BSQ (Band Sequential)
- b) BIP (Band Interleaved by Pixel)
- c) BIL (Band Interleaved by Lines)

# Leitura de um ficheiro imagem binário



map info

Lists geographic information in the following order:

- Projection name
- Reference (tie point) pixel **x** location (in file coordinates)
- Reference (tie point) pixel **y** location (in file coordinates)
- Pixel easting
- Pixel northing
- x pixel size
- y pixel size
- Projection zone (UTM only)
- North or South (UTM only)
- Datum
- Units

See [Enter Map Information for Georeferenced Files](#) for further details.

s follows:

data reflectance offset values = REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_1 / SIN(sun\_elevation)

values

data type

The type of data representation:

- 1 = Byte: 8-bit unsigned integer
- 2 = Integer: 16-bit signed integer
- 3 = Long: 32-bit signed integer
- 4 = Floating-point: 32-bit single-precision
- 5 = Double-precision: 64-bit double-precision floating-point
- 6 = Complex: Real-imaginary pair of single-precision floating-point
- 9 = Double-precision complex: Real-imaginary pair of double precision floating-point
- 12 = Unsigned integer: 16-bit
- 13 = Unsigned long integer: 32-bit
- 14 = 64-bit long integer (signed)
- 15 = 64-bit unsigned long integer (unsigned)

default  
bands

Indicates which band numbers to automatically load into the Data Manager **Greyscale** or **R**, **G**, and **B** fields every time the file is opened. By default, a new image is automatically loaded when a file that has default bands defined in its header is opened. If only one band number is used, then ENVI loads a greyscale image.

default  
stretch  
dem band

Determines what type of stretch (% linear, linear range, Gaussian, equalization, square root) to use when ENVI displays the image.

dem file

Index (starting at 1) of a selected [DEM band associated with the image](#). The dem band is not written if the DEM file contains a single band, or if the first band is chosen. In these cases, the dem band value defaults to 0.

description

Path and filename of a [DEM associated with the image](#).



Ciências  
ULisboa

# Sentinel Hub, Playground

<https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/>

sentinelhub Playground 2021-08-12 20%

Go to Place

Rendering Effects

Custom

Natural color  
Based on bands 4,3,2

Color Infrared (vegetation)  
Based on bands 8,4,3

Vegetation Index  
Based on combination of bands (B8 - B4)/(B8 + B4)

False color (urban)  
Based on bands 12,11,4

Moisture index  
Based on combination of bands (B6A - B11)/(B6A + B11)

SWIR  
Based on bands 12,8A,4

NDWI  
Based on combination of bands (B3 - B8)/(B3 + B8)

NDSI  
Based on combination of bands (B3 - B11)/(B3 + B11)

Scene classification map  
Scene classification data, based on Sen2Cor processor

GENERATE

CREATE YOUR OWN SATELLITE VISUALIZATIONS!

THEMES, TIME-LAPSES, HIGH-RESOLUTION IMAGES AND MORE. VISIT EO BROWSER!

