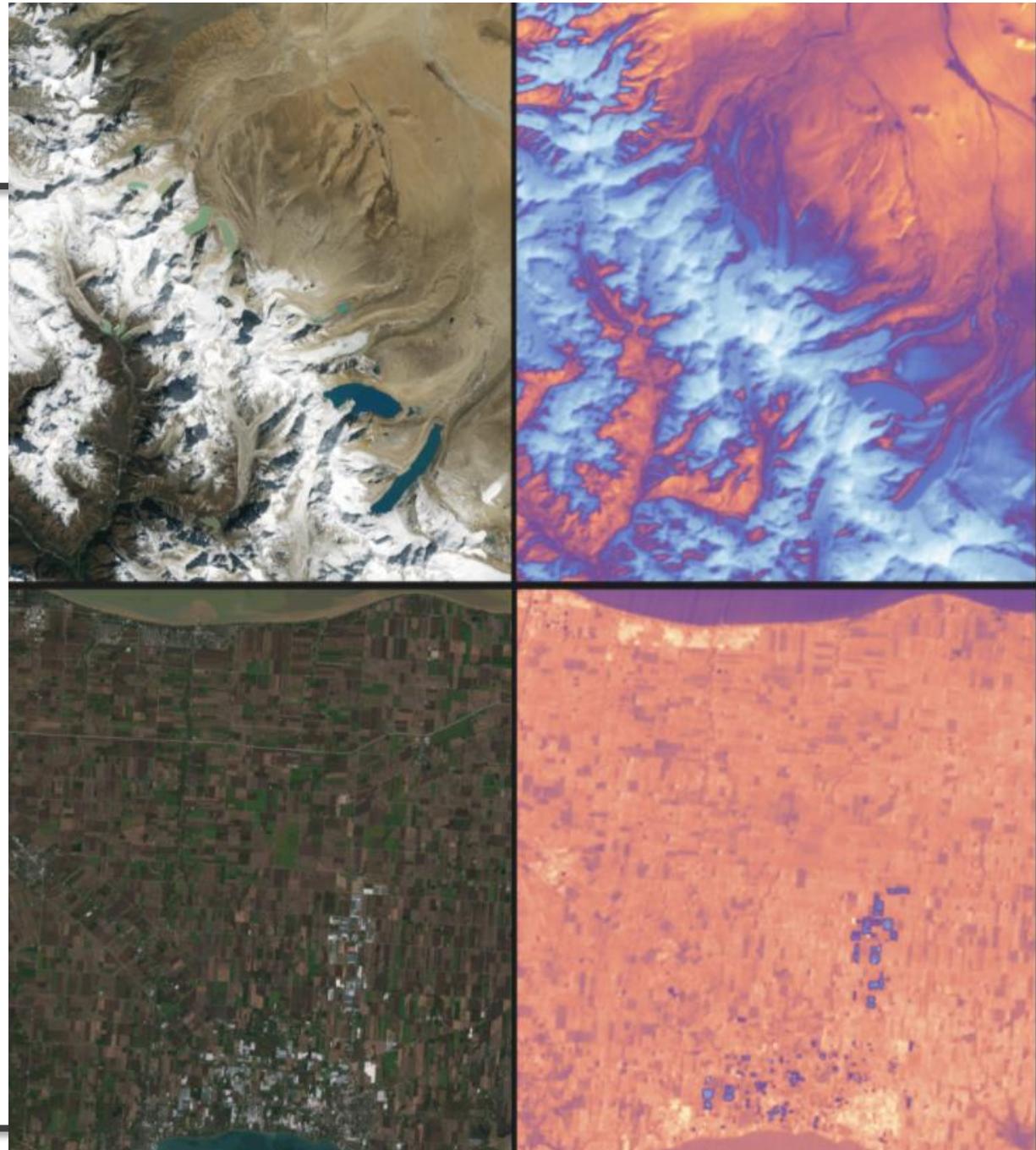


DETECÇÃO REMOTA MULTIESPECTRAL





Landsat 9, a joint mission between NASA and the U.S. Geological Survey (USGS) that launched Sept. 27, 2021, has collected its first light images of Earth.

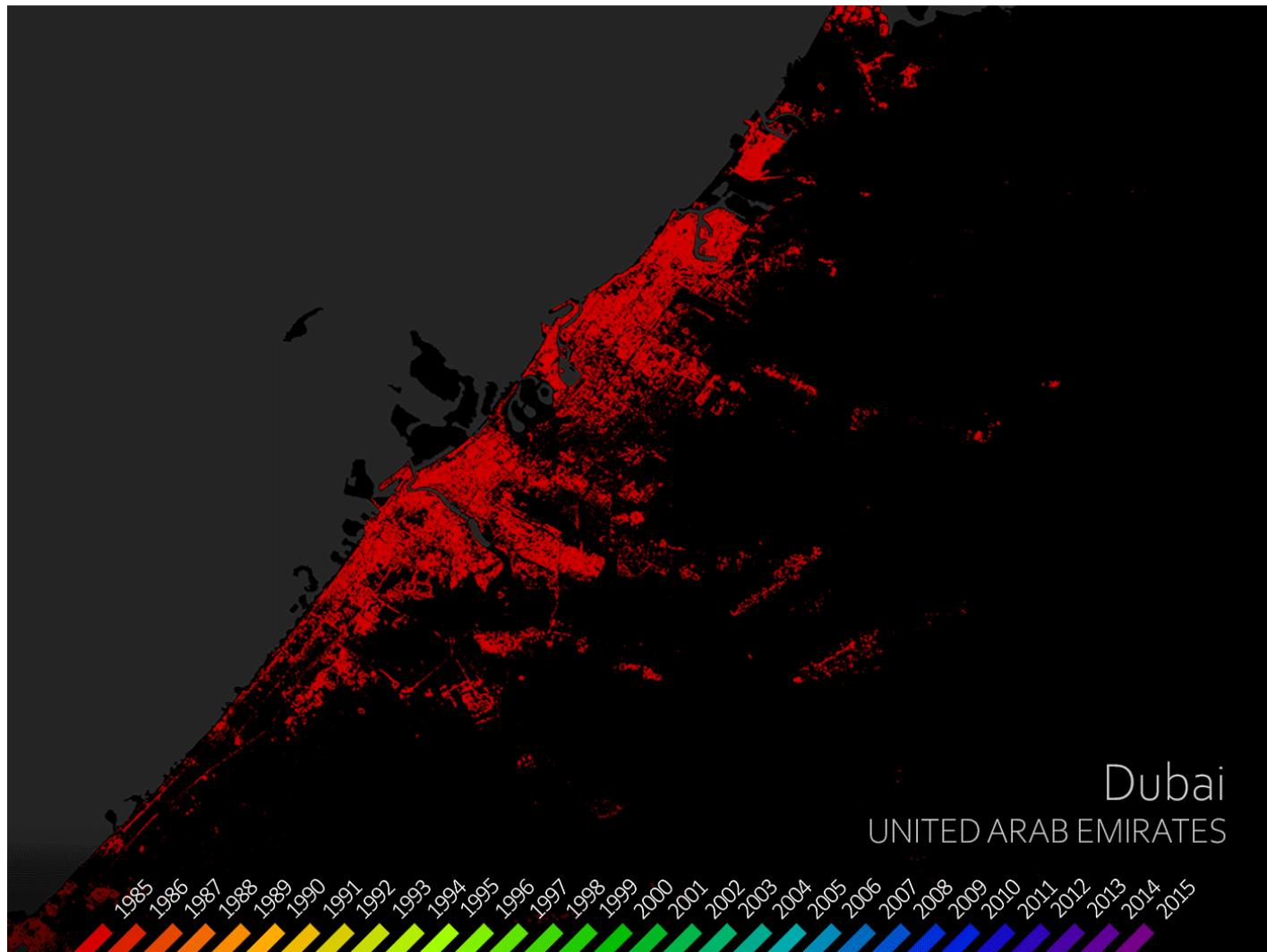




Ciências
ULisboa

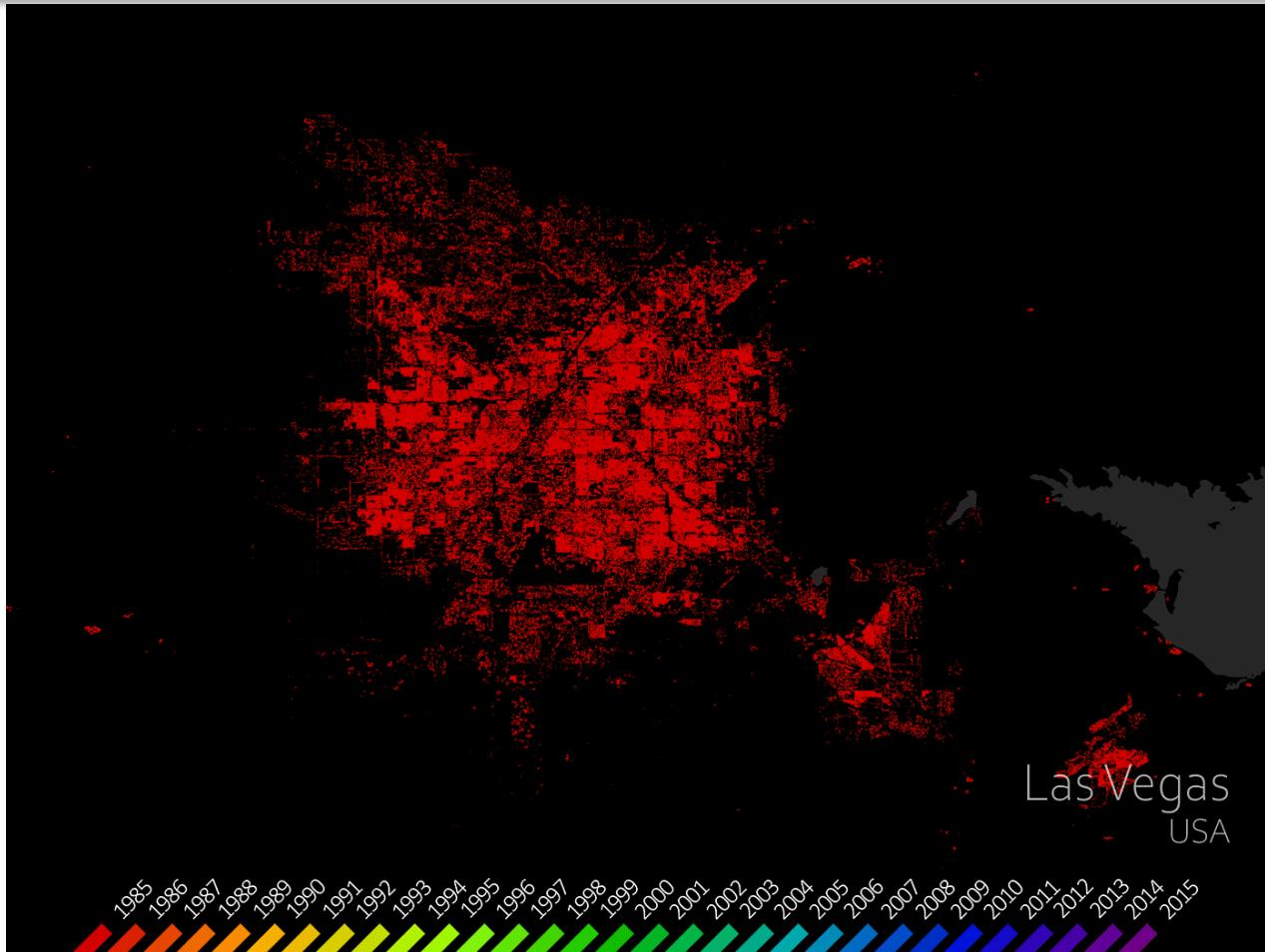
Mapping our human footprint from space

World Settlement Footprint





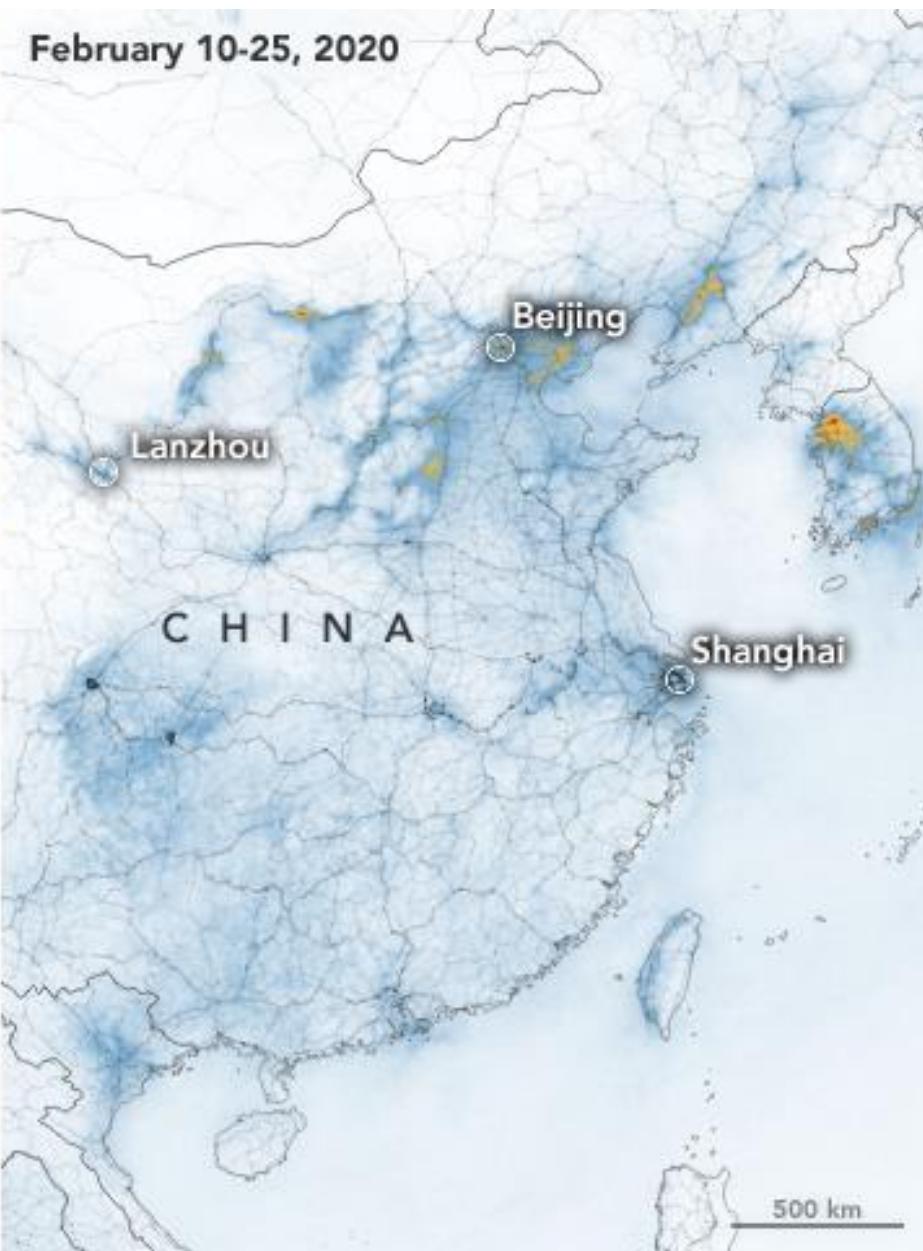
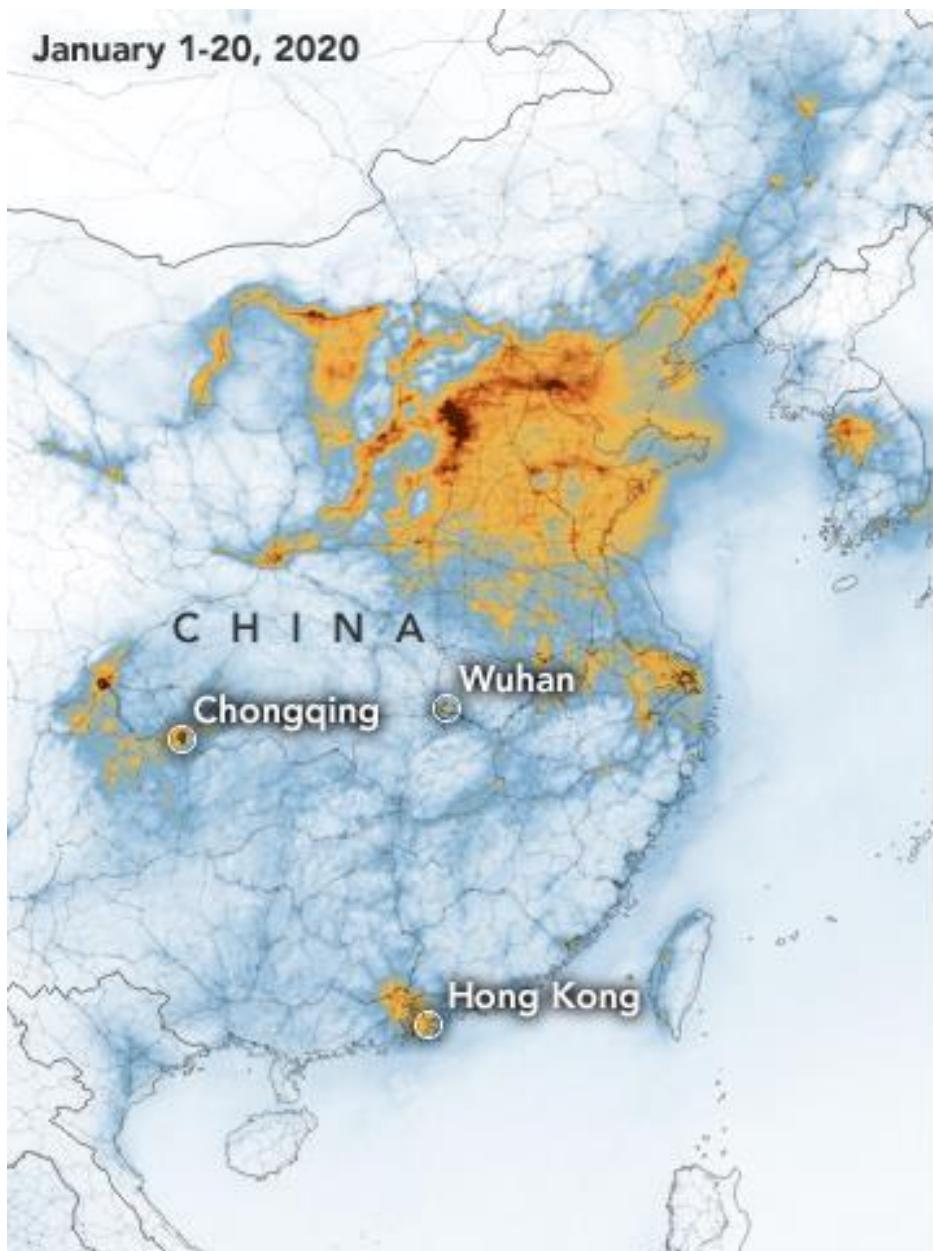
Mapping our human footprint from space



[EOC Geoservice Maps - World Settlement Footprint \(WSF\) Evolution \(dlr.de\)](#)

January 1-20, 2020

February 10-25, 2020



Mean Tropospheric NO₂ Density ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$)

0

125

250

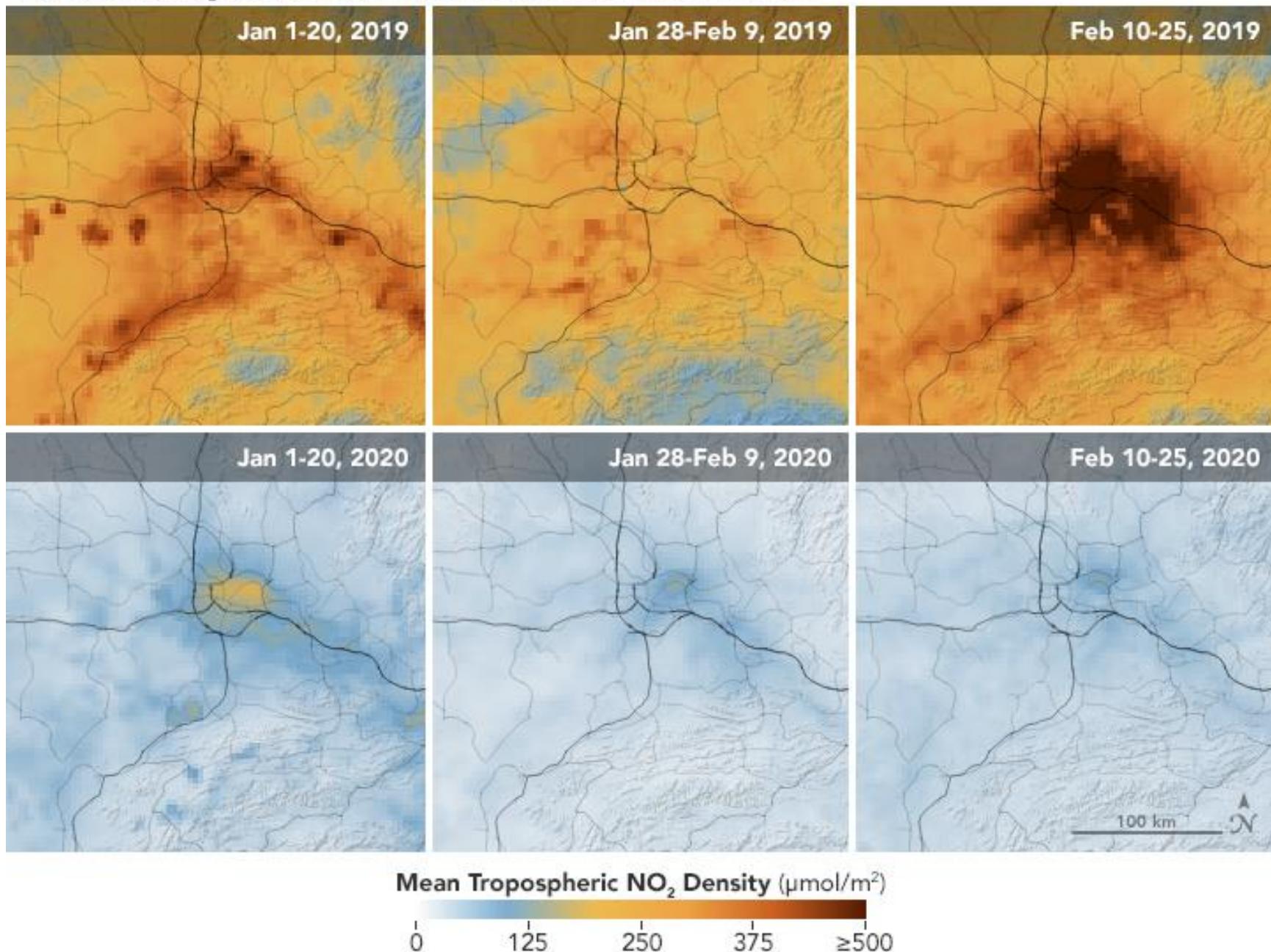
375

≥ 500

(Nitrogen dioxide)

Pollutant Drops in Wuhan—and Does not Rebound

Unlike 2019, NO₂ levels in 2020 did not rise after the Chinese New Year.