GET SATELLITE DATA SEAMLESSLY INTO YOUR FAVORITE GIS APPLICATION

OpenStreetMap © Sentinel Hub

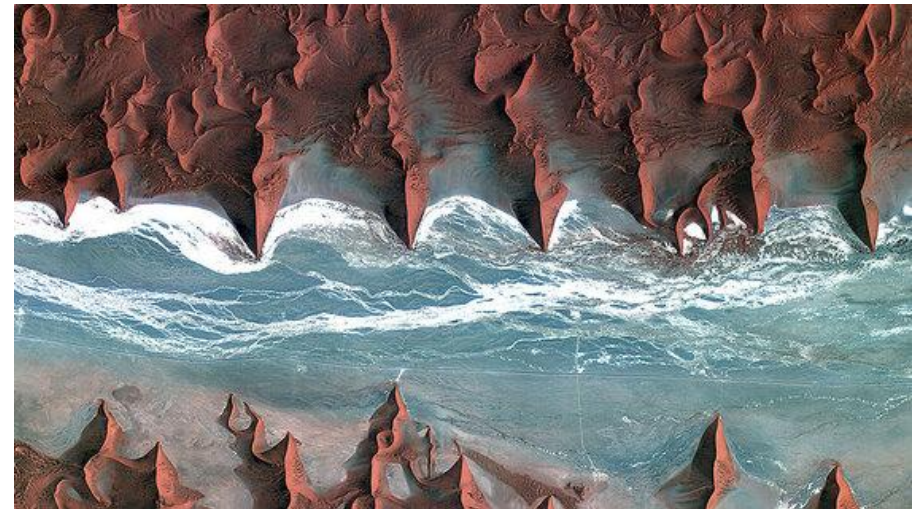
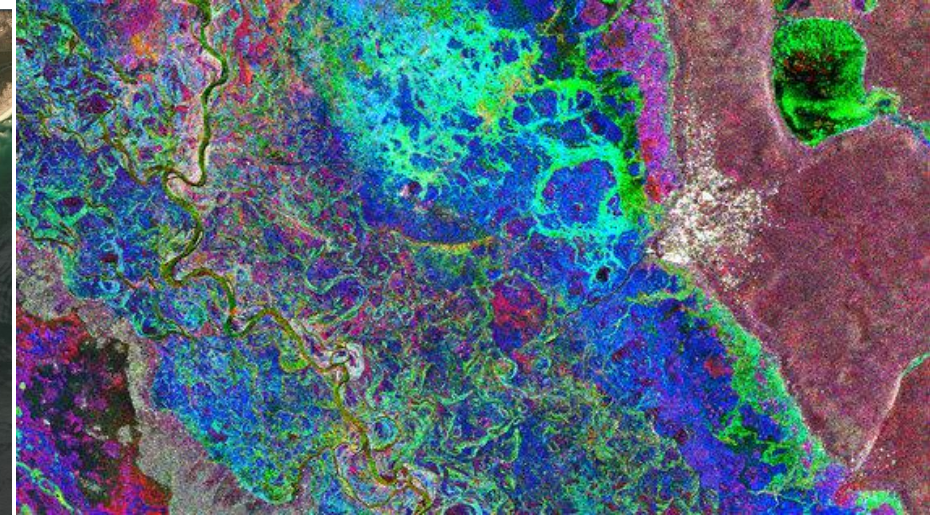
13°C Mostly sunny

ENG 10:25  
PT 07/03/2022

# Imagens

## Sentinel-2, Envisat, Landsat-8, Kompsat-2

---

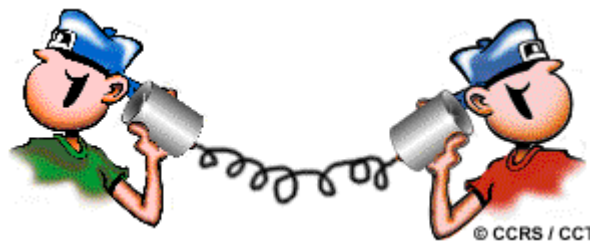


# **FIM do 1º Capítulo**

## **Curiosidades e questões**

# Questões

Pode a Detecção Remota usar algo mais que a radiação electromagnética?



## Resposta:

Embora o uso do termo detecção remota pressuponha o uso de radiação electromagnética, a definição mais geral de “aquisição de informação à distância”, não exclui outras formas de energia. O uso do som é uma alternativa óbvia.

Um exemplo são os sonares acústicos usados no mar.

# Questões

Assumindo que a velocidade da luz é  $3 \times 10^8$  m/s. Se a frequência de uma onda electromagnética é de 500.000 GHz (giga hertz GHz =  $10^9$  Hz), qual é o comprimento de onda da radiação? Expresse sua resposta em micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).

**Resposta:**

$$c = \lambda f$$

$$3 \times 10^8 \text{ (m/s)} = \lambda \text{ (m)} (500000 \times 10^9 \text{ Hz})$$

$$\lambda = 3 \times 10^8 / 5 \times 10^{14} = 6 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1} (f=1/T)$$

Reposta :  $0.6 \mu\text{m}$

Quais seriam as condições atmosféricas ideais para a DR na área do visível?

## Resposta:

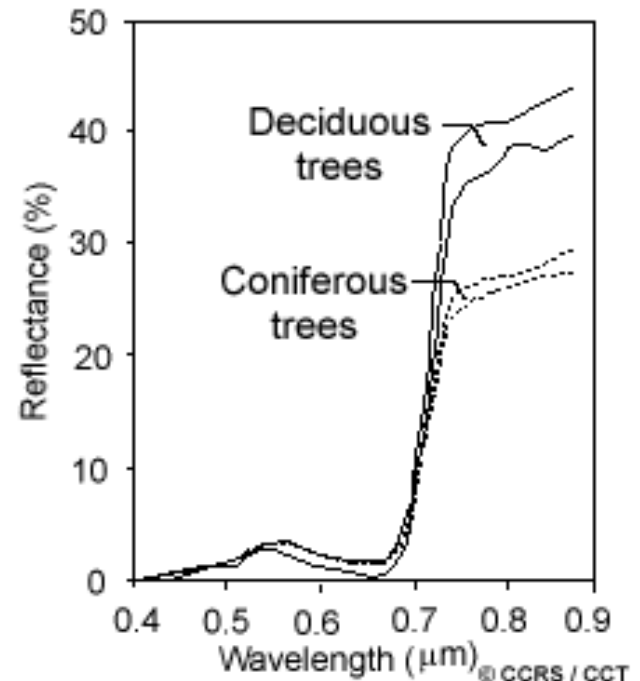
Por volta do meio-dia num dia de sol, seco, sem nuvens e nenhuma poluição seria o ideal para a DR.

Ao meio-dia o sol está no seu ponto mais alto, o que reduz a distancia que a radiação tem de percorrer e, portanto, os efeitos de difusão são mínimos.

# Questões

Se pretendêssemos mapear as árvores de folha caduca e as coníferas (por exemplo, pinheiros, ou abetos) numa floresta usando dados de DR, qual seria a melhor maneira de fazer este mapeamento?

Use as curvas de reflectância que ilustram o padrão de resposta espectral destas espécies para explicar a resposta.



## Resposta:

Como ambos os tipos de árvores aparecem verdes ao olho nu não poderemos usar a banda do visível.

Olhando para as curvas da reflectância para os dois tipos de árvores, é claro que seria difícil distinguir com qualquer um dos comprimentos de onda visíveis.

No entanto, no infravermelho próximo, embora ambos os tipos reflectam uma parte significativa da radiação, são claramente separáveis.

Assim, um sistema de DR que detecte o infravermelho próximo ( $0,8 \mu\text{m}$  de comprimento de onda) seria ideal para esta finalidade.

Qual é a vantagem de se trabalhar com várias bandas espectrais como combinação colorida em vez de se examinar cada uma das imagens individualmente?

## **Resposta:**

Combinando diferentes canais de diferentes comprimentos de onda numa imagem , podemos conseguir identificar combinações de reflectância entre os diferentes canais que evidenciem entidades/ características que de outra forma não poderiam ser detectadas, se examinássemos um canal de cada vez.

Adicionalmente, estas combinações podem manifestar , elas mesmo, um subtil variação na cor (aos quais os nossos olhos sejam mais sensíveis) mais que as variações nos tons de cinzento que seriam vistos quando examinamos cada banda individualmente.

# Questões

Uma imagem digitalizada, 2 bandas 7 x 7, sistema BIL

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 6 | 7 | 7 | 7 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 6 | 2 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 5 | 5 | 6 | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 6 | 6 | 8 | 5 | 3 | 5 | 7 | 6 | 6 | 8 | 2 | 2 | 6 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 8 | 7 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 8 | 7 | 3 | 6 | 8 | 8 | 8 | 7 | 4 | 3 | 5 | 8 | 8 | 8 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 6 | 8 | 7 | 2 | 3 | 2 | 4 | 5 | 8 | 7 | 1 | 0 | 0 | 4 | 6 | 7 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|