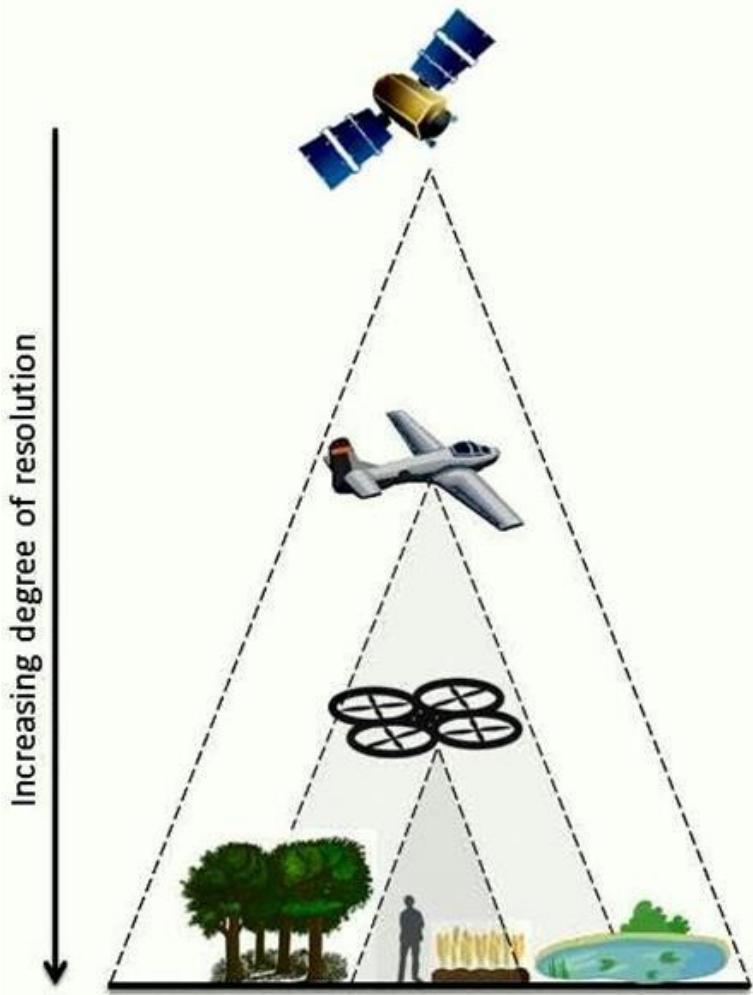


Sumário

Capítulo 1 – A Deteção Remota

- O que é a Deteção 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 um conjunto de métodos para adquirir informação acerca da superfície da Terra, sem estar em contacto com esta.

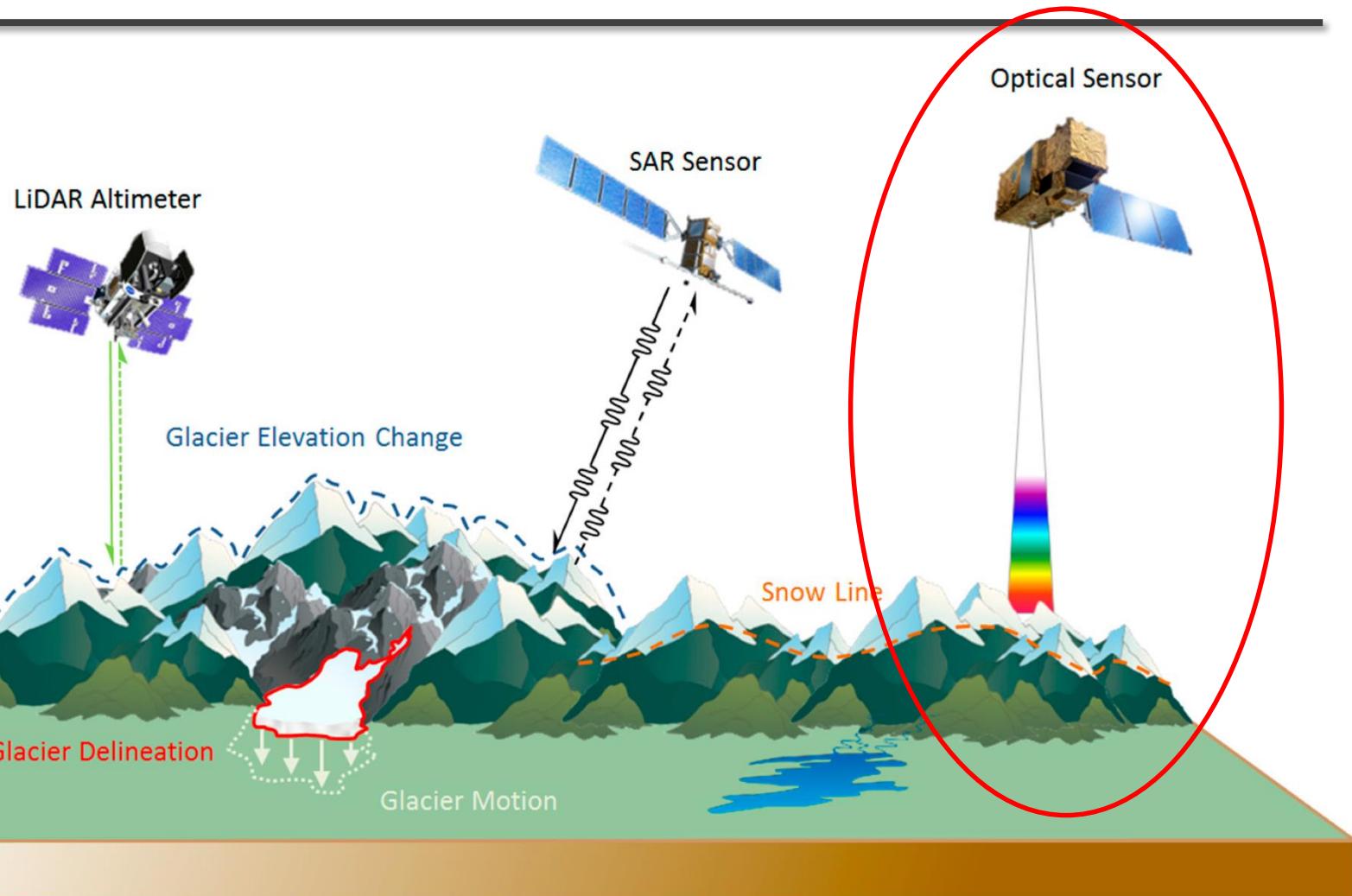
A Detecção Remota

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).

Os dados da Detecção Remota podem ser:

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

A Detecção Remota



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



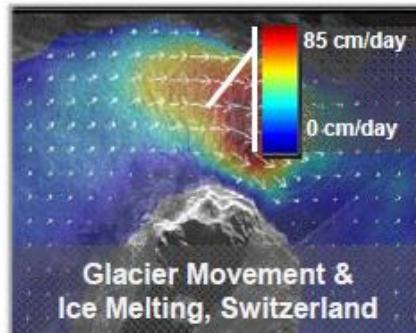
Hazards



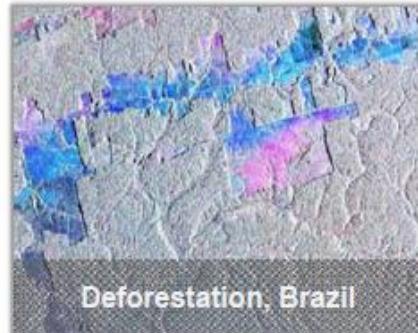
Disaster

Detecção Remota : Motivação

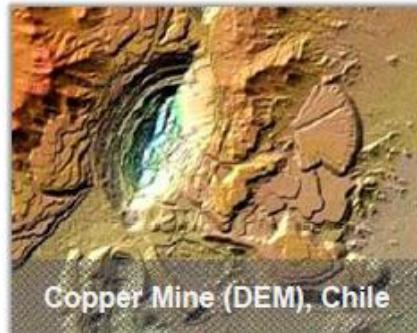
Fornece informação única para resolver os desafios ambientais, segurança e sociais de escala global



Climate Change



Environment



Copper Mine (DEM), Chile



Subsidence, Mexico

Sustainable Development



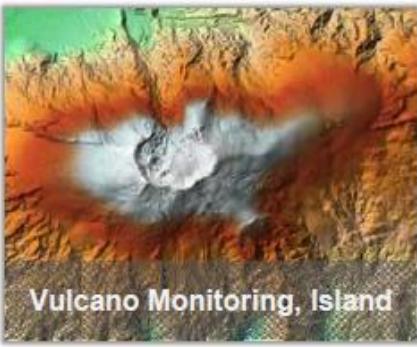
Urban Planning, Istanbul

Megacities



Traffic monitoring, Prien

Mobility



Vulcano Monitoring, Island

Hazards



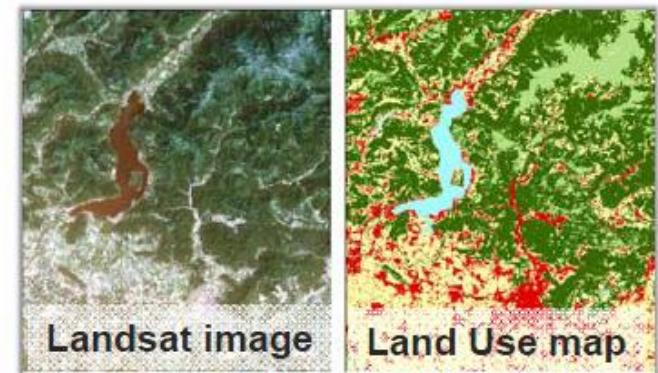
Flooding, Deggendorf, Germany

Disaster

Detecção Remota - Multiespectral

Medição das propriedades dos objetos à distância com instrumentos dedicados

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



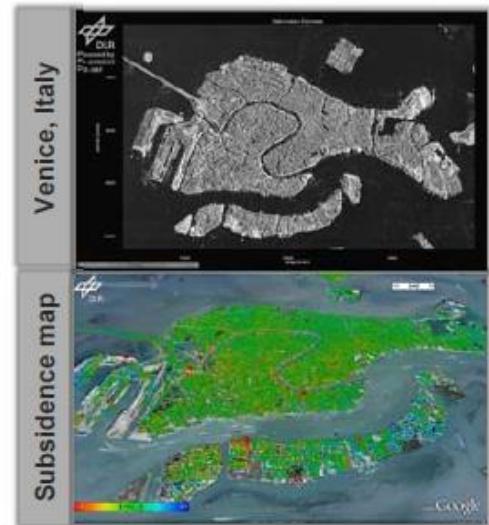
- Different types of remote sensing sensors:
 - Optical and infrared sensors
 - passive:
 - High-resolution
 - Multispectral, hyperspectral
 - active: Lidar



Detecção Remota - Micro-ondas

Medição das propriedades dos objetos à distância 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



Observação da Terra

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.

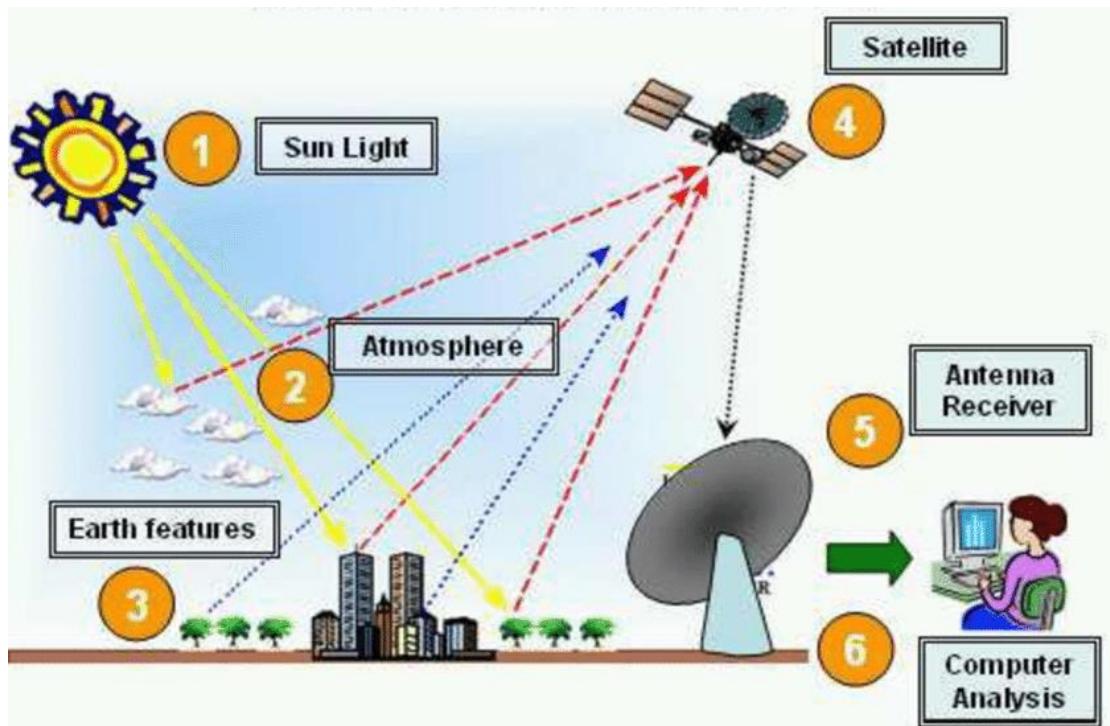
Os dados eram adquiridos e difundidos pela primeira vez em formato digital.

LandSat



Detecção Remota

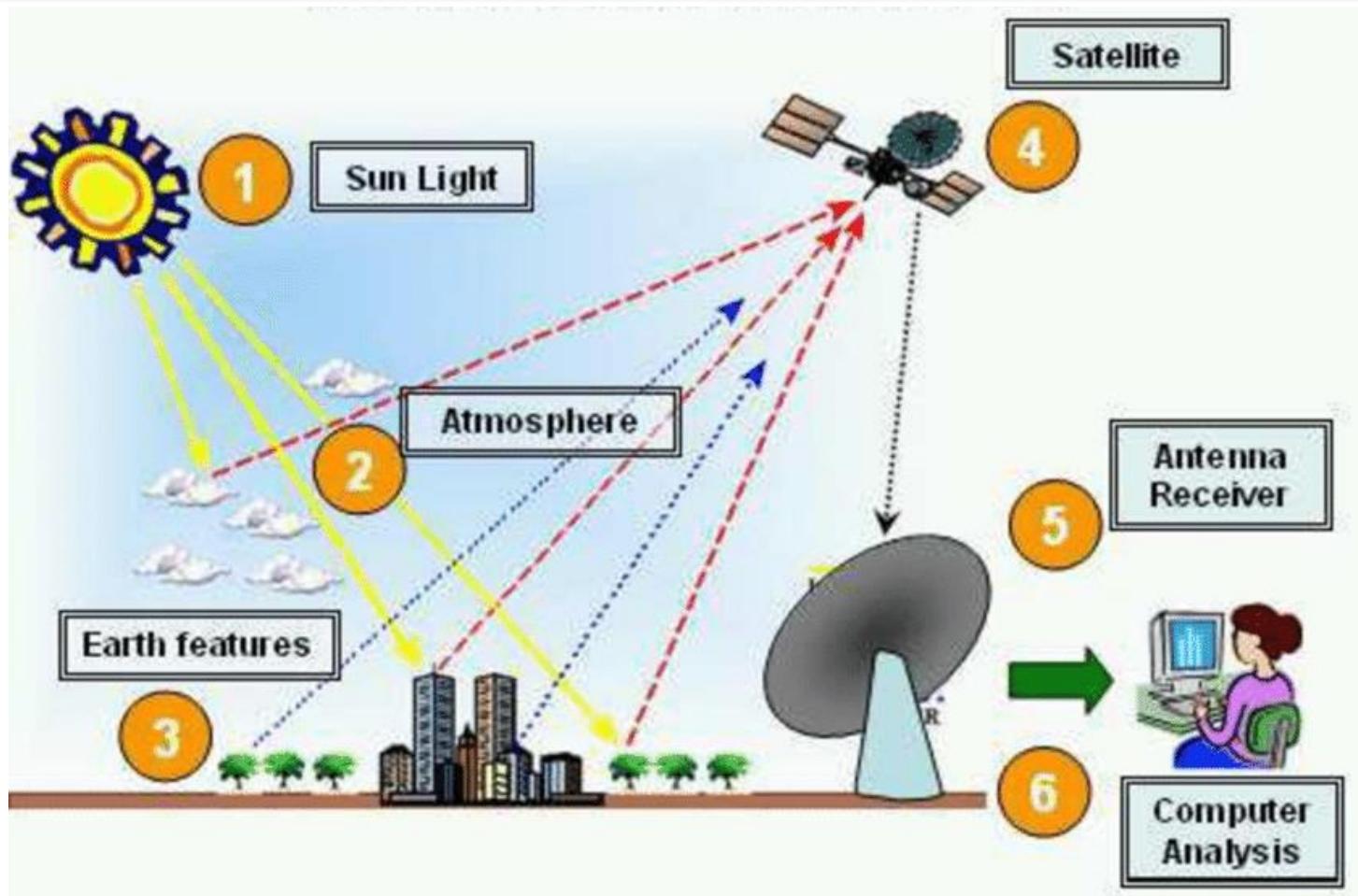
Em grande parte da Detecção Remota **o processo** envolve uma interacção entre a radiação incidente e os alvos de interesse.



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



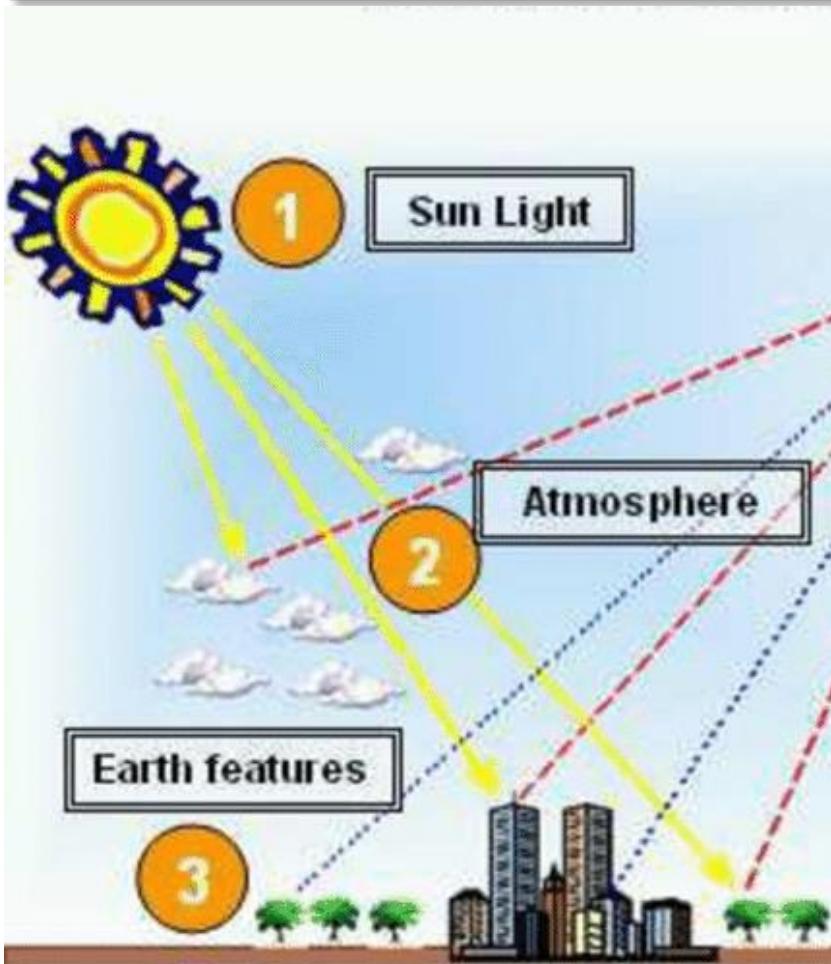
1: Fonte de energia

2: Interacção com atmosfera

3: Interacção 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 energia solar é transferida para a Terra sob a forma de radiação eletromagnética.

O fluxo da energia é feito à velocidade da luz sob a forma de um campo elétrico e magnético que constituem uma onda eletromagnética .

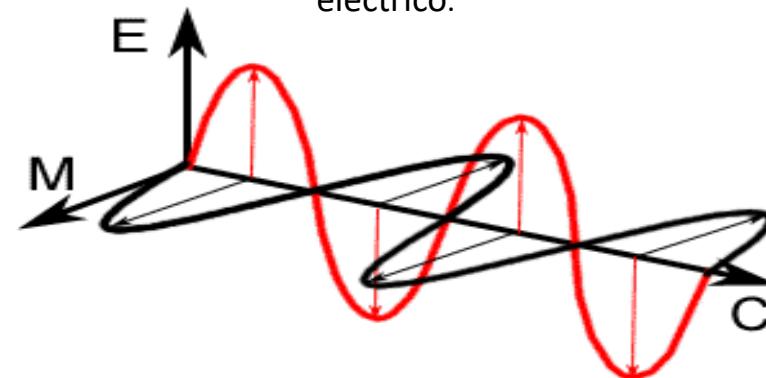
Campo Eléctrico

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

Ambos se deslocam à velocidade da luz (c).