A imagem na sua forma convencional

|   |   | PIXELS |   |   |   |   |   |   |
|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|
|   |   | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| L | 1 |        |   |   |   |   |   |   |
| I | 2 |        |   |   |   |   |   |   |
| N | 3 |        |   |   |   |   |   |   |
| E | 4 |        |   |   |   |   |   |   |
| S | 5 |        |   |   |   |   |   |   |
|   | 6 |        |   |   |   |   |   |   |
|   | 7 |        |   |   |   |   |   |   |

BANDA 'A'

|   |   | PIXELS |   |   |   |   |   |   |
|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|
|   |   | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| L | 1 |        |   |   |   |   |   |   |
| I | 2 |        |   |   |   |   |   |   |
| N | 3 |        |   |   |   |   |   |   |
| E | 4 |        |   |   |   |   |   |   |
| S | 5 |        |   |   |   |   |   |   |
|   | 6 |        |   |   |   |   |   |   |
|   | 7 |        |   |   |   |   |   |   |

BANDA 'B'

## A imagem na sua forma convencional

|   |   | PIXELS |   |   |   |   |   |   |
|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|
|   |   | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| L | 1 | 5      | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| I | 2 | 2      | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 6 |
| N | 3 | 2      | 2 | 3 | 3 | 6 | 6 | 8 |
| E | 4 | 2      | 2 | 6 | 6 | 9 | 8 | 7 |
| S | 5 | 3      | 6 | 8 | 8 | 8 | 7 | 4 |
|   | 6 | 3      | 6 | 8 | 7 | 2 | 3 | 2 |
|   | 7 | 4      | 6 | 7 | 3 | 3 | 2 | 1 |

BANDA 'A'

|   |   | PIXELS |   |   |   |   |   |   |
|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|
|   |   | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| L | 1 | 5      | 5 | 4 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| I | 2 | 2      | 4 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5 |
| N | 3 | 5      | 3 | 5 | 7 | 6 | 6 | 8 |
| E | 4 | 3      | 4 | 5 | 6 | 8 | 8 | 7 |
| S | 5 | 3      | 5 | 8 | 8 | 8 | 7 | 1 |
|   | 6 | 4      | 5 | 8 | 7 | 1 | 0 | 0 |
|   | 7 | 3      | 6 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |

BANDA 'B'

1. Sabendo que o GFOV do Landsat é 185 km diga qual o valor do FOV.
2. Sabendo que o Landsat tem um GIFOV de 30 m qual o valor de IFOV e quantos píxeis tem a imagem?
3. Num ficheiro imagem em formato binário com 1000x2000 píxeis e com  $17.5 \times 10^5$  bytes, quantas bandas tem a imagem

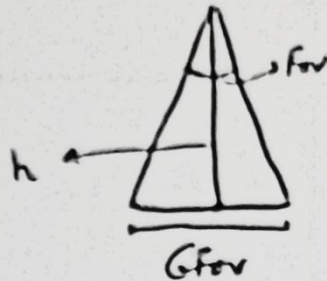
$1000 \times 2000 = 2000000$  bits / 8 = 250000 bytes

$17.5 \times 10^5 / 250000 = 7$

4. Uma imagem com 4 bandas, 1000 x 3000 píxeis em formato float, quantos bytes tem?

$4 \times 1000 \times 3000 \times 4 = ??$

1.  $G_{fov} = 183 \text{ km}$   $Fov = ?$



$h = 700 \text{ km}$

$$\tan \frac{Fov}{2} = \frac{G_{fov}/2}{h}$$

$$\frac{Fov}{2} = \tan^{-1} \left( \frac{G_{fov}/2}{h} \right)$$

$$Fov = 2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{183/2}{700} \right) = 15^\circ$$

2.  $G_{fov} = 30 \text{ m}$   $\Delta fov = ?$

Quanta pixels tem a imagem  
↓

$$183 \text{ km} / 30 \text{ m} = 6167 \text{ pixels}$$

(dividir-se)

$$\Delta fov = 2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{30/2}{700000} \right) = \cancel{0.0024} \\ 0.0024$$