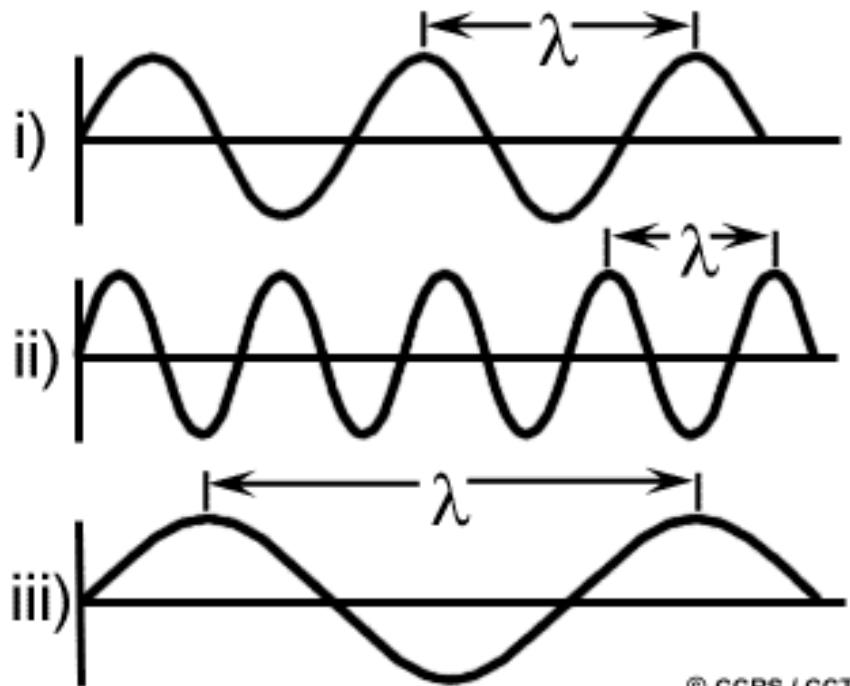
Campo Magnético

Orientado perpendicularmente ao campo eléctrico.



Radiação Electromagnética

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



© CCRS / CCT

**Comprimento de onda
(λ)**

nanómetro (nm, 10^{-9} m),
micrómetro (μm , 10^{-6} m)

**Frequência
(f)**

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

Radiação Electromagnética

Comprimento de onda (λ)

É o comprimento de um ciclo de onda, que pode ser medido como a distância entre duas cristas de onda.

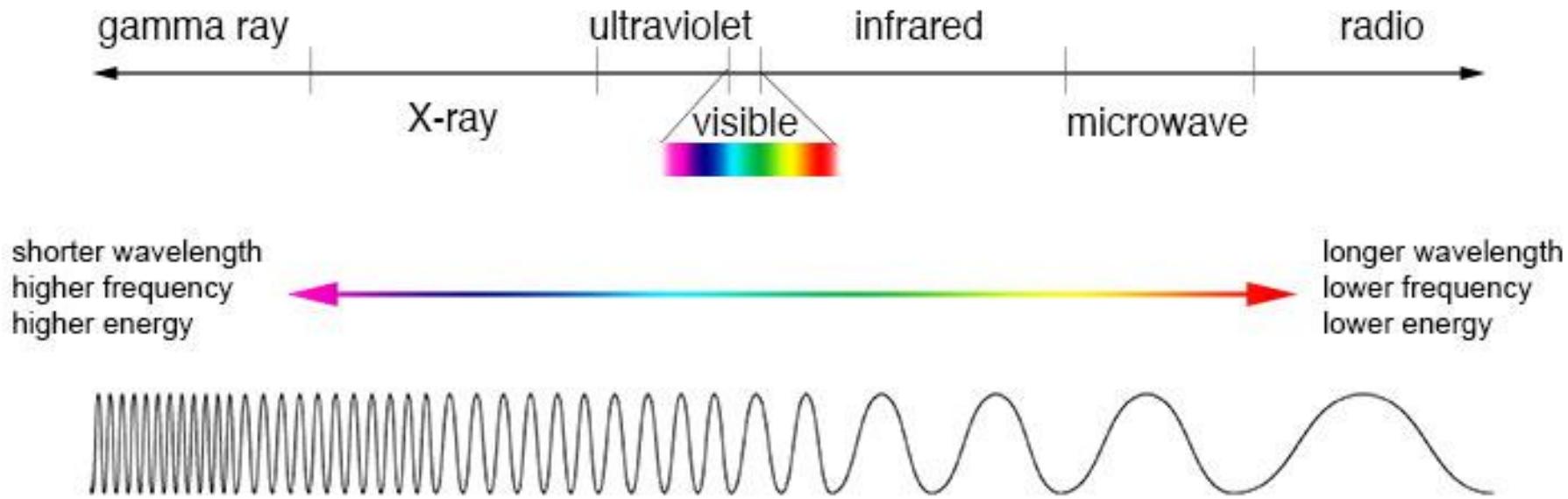
É medido em metro (m) ou sub-fracções do metro: nanómetro (nm, 10^{-9} m), micrómetro (μm , 10^{-6} m) (μm , 10^{-6} m) ou centímetros (cm, 10^{-2} m).

Frequência (f)

É o número de ciclos de uma onda que passa num ponto fixo por unidade de tempo. A frequência é medida em hertz (Hz) equivalente a um ciclo por segundo.

Também se usa como medida os múltiplos do Hz (kHz, MHz, GHz)

Radiação Electromagnética



$$c = \lambda f$$

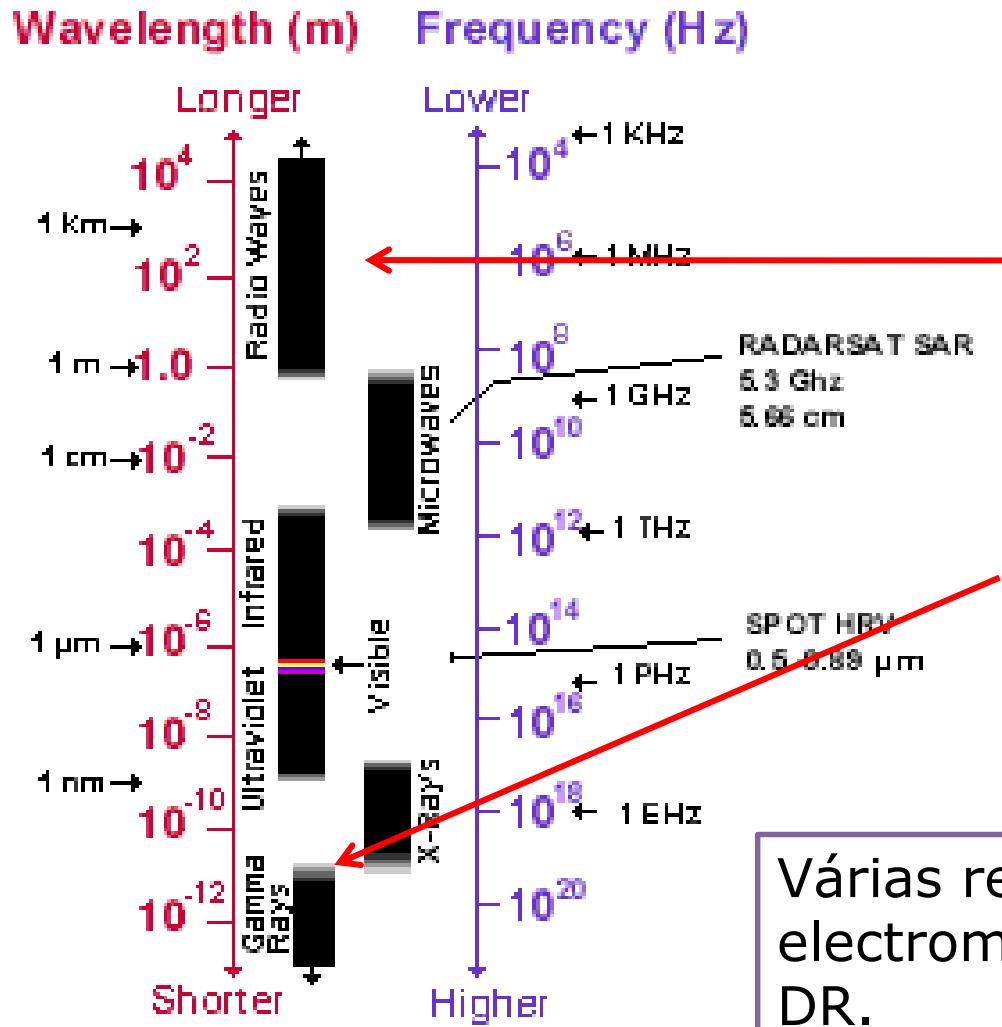
c = velocidade da luz no vácuo ($3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$)

$$Q = h \cdot f$$

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

Espectro Electromagnético

3+

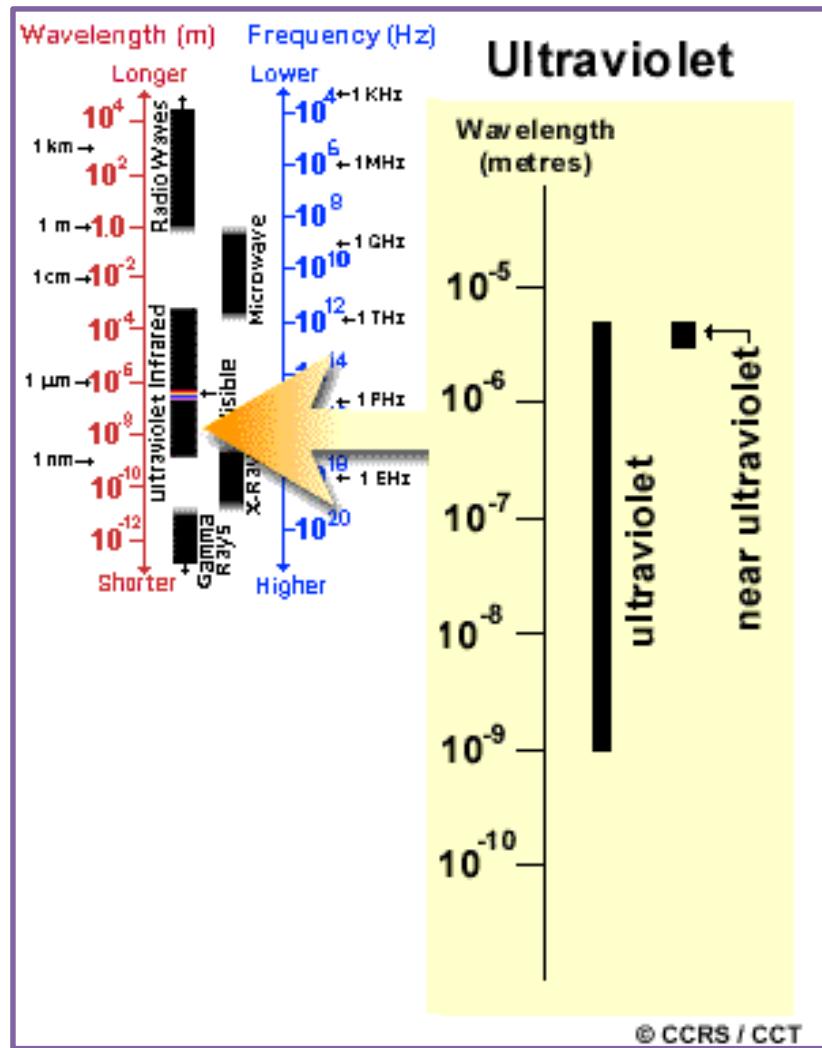


O Espectro Electromagnético vai desde os grandes comprimentos de onda (incluindo as microondas e as ondas rádio) pequenos comprimentos de onda (incluindo raios X e Gama)

Várias regiões do espectro electromagnético são úteis na DR.

Espectro Electromagnético

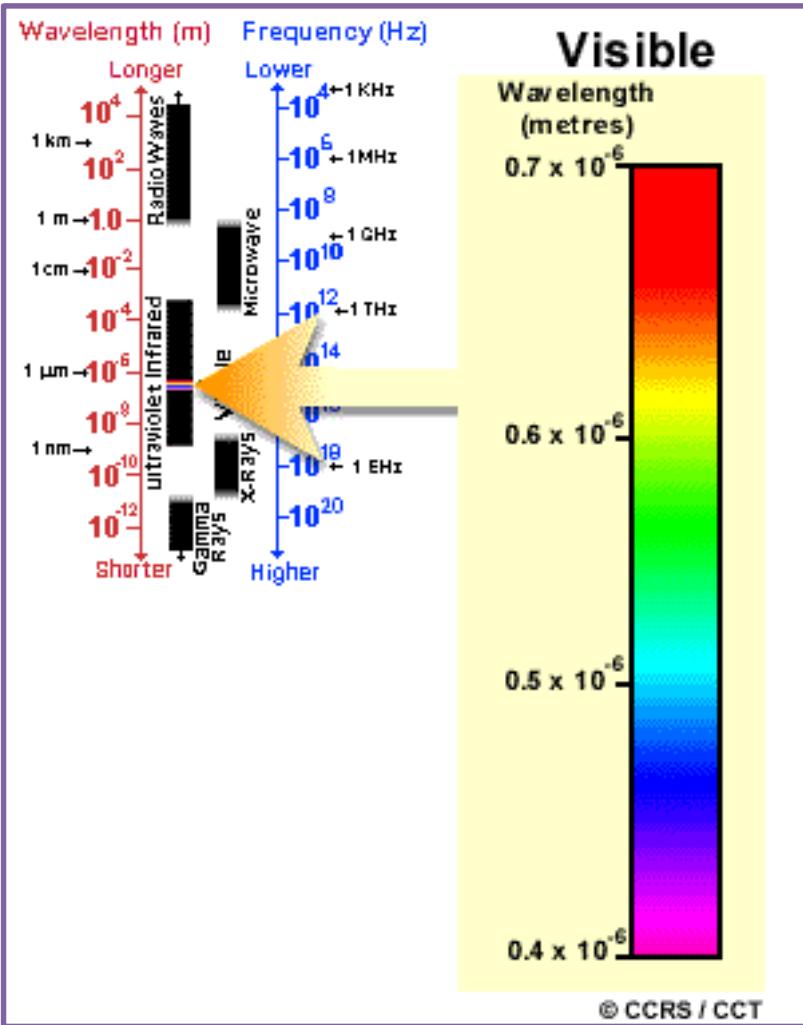
2+



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.

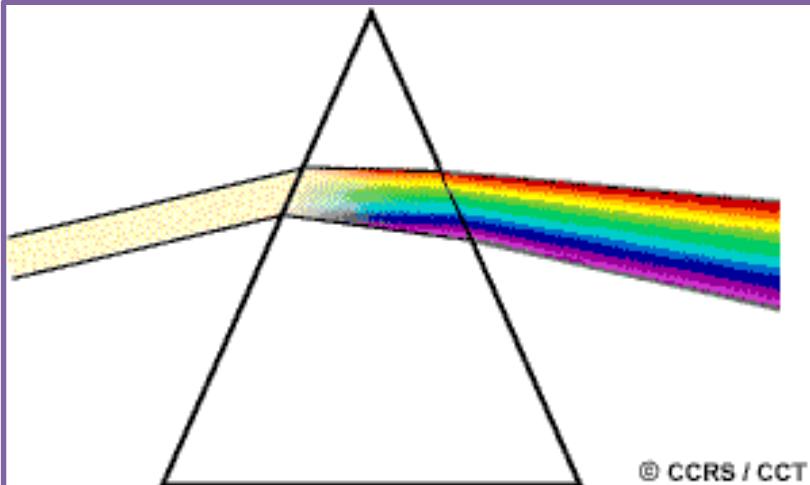
É importante referir o quanto pequeno é o visível relativamente à totalidade do espectro.

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



Violeta:	0.400 - 0.446 μm
Azul:	0.446 - 0.500 μm
Verde:	0.500 - 0.578 μm
Amarelo:	0.578 - 0.592 μm
Laranja:	0.592 - 0.620 μm
Vermelho:	0.620 - 0.700 μm

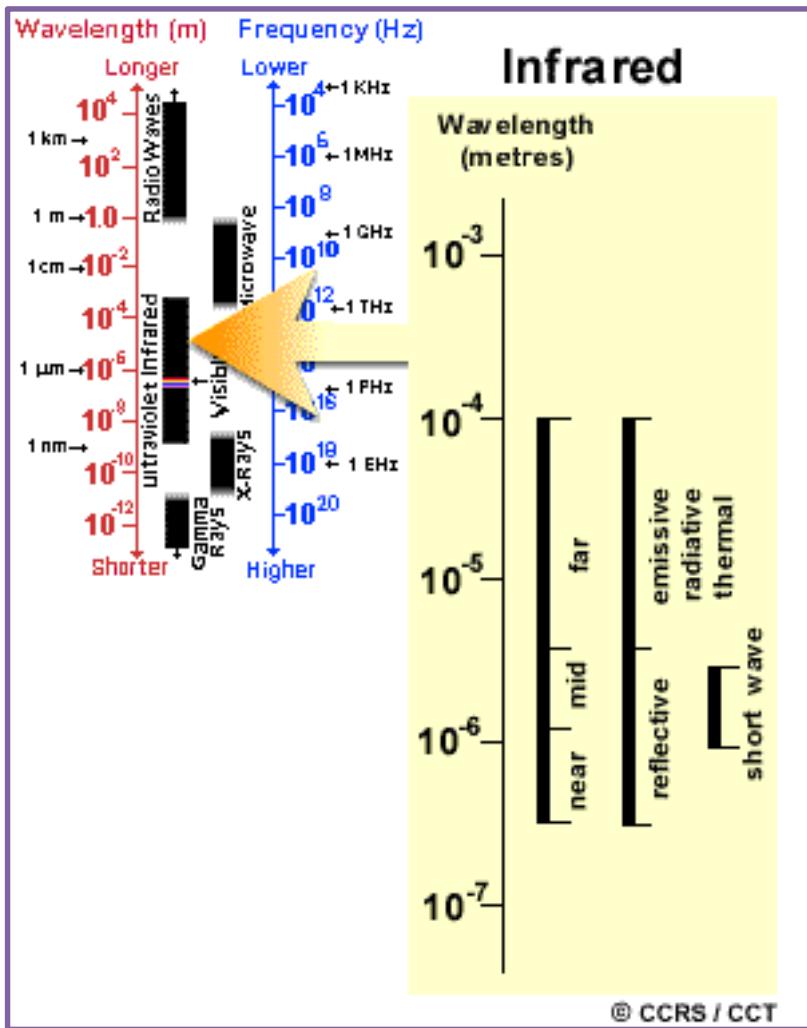
O Azul, Verde e Vermelho são as cores primárias ou comprimentos de onda do espectro visível.

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+



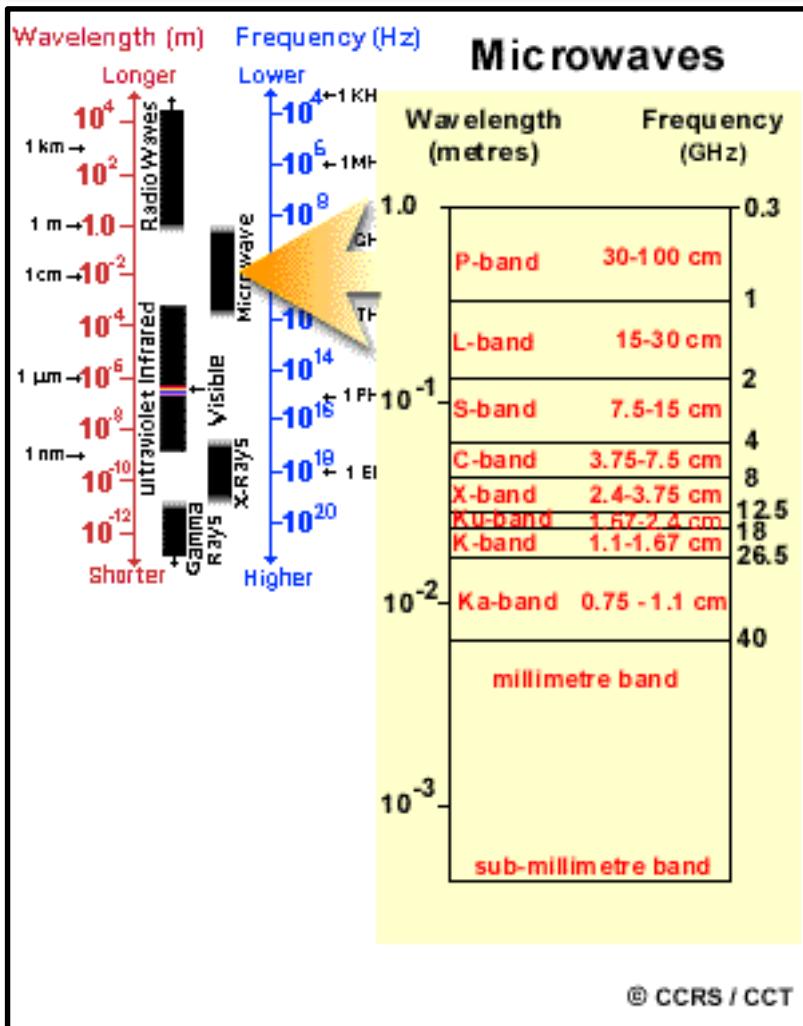
O Infravermelho vai desde os $0.7 \mu\text{m}$ aos $100 \mu\text{m}$

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 espetro 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