## Imagem Landsat Lisboa

---

```
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 29
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
REFLECTIVE_LINES = 7851
REFLECTIVE_SAMPLES = 7721
THERMAL_LINES = 7851
THERMAL_SAMPLES = 7721
ORIENTATION = "NORTH_UP"
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 39.95514
CORNER_UL_LON_PRODUCT = -10.22810
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 39.95215
CORNER_UR_LON_PRODUCT = -7.51676
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 37.83340
CORNER_LL_LON_PRODUCT = -10.19208
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 37.83063
CORNER_LR_LON_PRODUCT = -7.56025
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 395100.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4423500.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 626700.000
CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4423500.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 395100.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4188000.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 626700.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4188000.000
END_GROUP = PROJECTION_ATTRIBUTES
GROUP = LEVEL2_PROCESSING_RECORD
  ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
  DIGITAL_OBJECT_IDENTIFIER = "https://doi.org/10.5066/P90GBGM6"
  -----
```

$$\Delta M = 626700 - 395100 = 231600$$

$$\Delta P = 4423500 - 4188000 = 235500$$

---

Each FPM contains detectors for each spectral band, silicon for the VNIR bands and HgCdTe for the SWIR bands and a butcher-block filter assembly to provide the spectral bands.

OLI features about 6500 active detectors per multispectral band and 13000 detectors for the panchromatic band. These detectors are organized as blocks ~500 multispectral (1000 panchromatic) detectors wide within 14 focal plane modules (FPMs) that make up the focal plane assembly. Each module has its own butcher-block assembly spectral filter. This provides significantly improved signal to noise performance, but complicates the process of radiometrically matching the detectors responses. Similarly, the lack of a scan mirror removes the need for knowledge of its movement, but requires knowledge of the detectors locations across a much larger focal plane (Ref. 2).

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Observation technique         | Pushbroom imager                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Spectral bands                | 9 bands in VNIR/SWIR covering a spectral range from 443 nm to 2300 nm                                                                                                                                                                                                                                    |
| Telescope                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Four-mirror off-axis telescope design with a front aperture stop</li> <li>- Use of optical bench</li> <li>- Telecentric design with excellent stray light rejection</li> </ul>                                                                                  |
| FPA (Focal Plane Assembly)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consisting of 14 sensor chip assemblies mounted on a single plate</li> <li>- FPA is passively cooled</li> <li>- Hybrid silicon / HgCdTe detectors</li> <li>- Butcher block filter assembly over each SCA (Sensor Chip Assembly)</li> </ul>                      |
| Swath width (FOV=15°)         | 185 km                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| GSD (Ground Sample Distance)  | 15 m for PAN data; 30 m for VNIR/SWIR multispectral data                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Data quantization             | 12 bit                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Calibration                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solar calibrator (diffuser) used once/week</li> <li>- Stimulation lamps used to check intra-orbit calibration</li> <li>- Dark shutter for offset calibration (used twice per orbit)</li> <li>- Dark detectors on focal plane to monitor offset drift</li> </ul> |
| Instrument, mass, power, size |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

**Table 3: Overview of OLI instrument parameters**

The OLI will provide global coverage by acquiring ~400 scenes per day in six VNIR and three SWIR bands, all at 12 bit radiometric resolution. In addition to these bands, there will be a tenth band consisting of covered SWIR detectors, referred to as the 'blind' band, that will be used to estimate variation in detector bias during nominal Earth image acquisitions. The OLI bands are distributed over 14 SCAs (Sensor Chip Assemblies) or FPMs, each with 494 detectors per 30 m band and twice as many for the 15 m panchromatic band - totaling in over 75000 imaging detectors. 57)

|                     | Landsat TM                        | Landsat 8                          |
|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| GSD at nadir        | 30 m VNIR<br>15 m Pan<br>60 m TIR | 30 m VNIR<br>15 m Pan<br>100 m TIR |
| Quantization        | 8 bit                             | 12 bit                             |
| Onboard Calibration | Yes                               | Yes                                |
| Resit time          | 16 days                           | 16 days                            |
| Off-axis viewing    | Up to 7.5° off nadir              | Up to 7.5° off nadir               |
| Orbit altitude      | 705 km                            | 705 km                             |
| Swath width         | 185 km                            | 185 km                             |
| Architecture        | Cross-track scanner (Whiskbroom)  | Pushbroom                          |