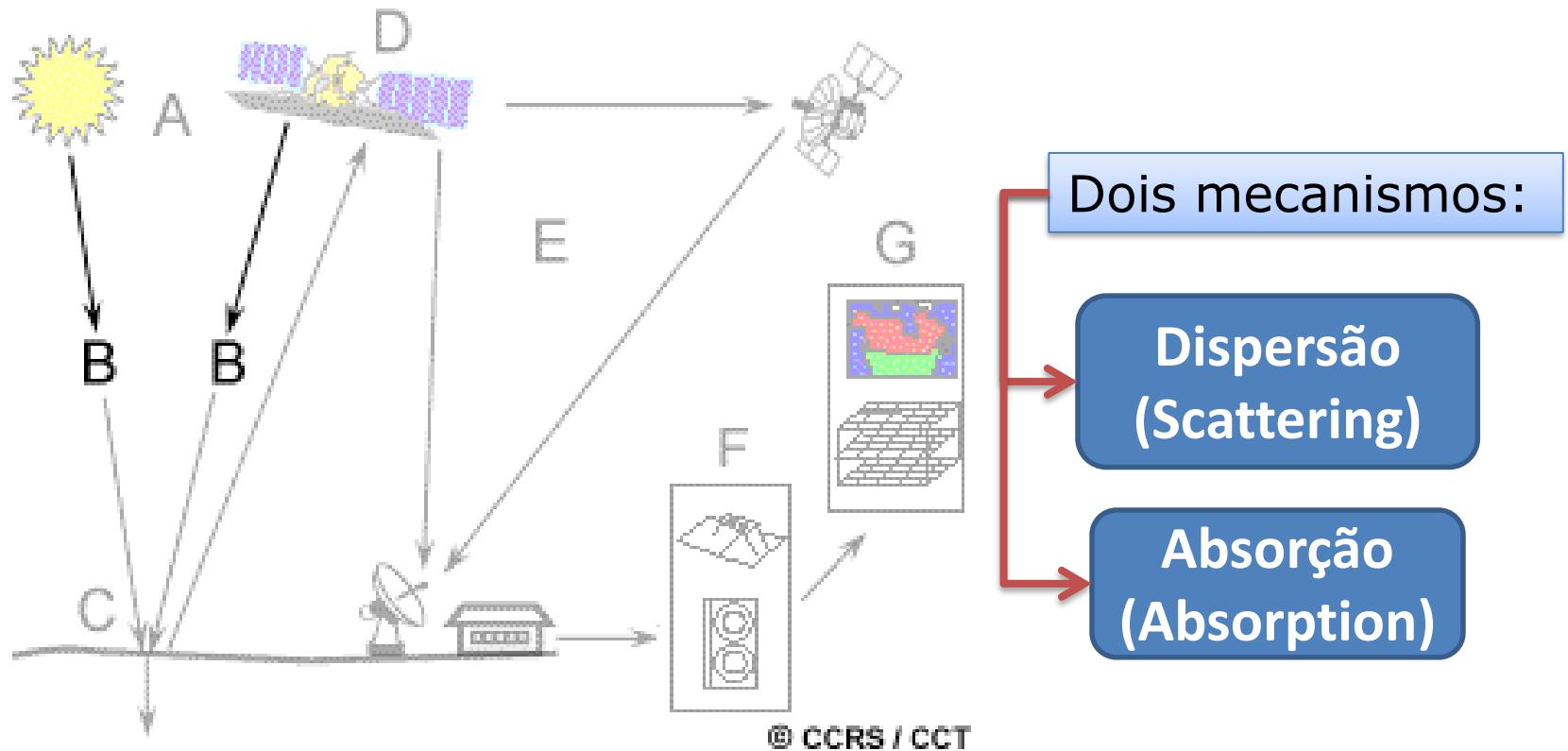
Espectro Electromagnético

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	5G: 3.4 - 3.8 GHz
C	4-8	3.8-7.5	
X	8-12.5	2.4-3.8	
Ku	12.5-18	1.7-2.4	
K	18-26.5	1.1-1.7	
Ka	26.5-40	0.8-1.1	5G: 26 GHz
W	> 50	< 0.6	

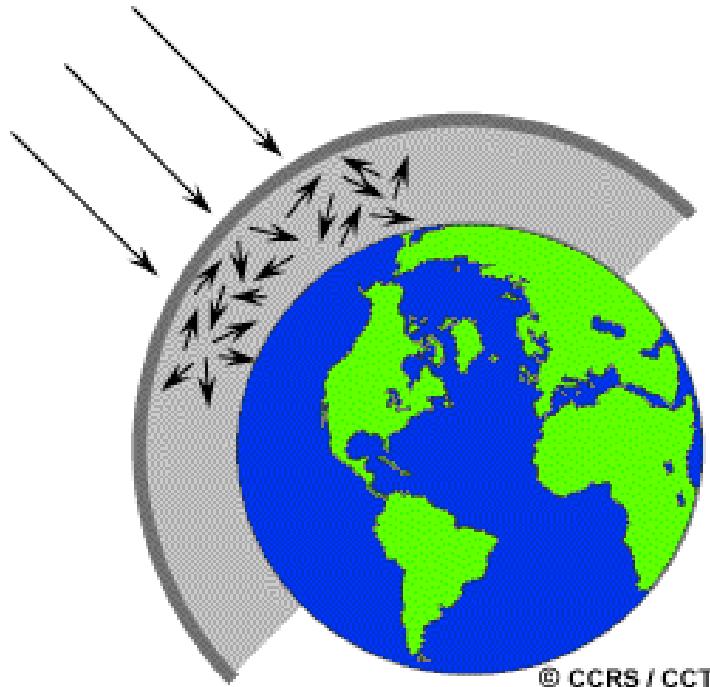
Interacção com a Atmosfera

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



Interacção com a Atmosfera

3+



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

Três tipos de dispersão:

Rayleigh

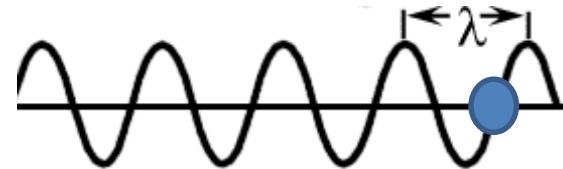
Mie

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.

Interacção com a Atmosfera

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

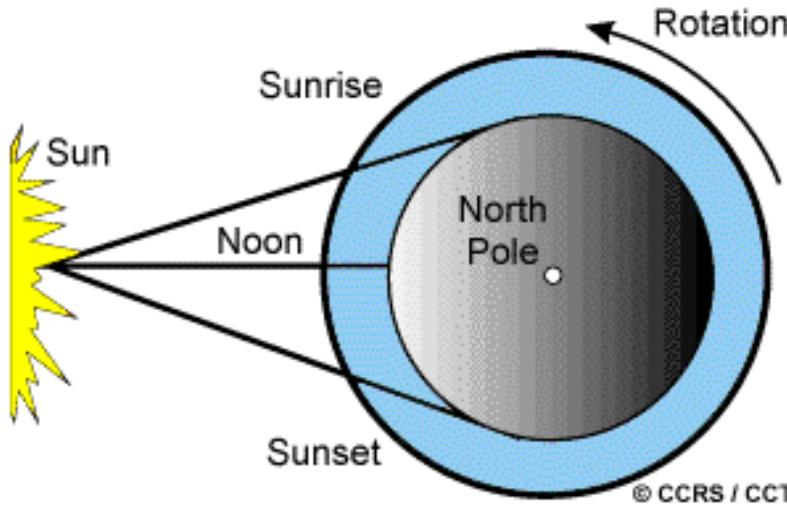


Em que r é o raio da partícula, λ é o comprimento de onda da radiação e x é um parâmetro sem dimensões que caracteriza a interação da partícula com a radiação incidente:

- Objetos com $x \gg 1$ atuam como formas geométricas dispersando a radiação de acordo com a sua área de reflexão.
- Para $x \approx 1$: 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+

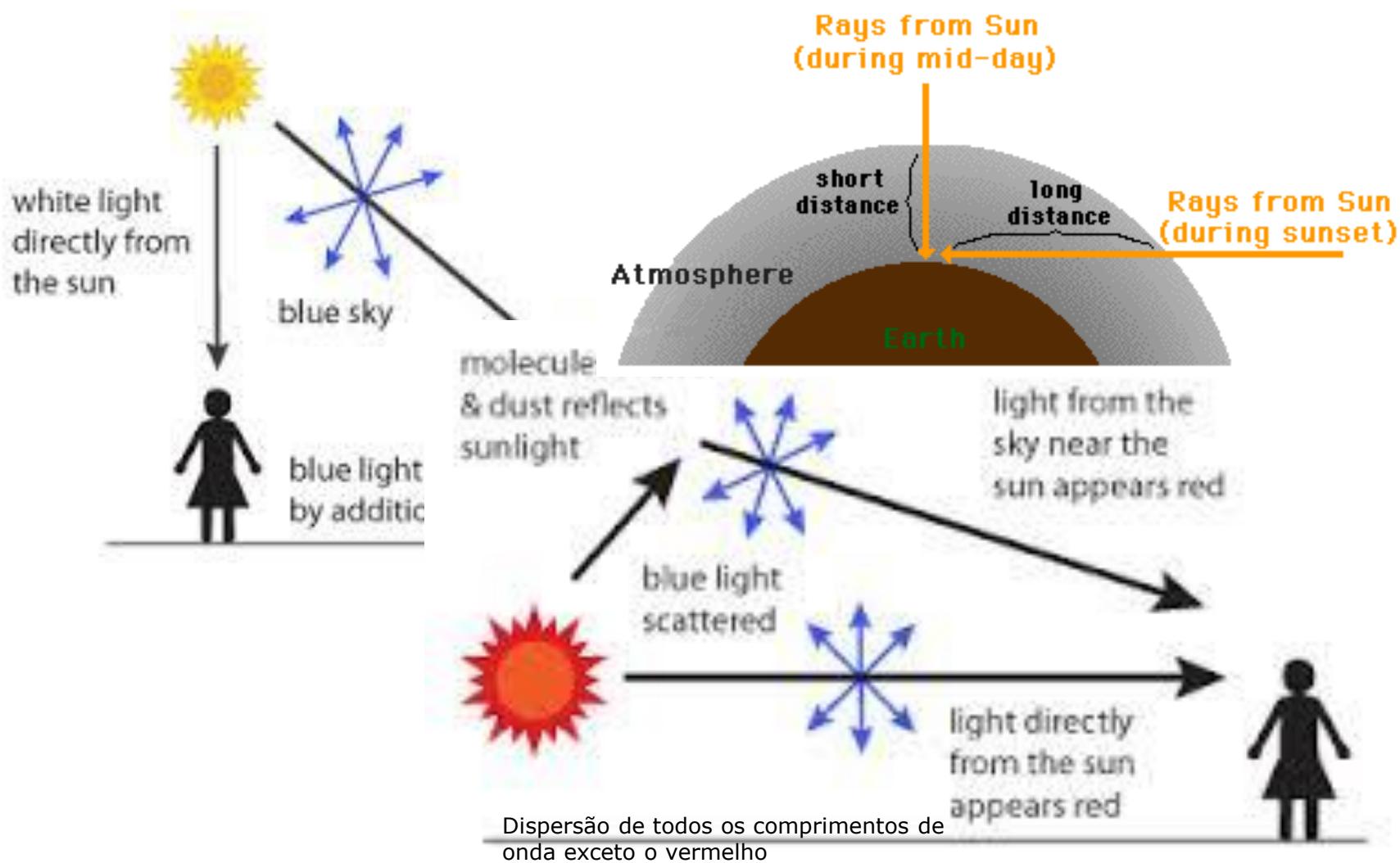


A dispersão Rayleigh

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



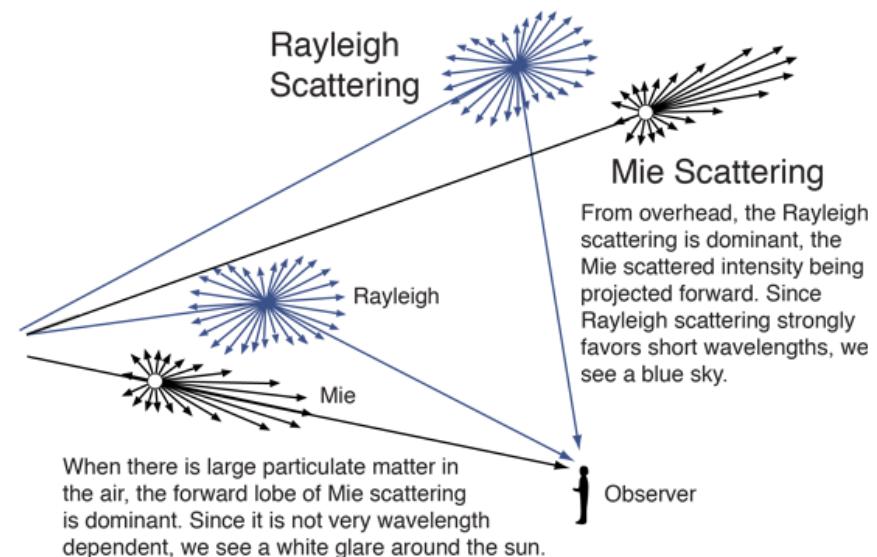
Dispersão de Mie

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



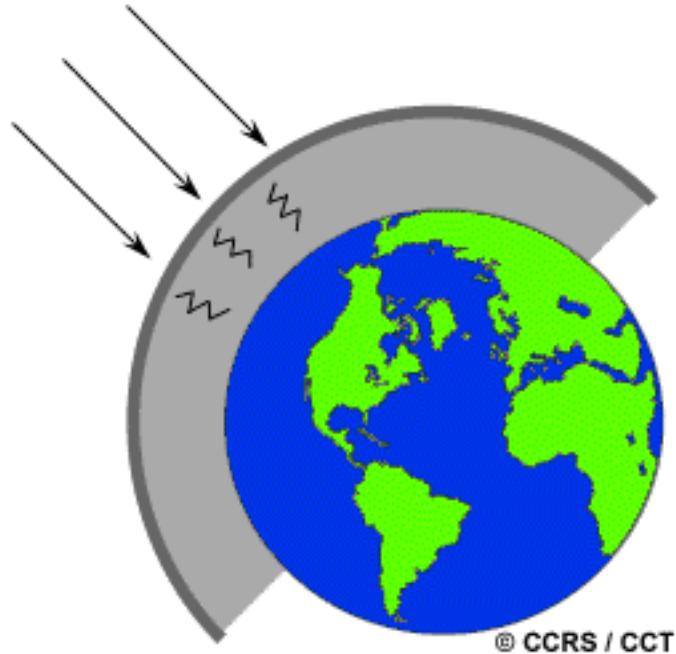
A **dispersão não selectiva** ocorre quando as partículas são muito maiores que o comprimento de onda da radiação.

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 $\text{azul} + \text{verde} + \text{vermelho} = \text{luz branca}$

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)

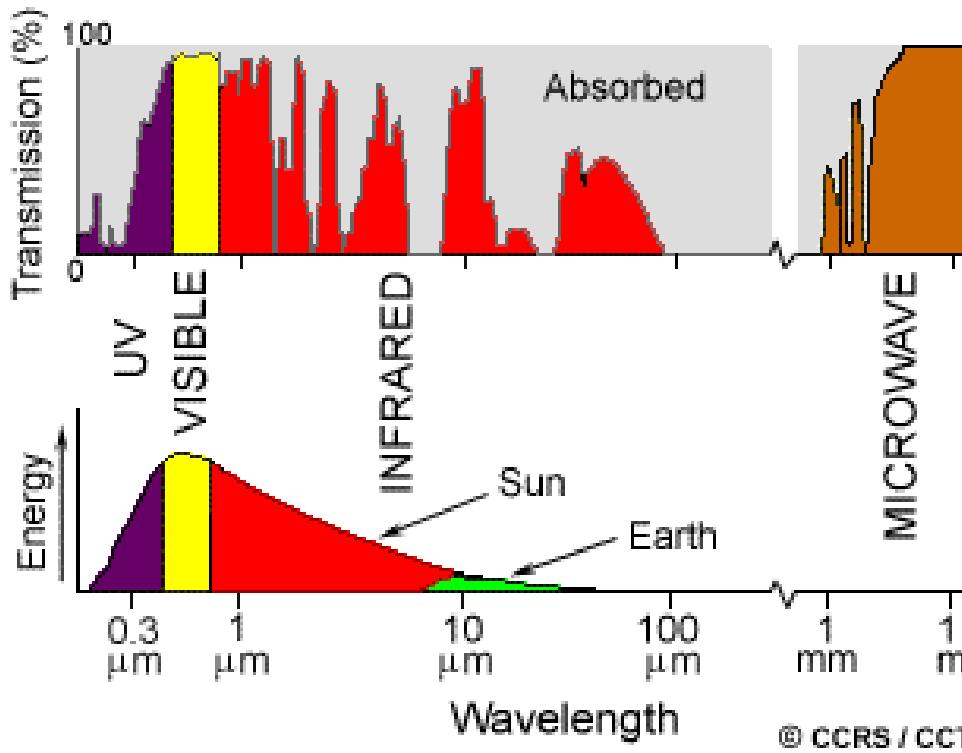
Isto é porque tende a absorver (fortemente) radiação na porção do espectro do infravermelho afastado – a área associada ao aquecimento térmico – que provoca o aquecimento no interior da atmosfera.

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.

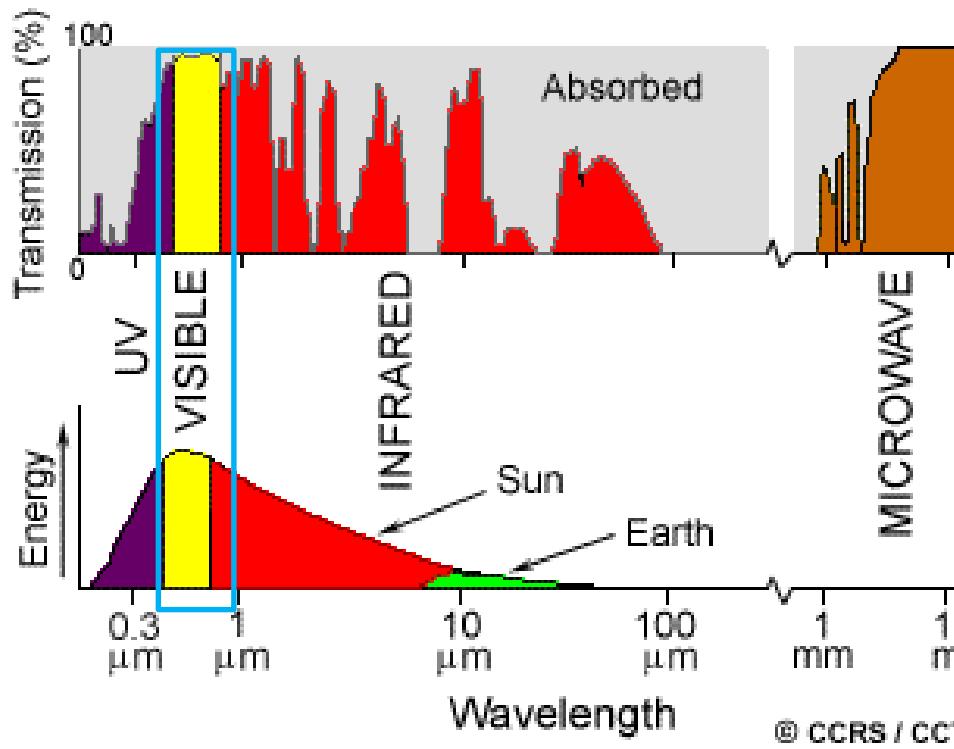
Janelas Atmosféricas



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

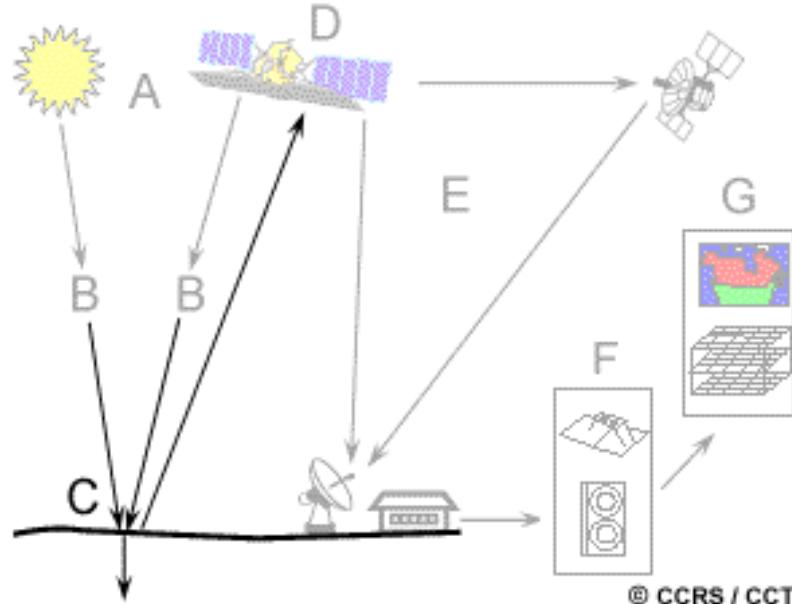


A parte visível do espectro, aos quais os nossos olhos são sensíveis, corresponde a uma janela atmosférica e também a um pico de energia do Sol.

A energia calorífica emitida pela Terra corresponde a uma janela em torno dos $10\text{ }\mu\text{m}$ 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

Interacção Radiação - Alvo

Absorção (A):

Ocorre quando a radiação (energia) é absorvida pelo alvo

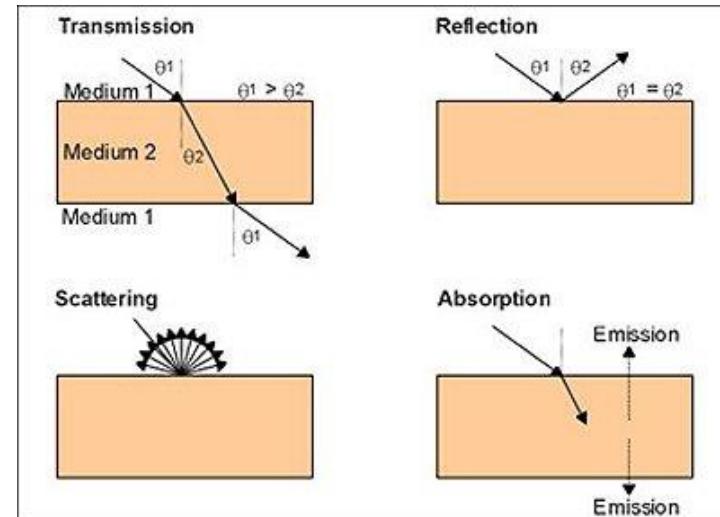
Transmissão (T):

Ocorre quando a radiação passa pelo alvo.

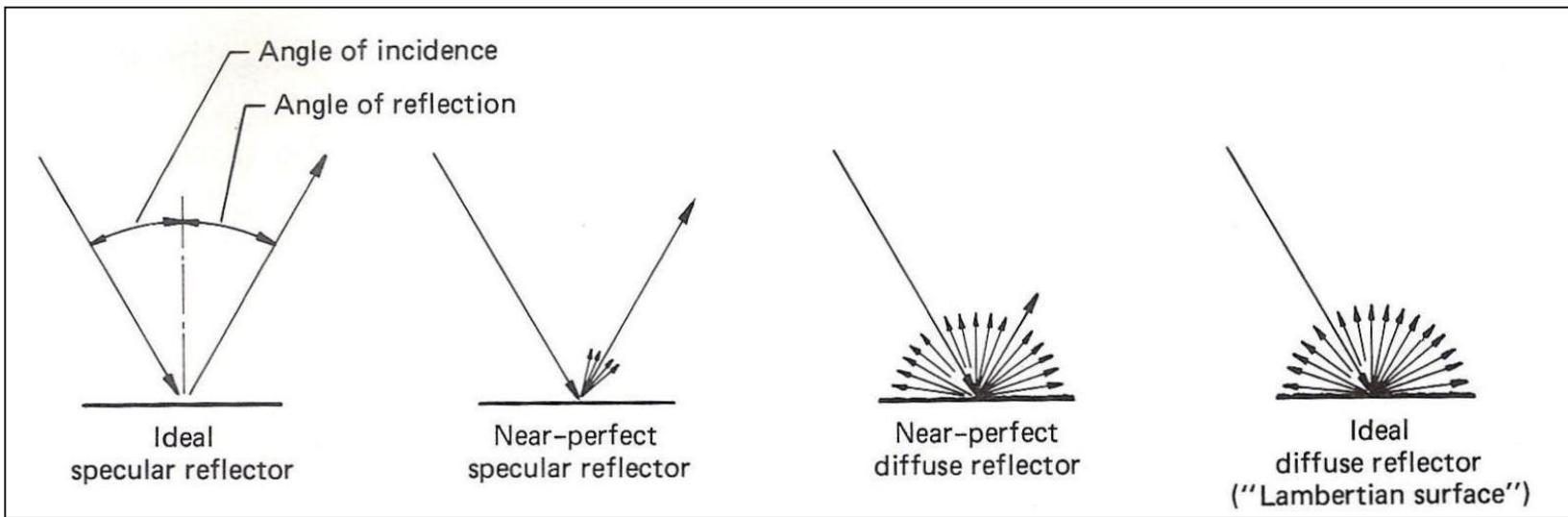
Reflexão (R)

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

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 dita 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.

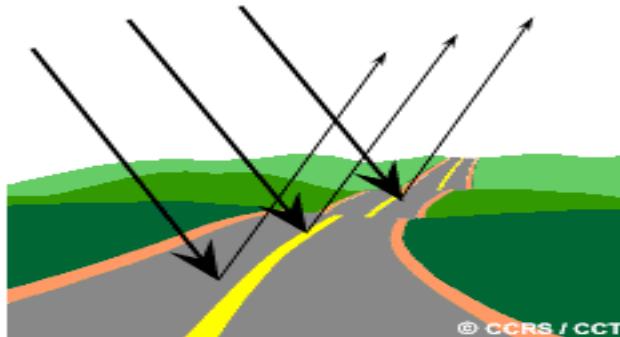
Interacção Radiação - Alvo

2+

Separamos a Reflexão em dois casos extremos:

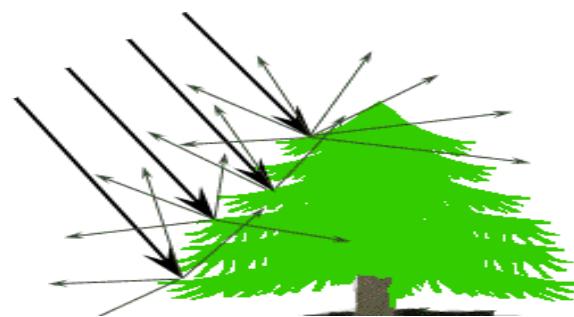
Especular (specular)

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

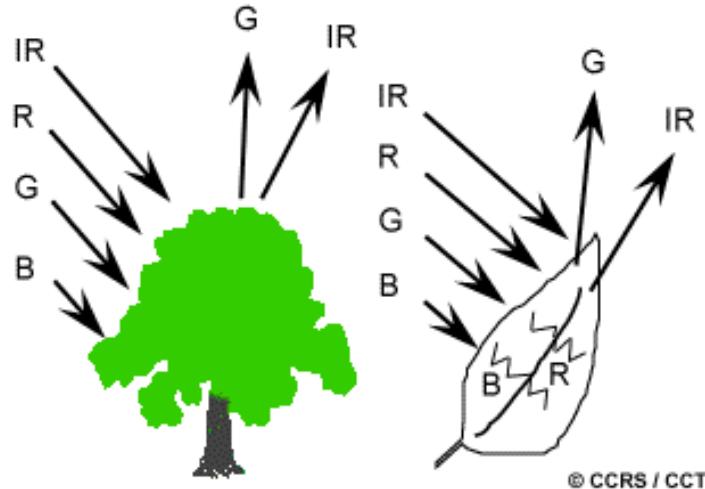


Difusa



Interacção 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

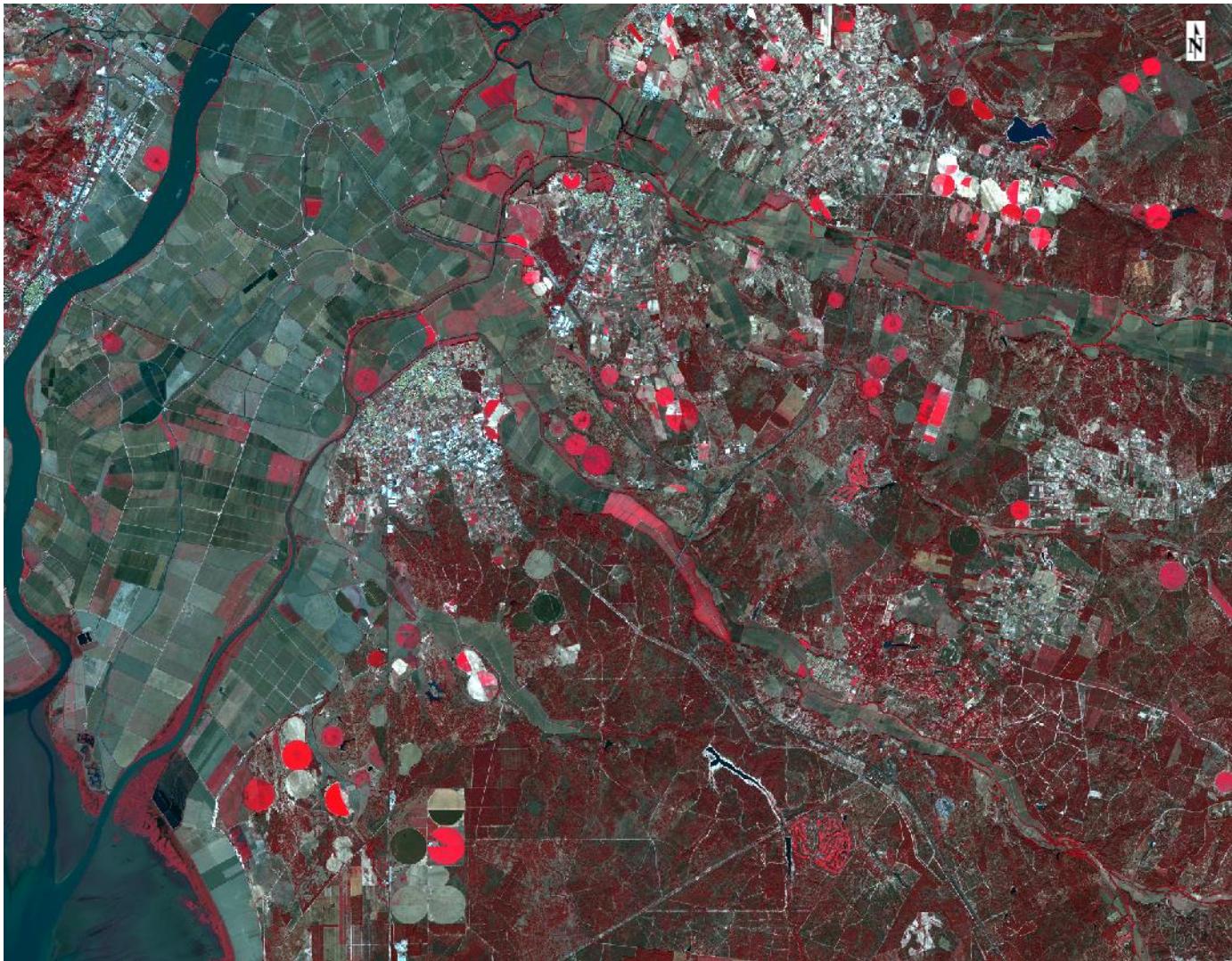
Sentinel-2:composição 4-3-2

22 out 2017



Sentinel-2:composição 8-4-3

22 out 2017



Sentinel-2:composição 8-4-3

Companhia das Lezírias





Sentinel-2:composição 8-4-3

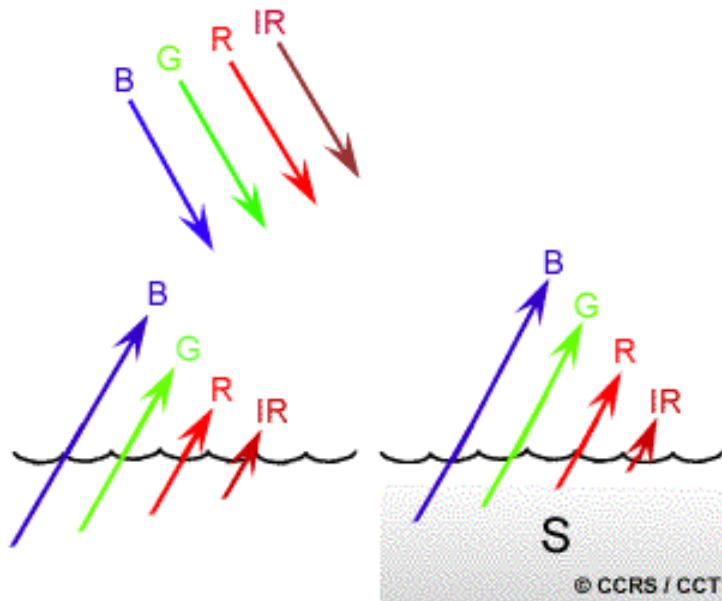


Sentinel-2:composição 4-3-2



Interacção Radiação – Alvo

Exemplo: água



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

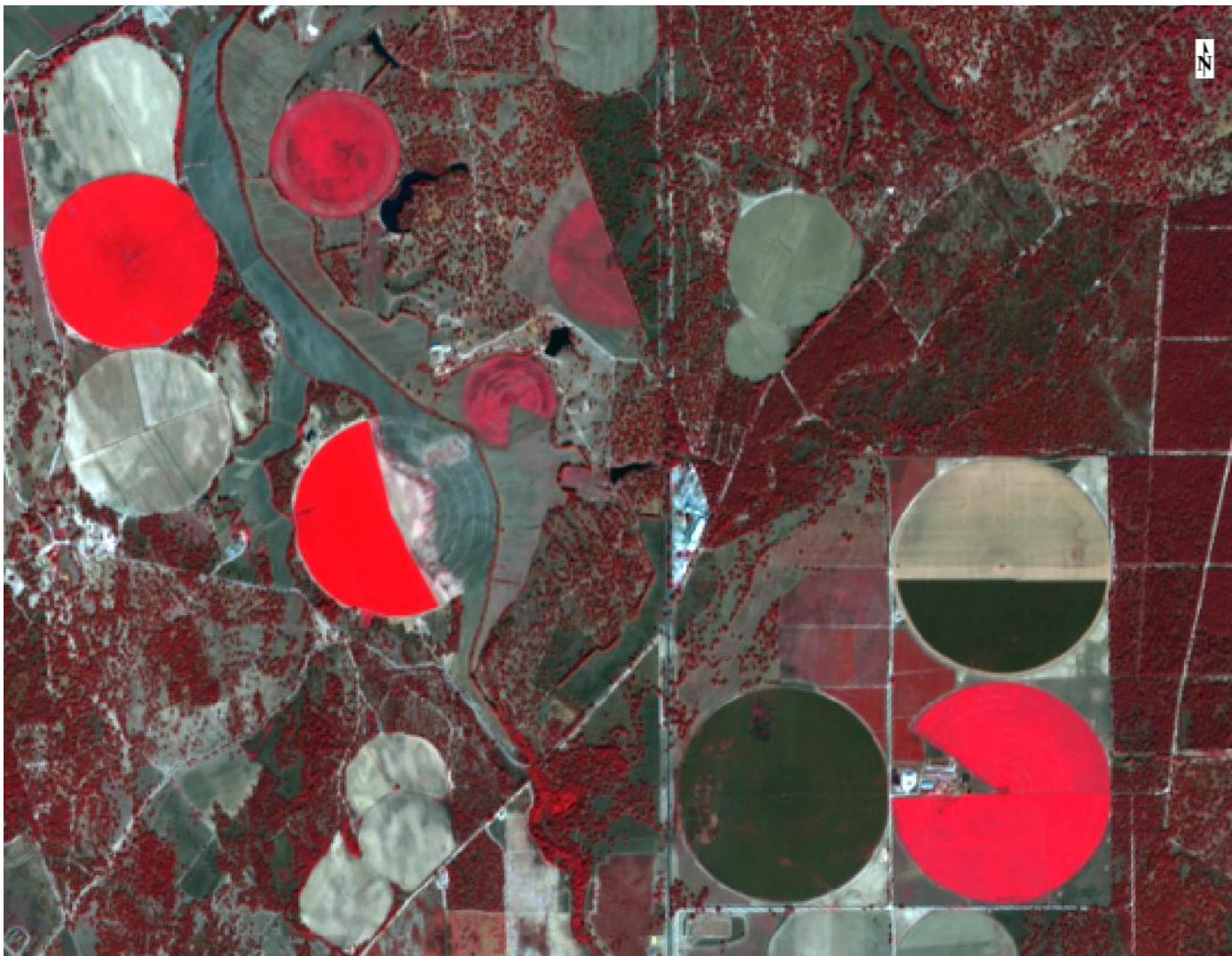
Por isso a água aparece azul aos nossos olhos e escura se vista nos maiores comprimentos de onda.

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.

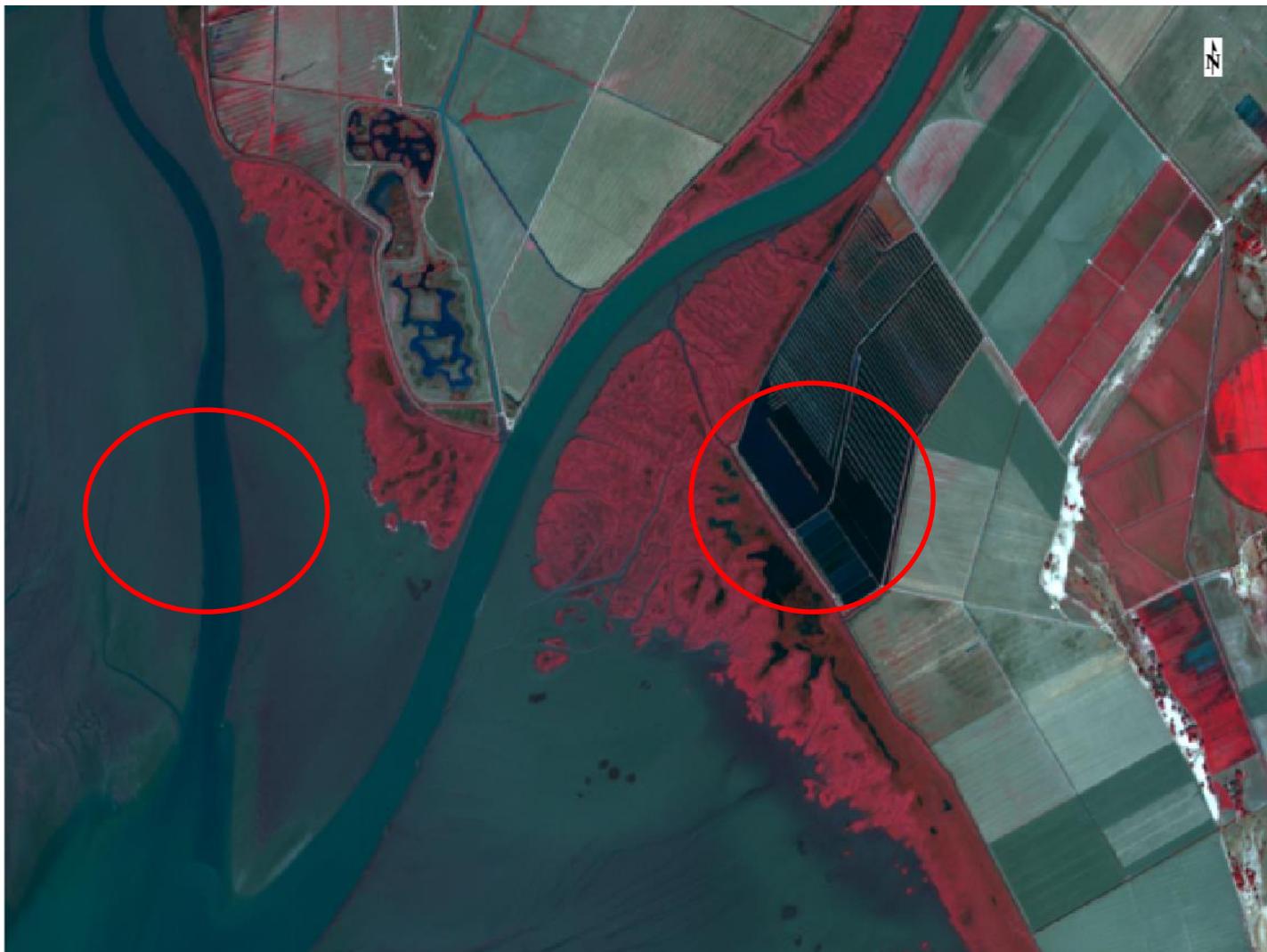
Sentinel-2:composição 8-4-3

Reflectância da água no infravermelho



Sentinel-2:composição 8-4-3

Reflectância da água no infravermelho



B8, 842 nm

N

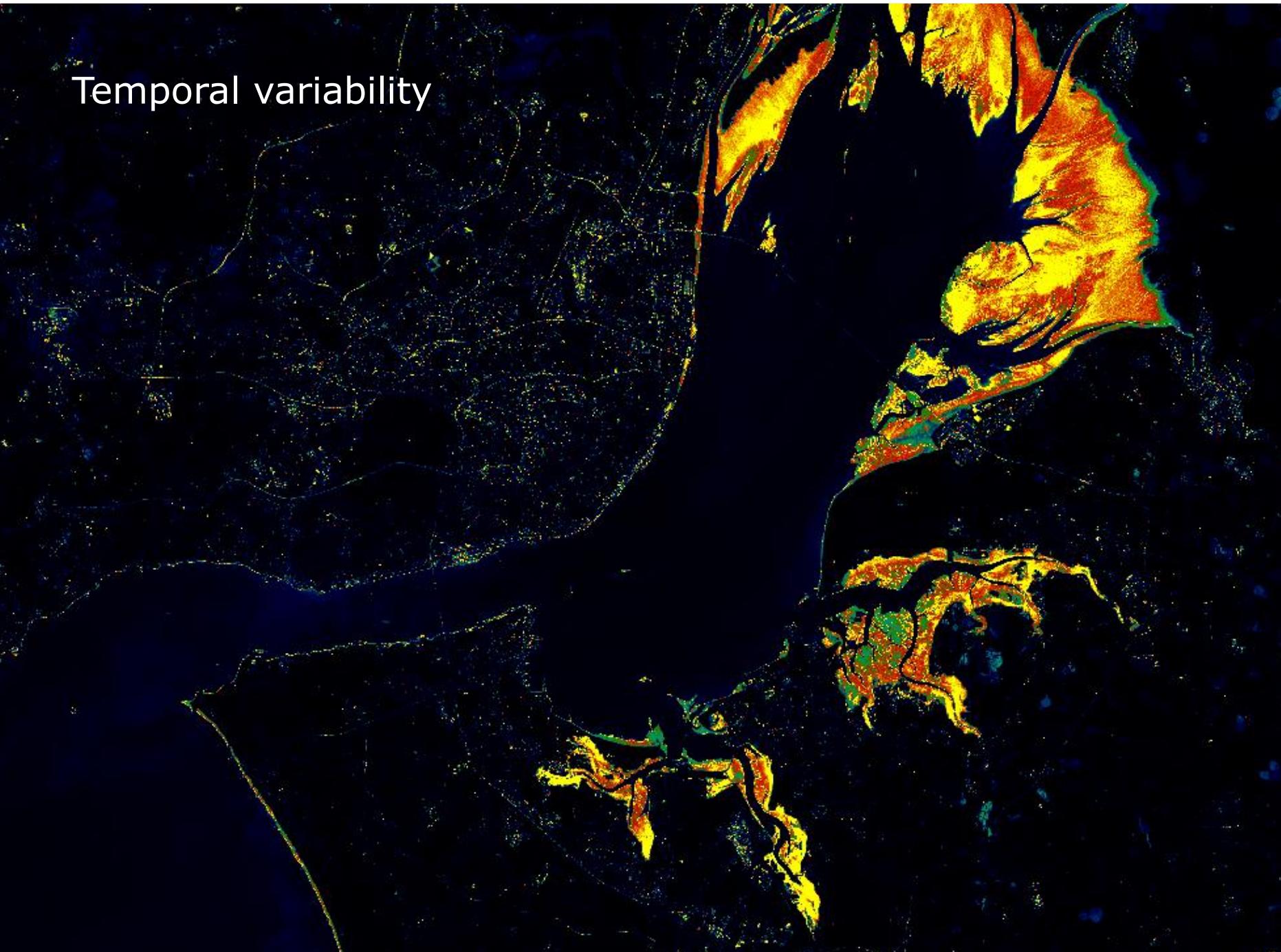


B11, 1610 nm

N



Temporal variability



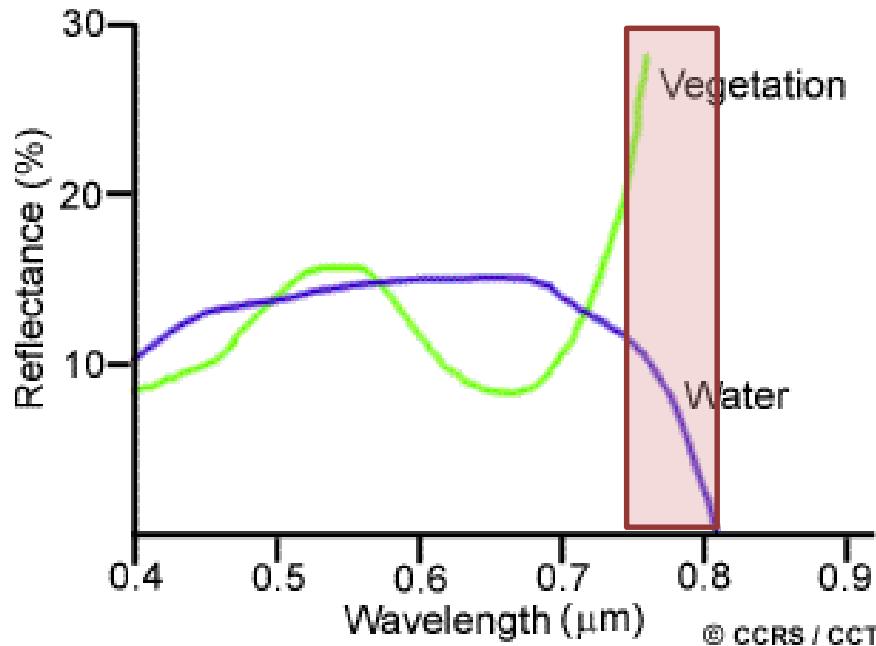


Ciênc
ULisb



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.

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 espetrais no terreno.



Existe um grande interesse na medição das **assinaturas espetrais** 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 duma dada superfície num determinado o intervalo espectral (p.e.: 0.4 – 2.5 mm).

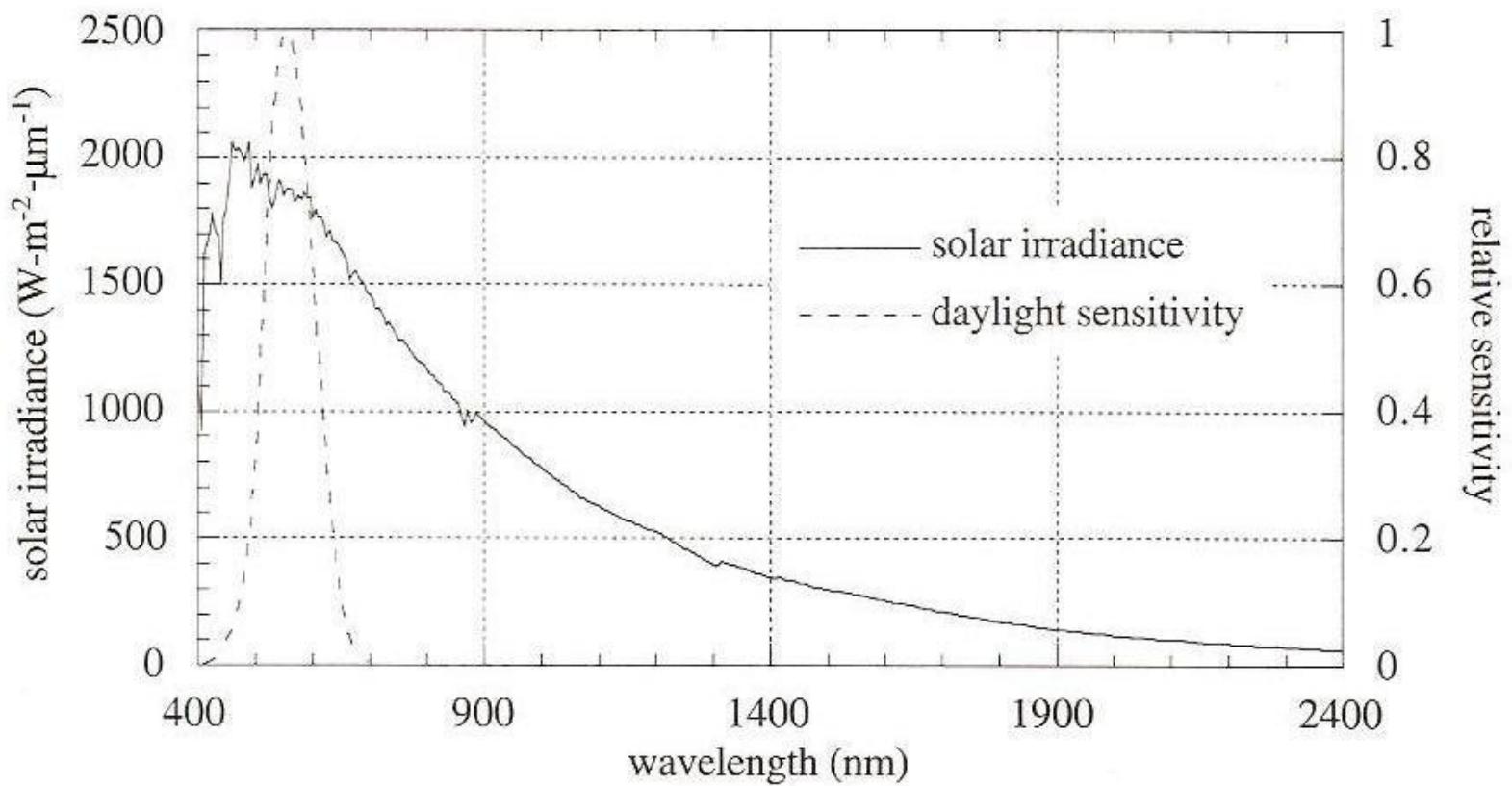
Esta curva de reflectividade duma superfície varia muito em função:

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

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

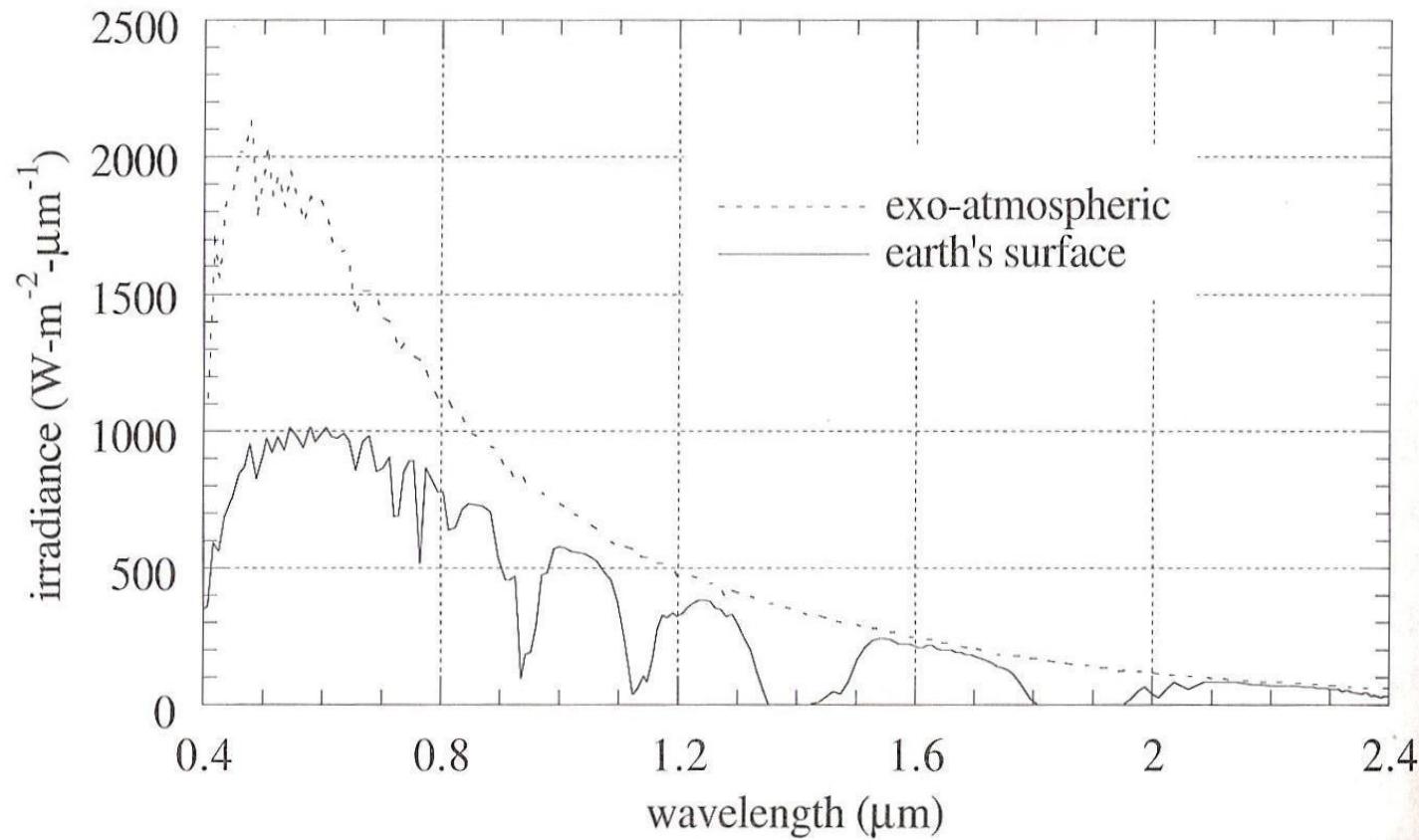
É possível obter curvas de refletividade média que, embora tenham apenas um valor indicativo no sentido que podem variar muito em função dos parâmetros apenas descritos, contem informações úteis sobre o comportamento da superfície observada.

Irradiância espectral solar

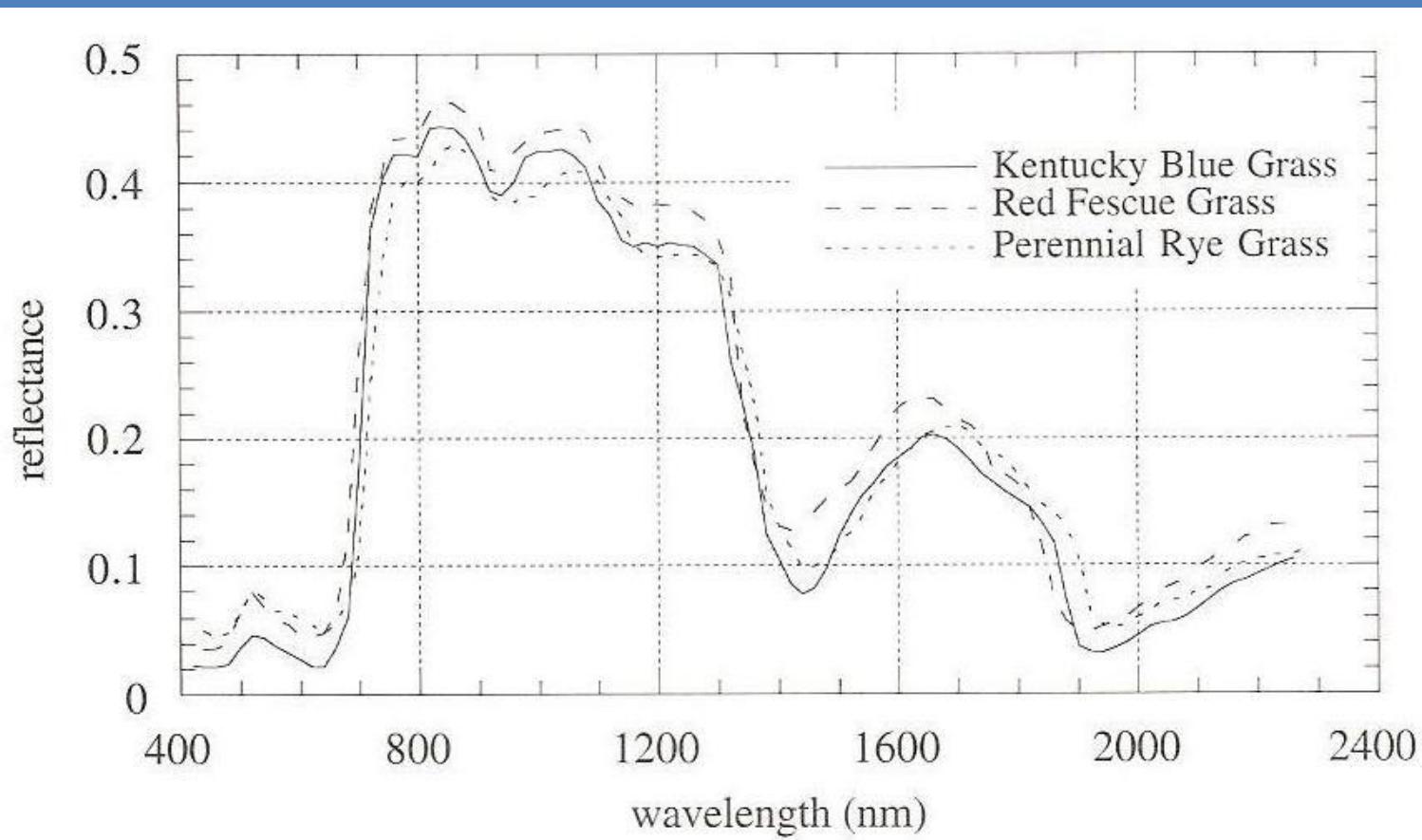


Irradiância espectral solar no topo da atmosfera

Irradiância espectral solar

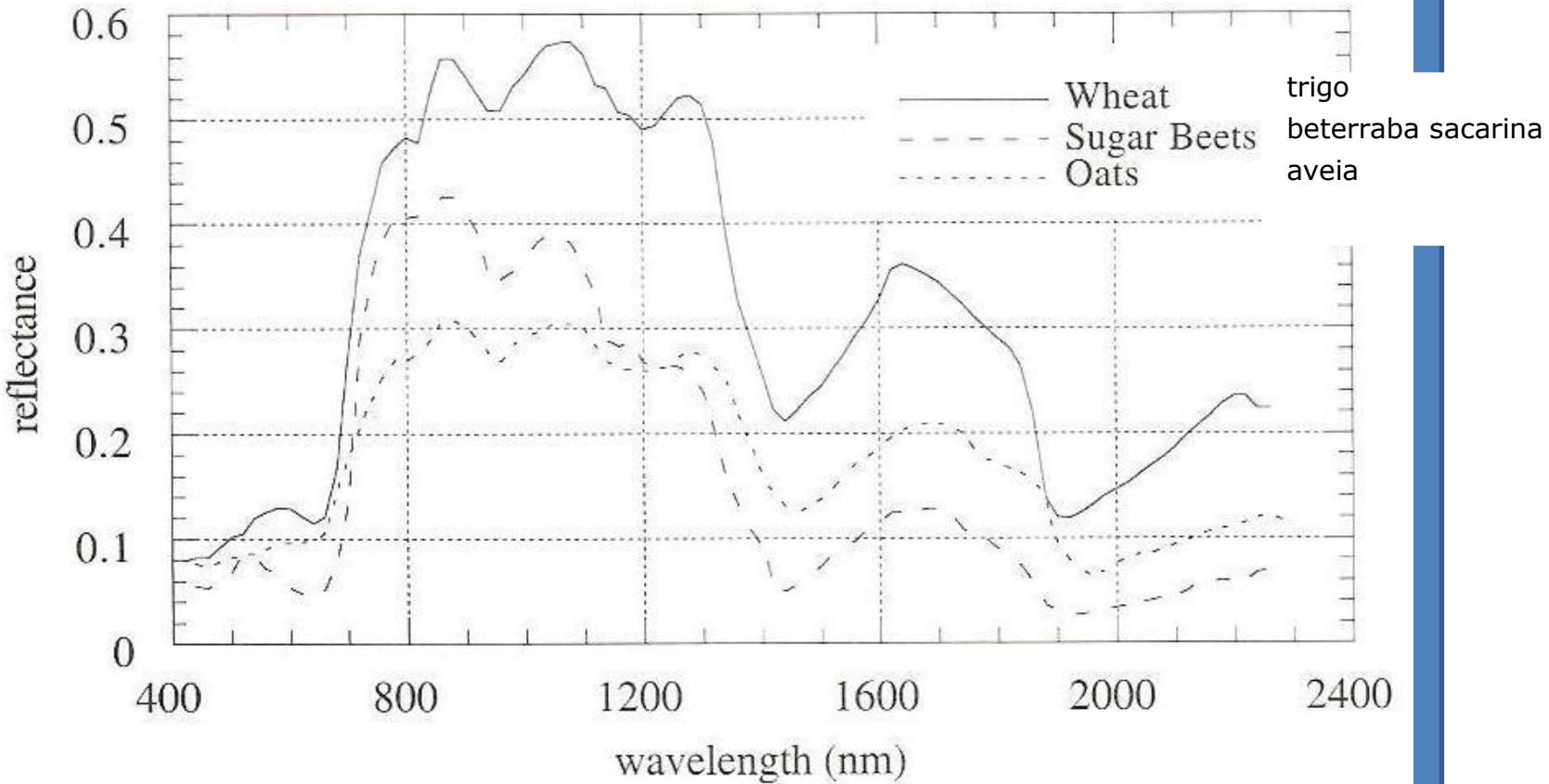


Assinatura Espectral da vegetação



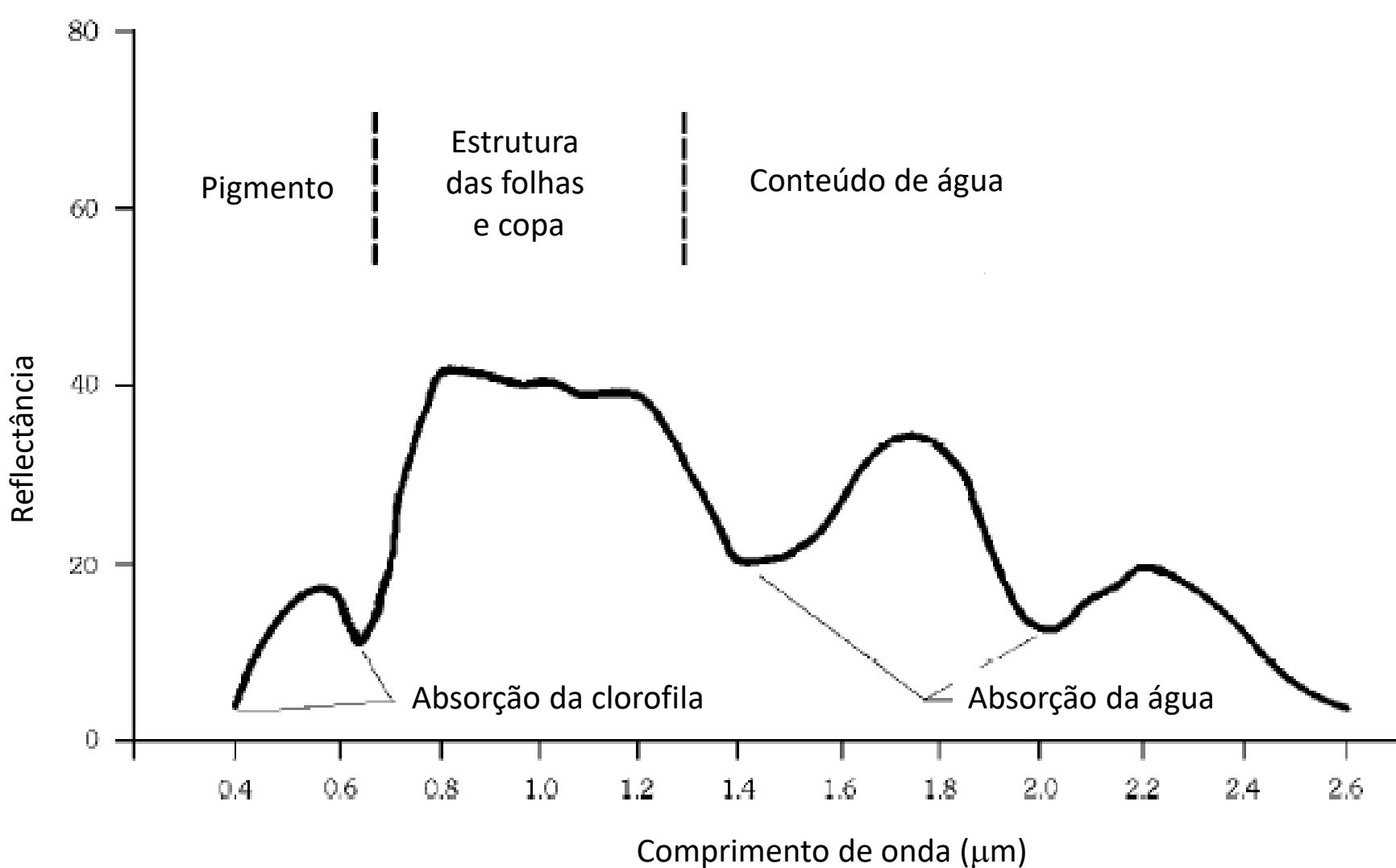
Exemplo de curvas de reflectância espectral

Assinatura Espectral da vegetação

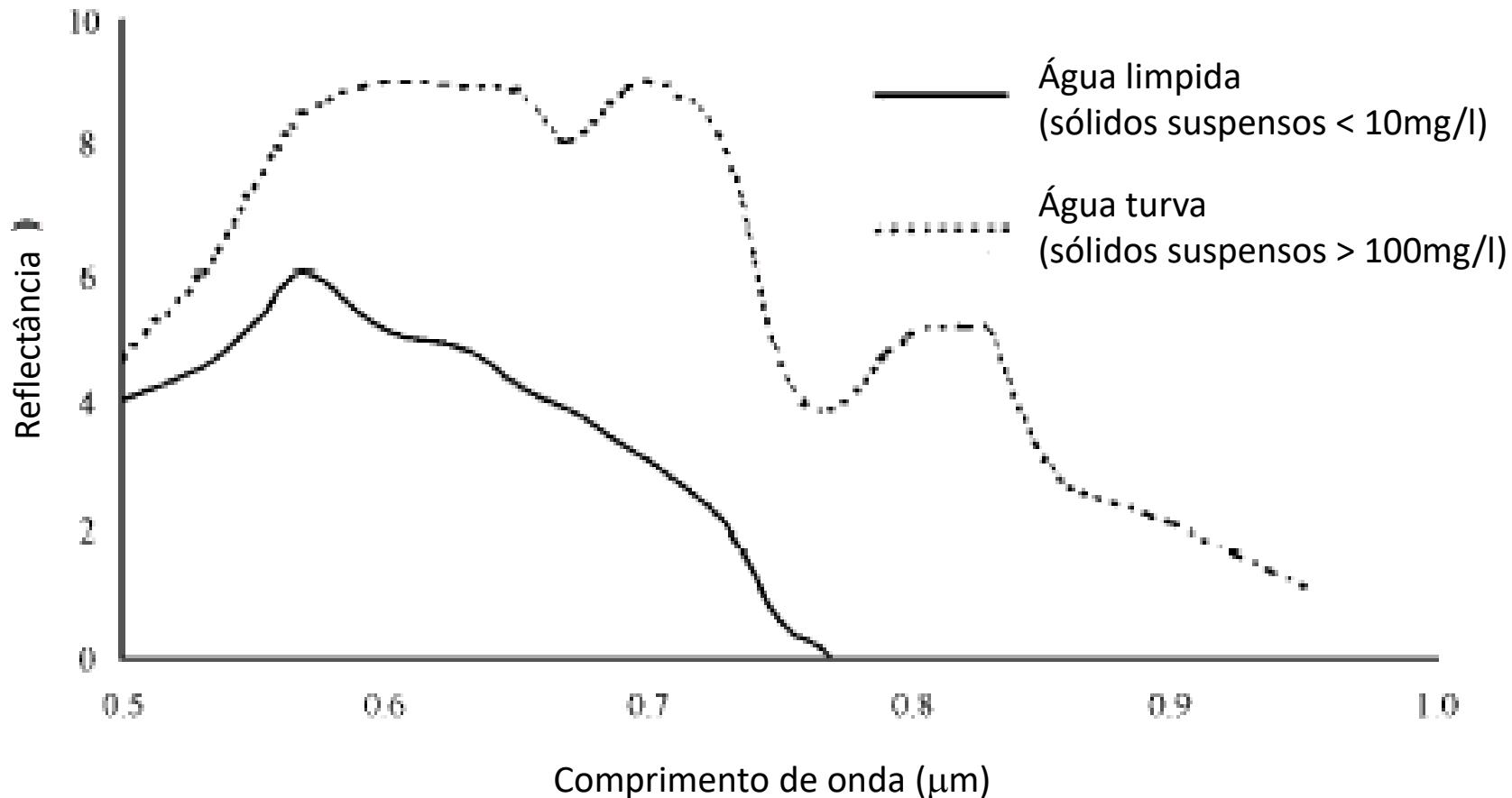


Exemplo de curvas de reflectância espectral

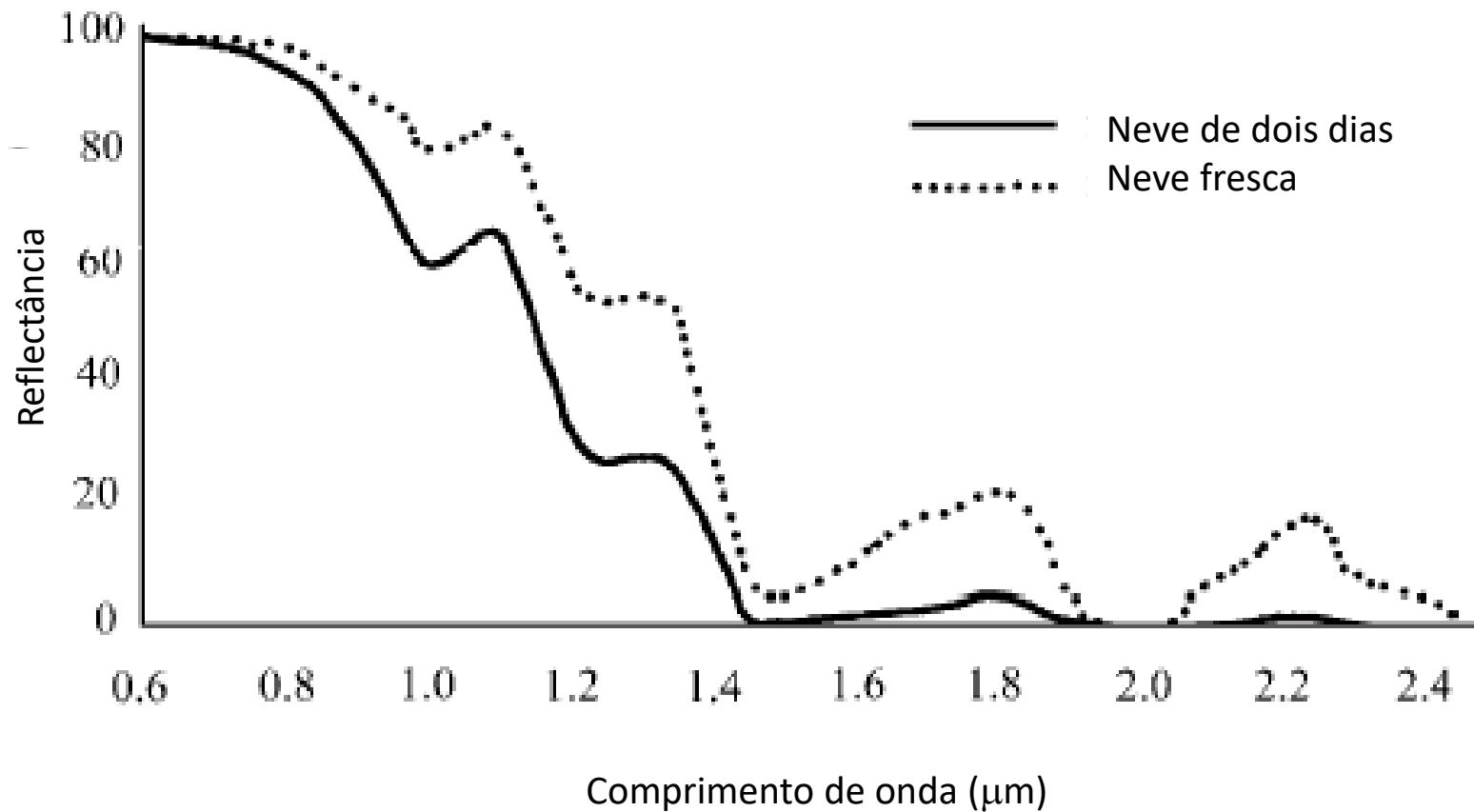
Vegetation reflectance



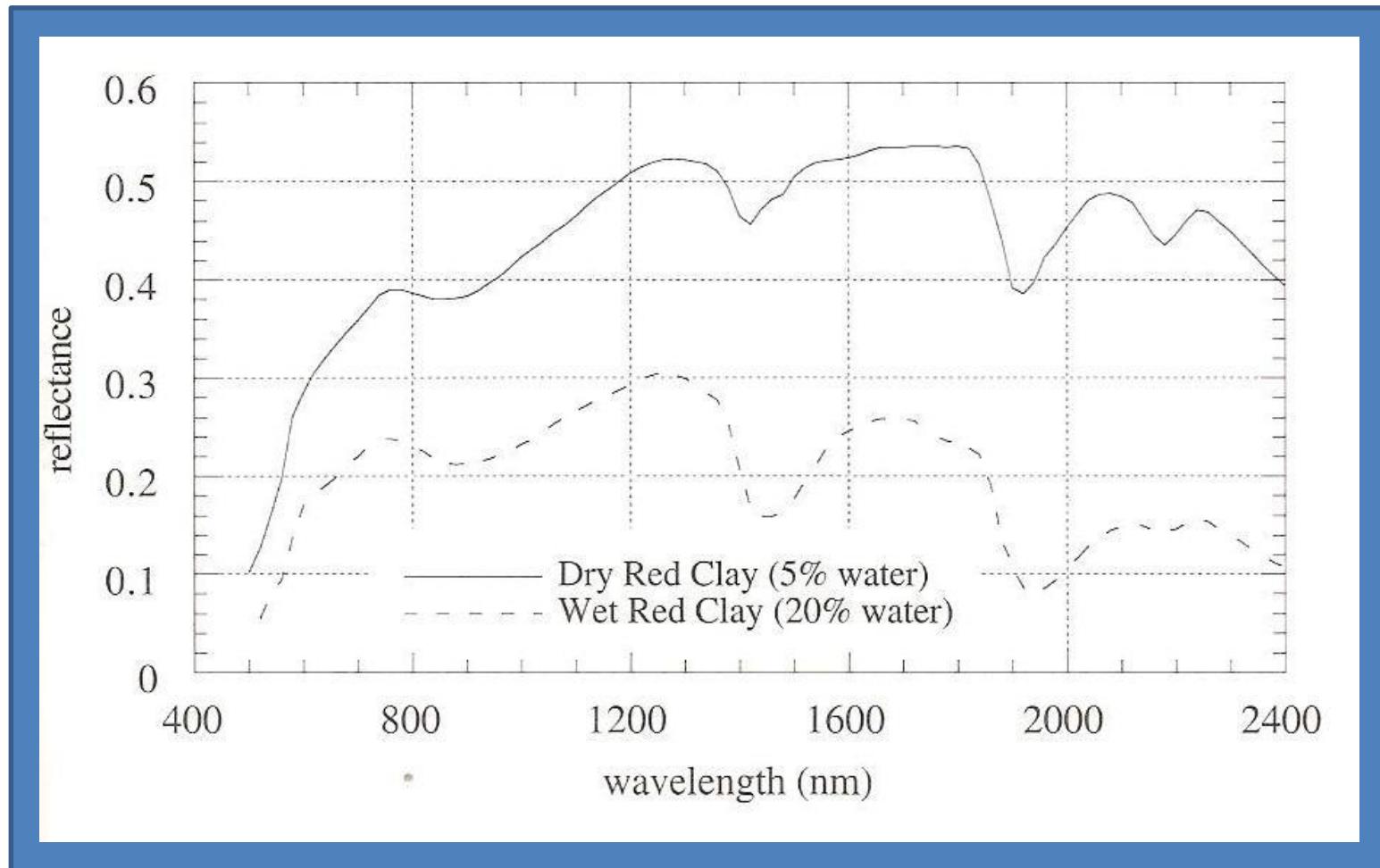
Water reflectance



Snow reflectance

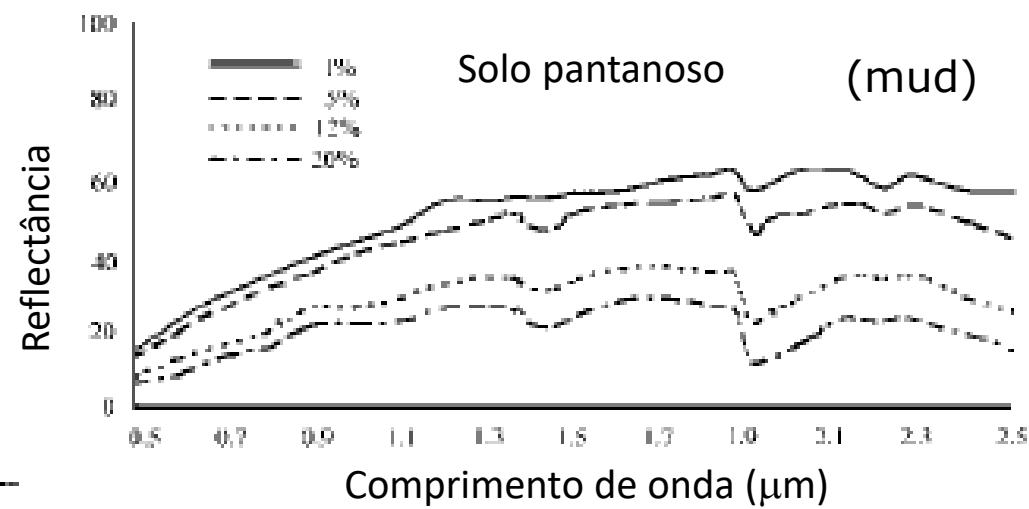
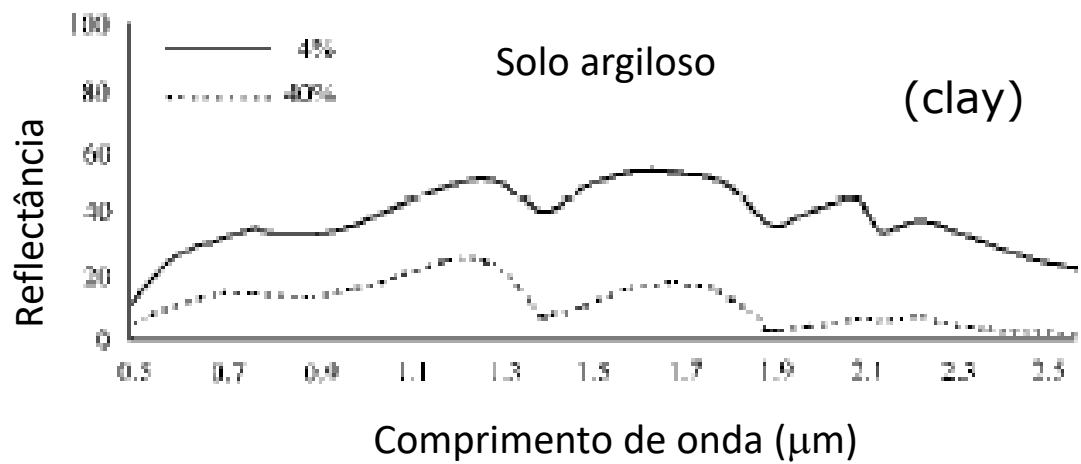
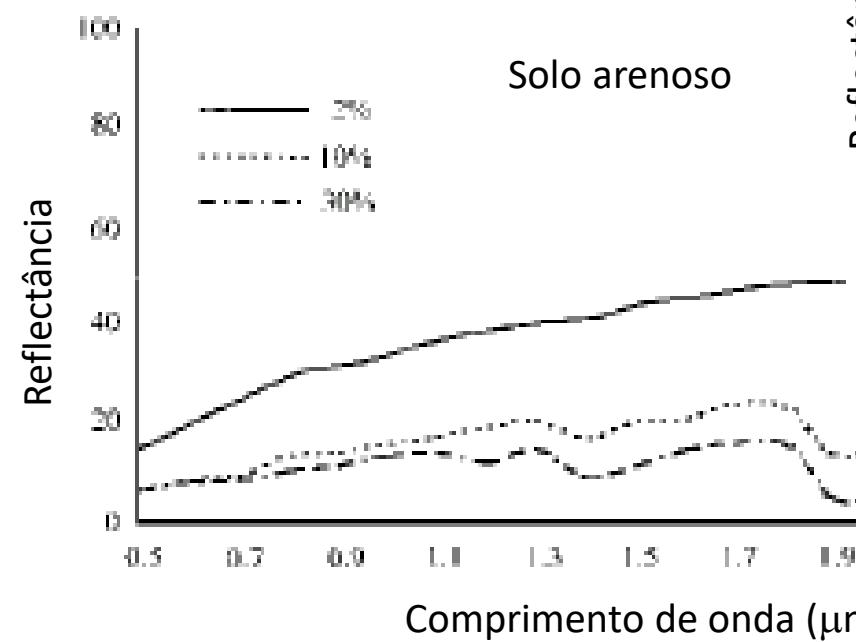


Assinatura Espectral

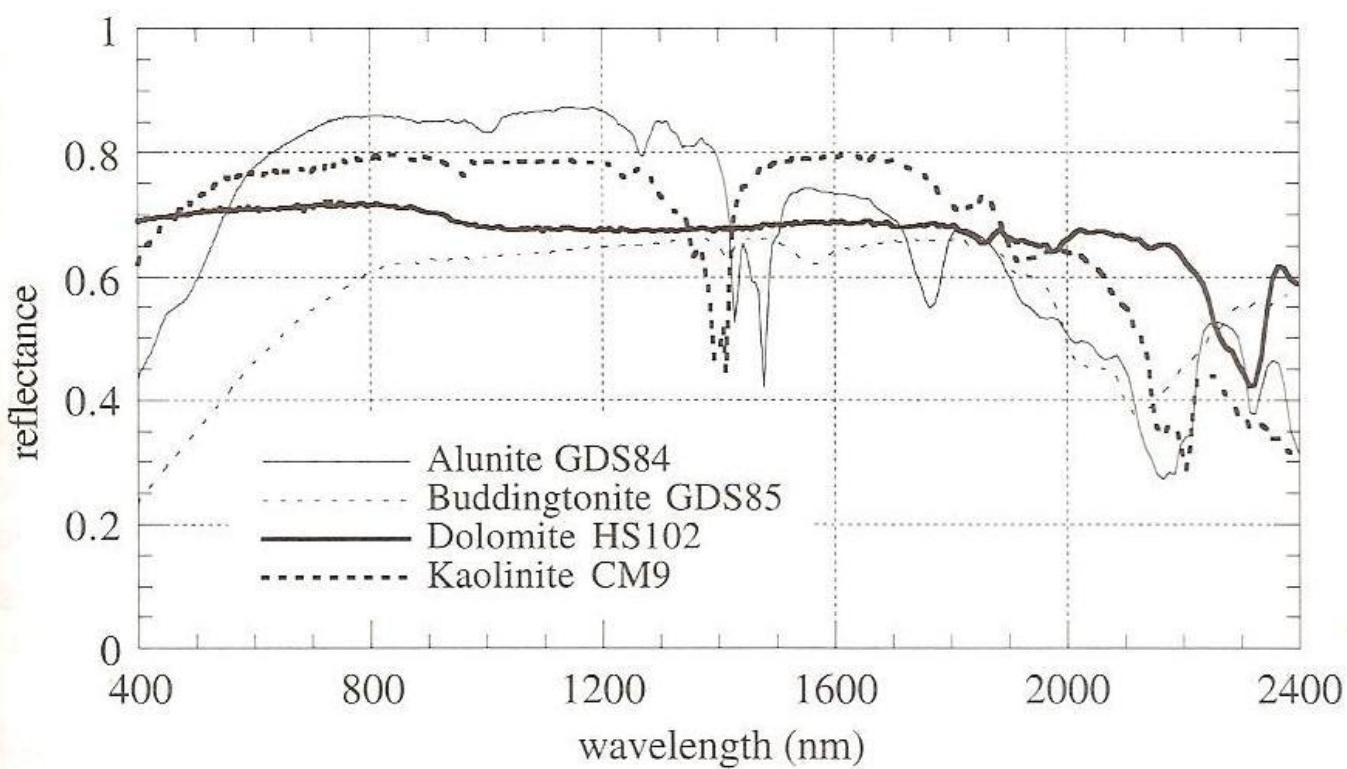


Exemplo de curvas de reflectância espectral (Clay = argila)

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

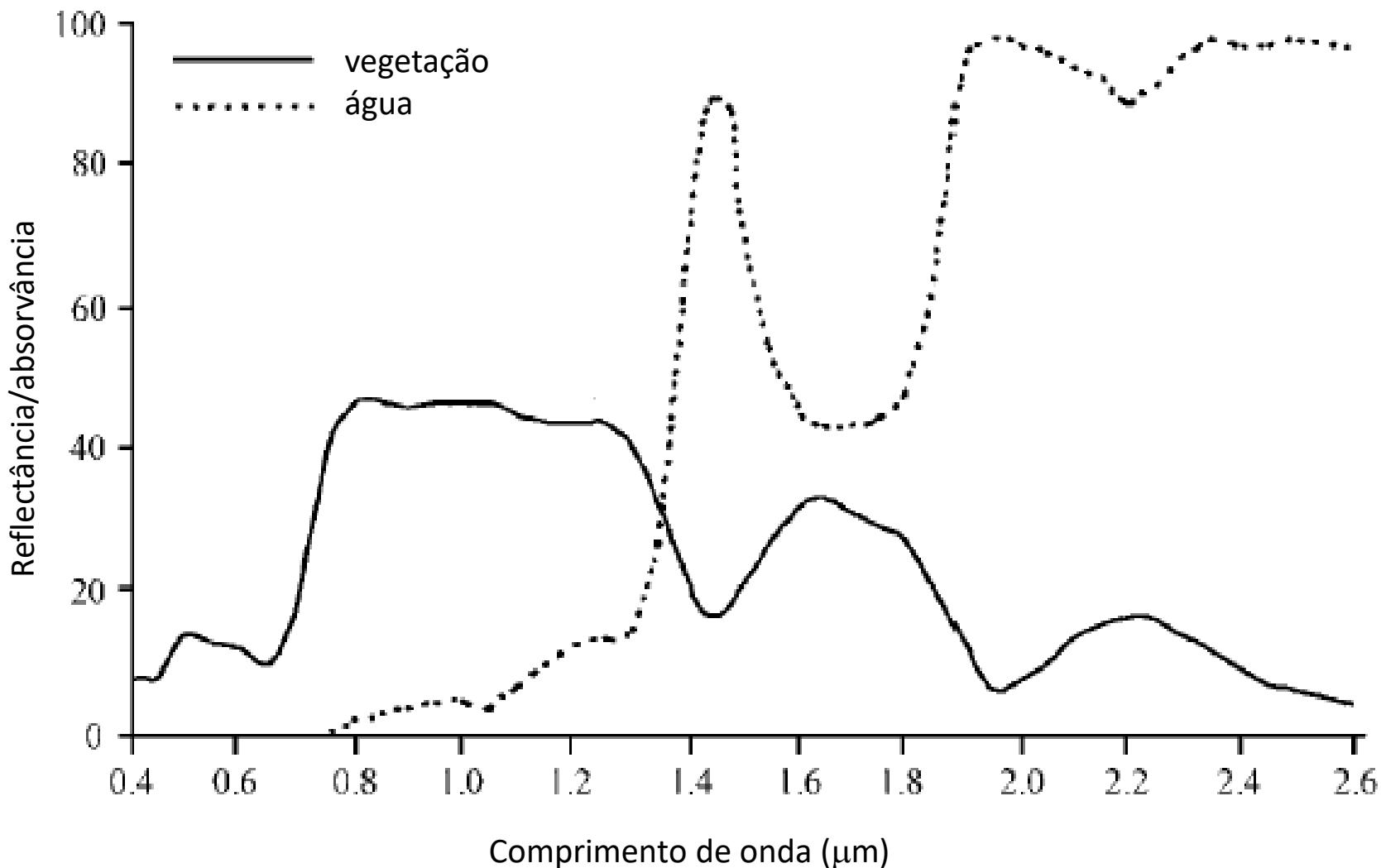


Assinatura Espectral



Exemplo de curvas de reflectância espectral

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

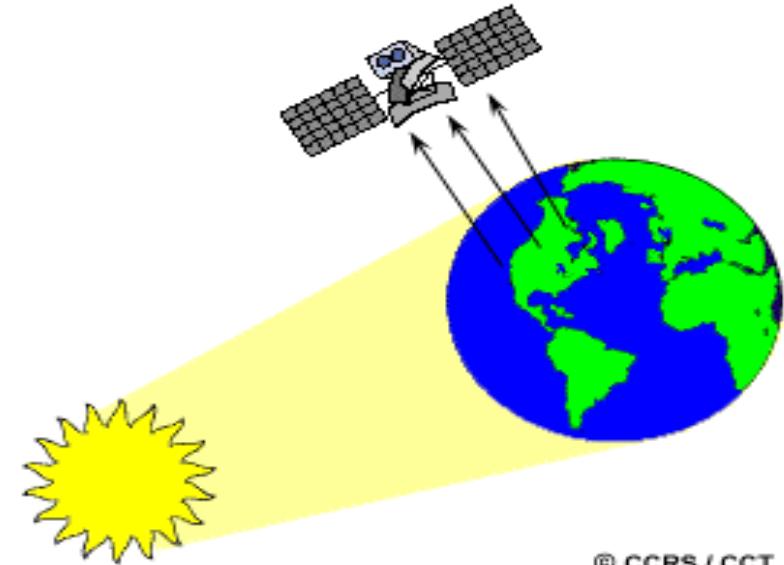


Detecção Passiva vs Activa

1+

A energia do Sol é:

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



© CCRS / CCT

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

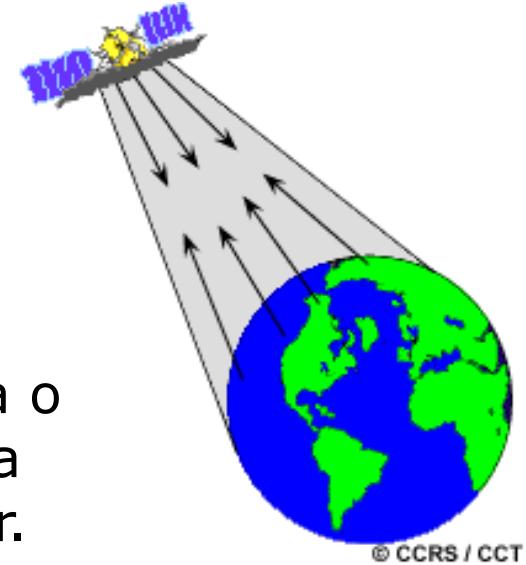
Sensores Activos

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

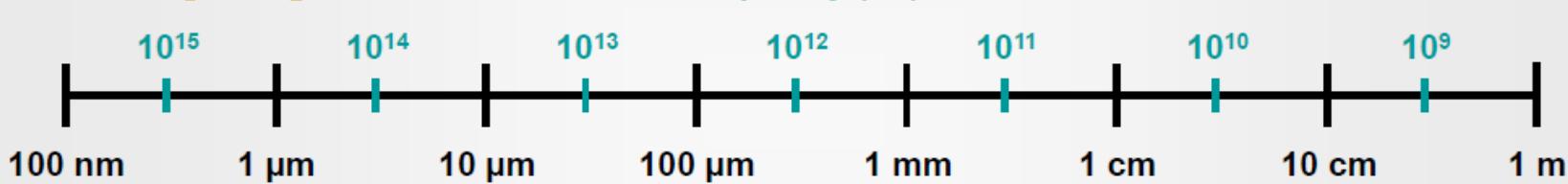
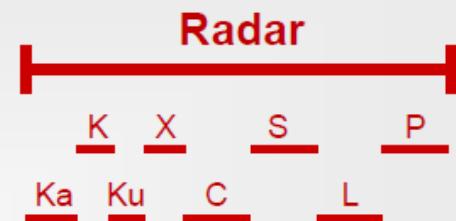
Estes sensores podem ser usados para examinar a interação com a superfície de comprimentos de onda que são fracamente fornecidos pelo Sol – tipo micro-ondas.



Tipos de sensores

Spaceborne sensors for Earth remote sensing with electromagnetic waves

active sensors



wave length

Microwave radiometers

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



passive sensors

Sensores Ópticos

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

Espaço

Comprimento de onda

Tempo

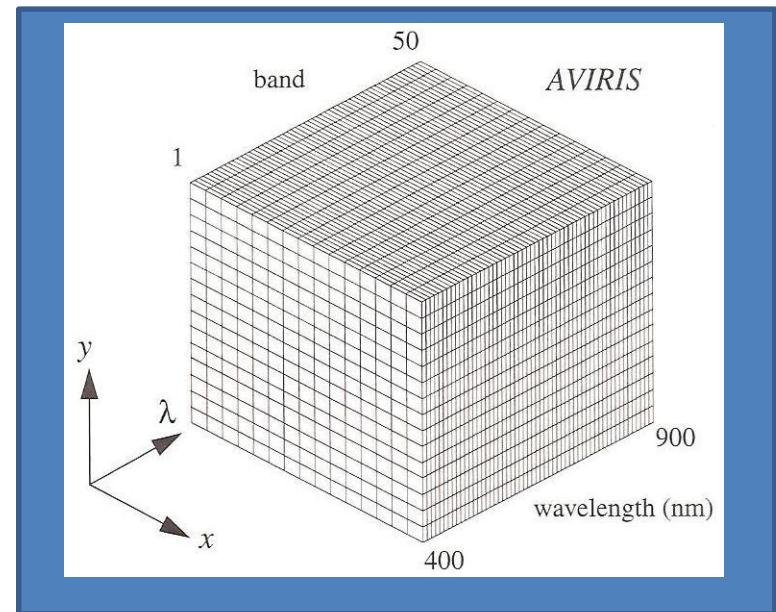
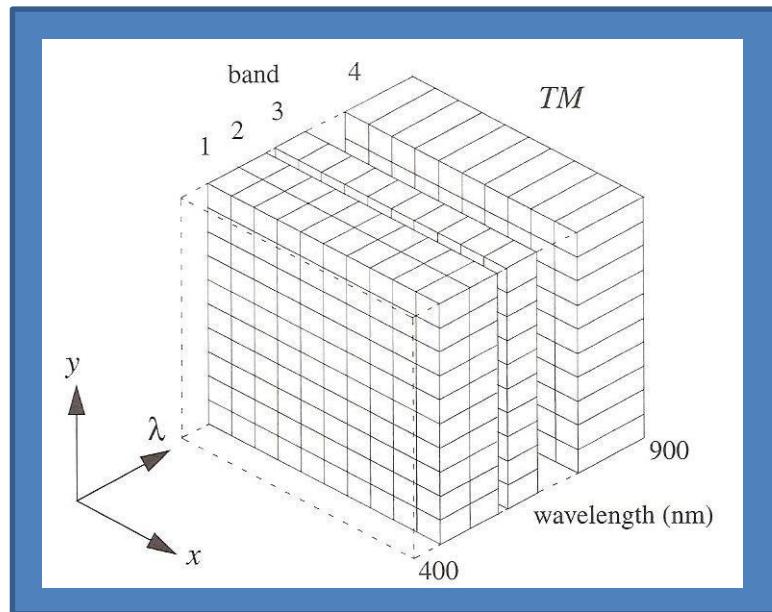
A média no tempo é geralmente muito pequena (na ordem dos micro segundos para sensores whiskbroom como TM e milissegundos para sensores pushbroom como o SPOT) e é inconsequente na maioria das aplicações.

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

Whiskbroom =
movimento rápido

Sensores Ópticos

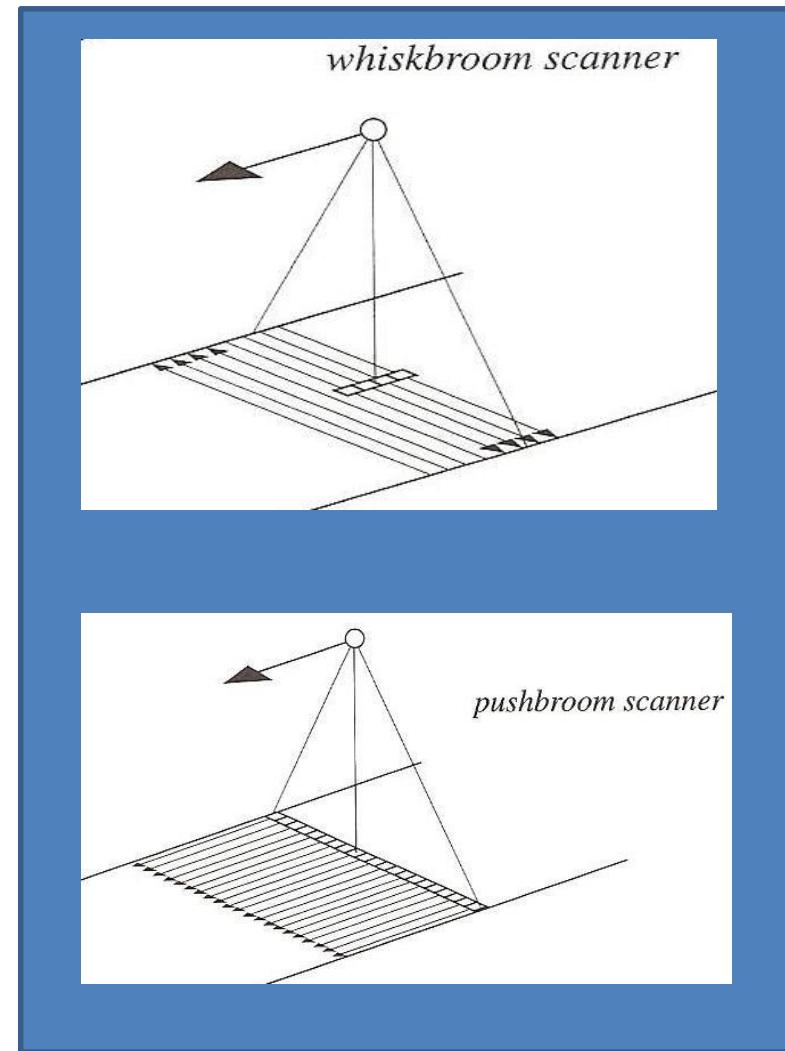
Se considerarmos um espaço continuo tri-dimensional paramétrico (x, y, λ), definido com as coordenadas (x, y) e o comprimento de onda (λ) podemos visualizar cada pixel de uma imagem como representando uma integração sobre um elemento de volume pequeno.



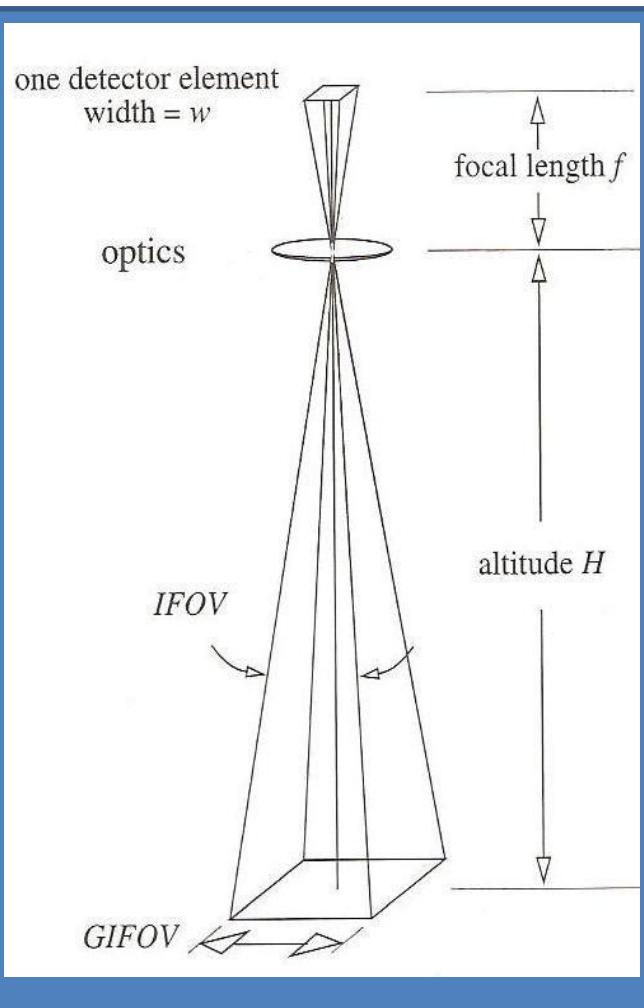
Sensores Ópticos

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



Se a taxa de amostragem é igual a um pixel por espaçamento entre detectores a relação para o GSD no nadir é simplesmente:

$$GIFOV = \text{dimensão dos detectores} \times \frac{H}{f}$$

ou

$$GIFOV = \text{dimensão dos detectores} \times m$$

$$\text{Em que } m = \frac{H}{f}$$

é a amplificação geométrica do solo para o plano focal do sensor

Sensores Ópticos

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

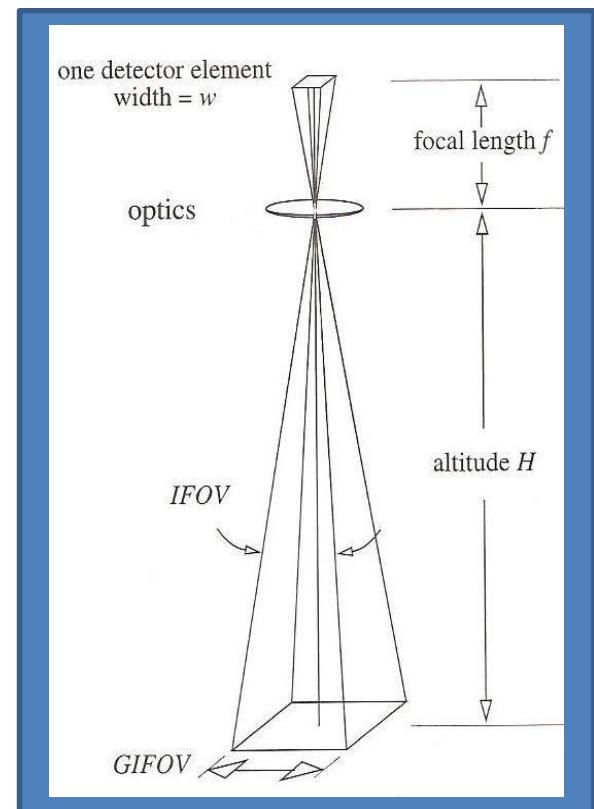
$$\text{IFOV} = \text{FOV} / (\text{número píxeis})$$

O IFOV é independente da altitude do satélite.

O valor de GIFOV é:

$$GIFOV = 2H \operatorname{tg}\left(\frac{\text{IFOV}}{2}\right)$$

ou GSD, Ground Sampling Distance



Resolução Espacial

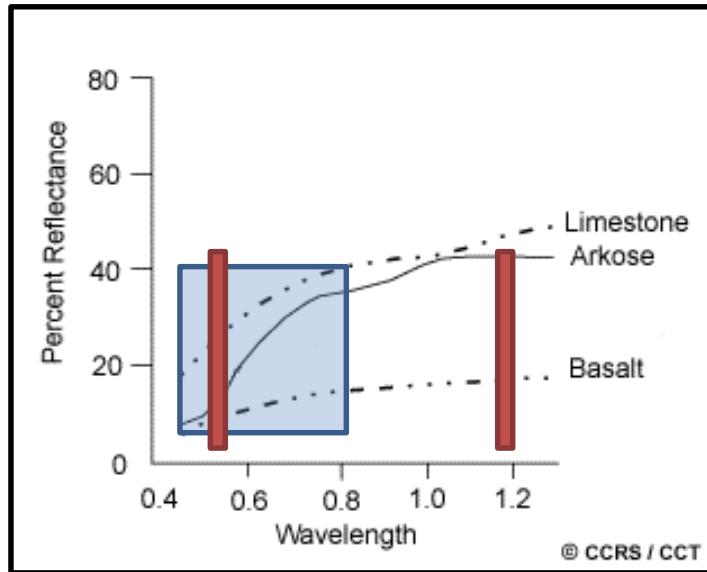
A **resolução espacial** é o valor do GIFOV, a menor que é representada na imagem.

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

Resolução Radiométrica

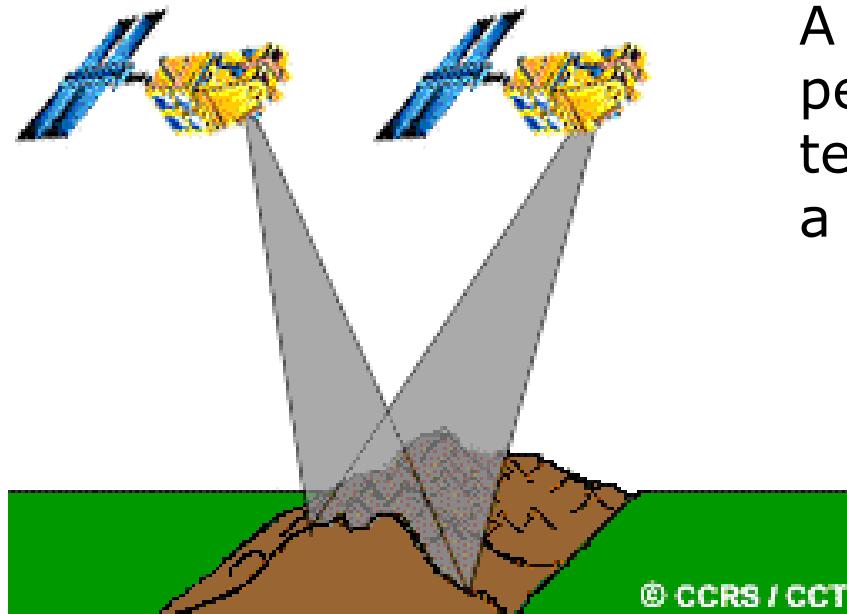


A resolução radiométrica de uma imagem descreve a capacidade de discriminar pequenas diferenças na energia.

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



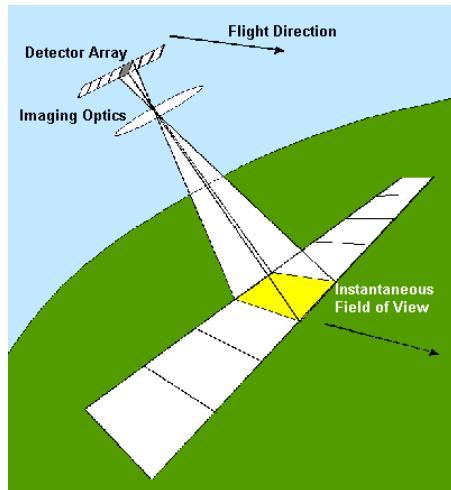
A resolução temporal é o período de revisita, ou seja o tempo que demora um satélite a completar um ciclo orbital.

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.

Número Digital

4+



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)

Sistemas de Imagem

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

BSQ (Band SeQuential)

BIP (Band Interleaved by Pixel)

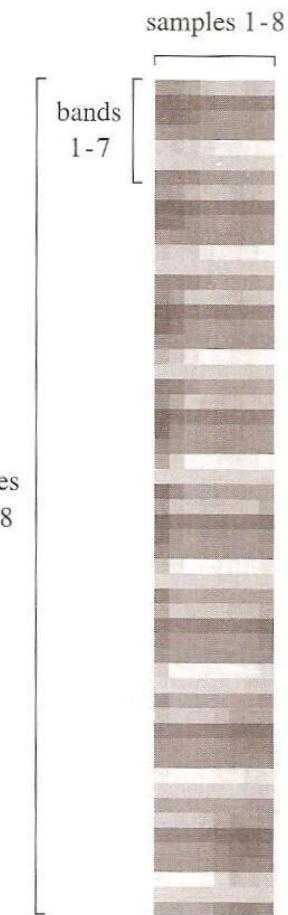
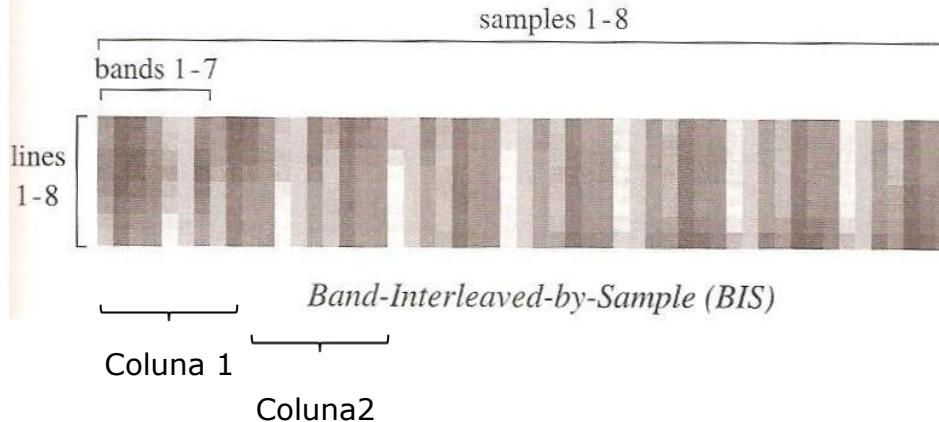
(BIS – Band Interleaved by Sample)

BIL (Band Interleaved by Lines)

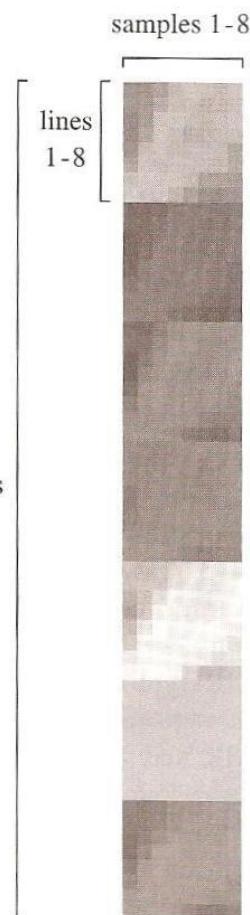
Estes formatos são determinados por diferentes ordenações das três dimensões dos dados. Do ponto de vista do tempo de acesso:

- 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

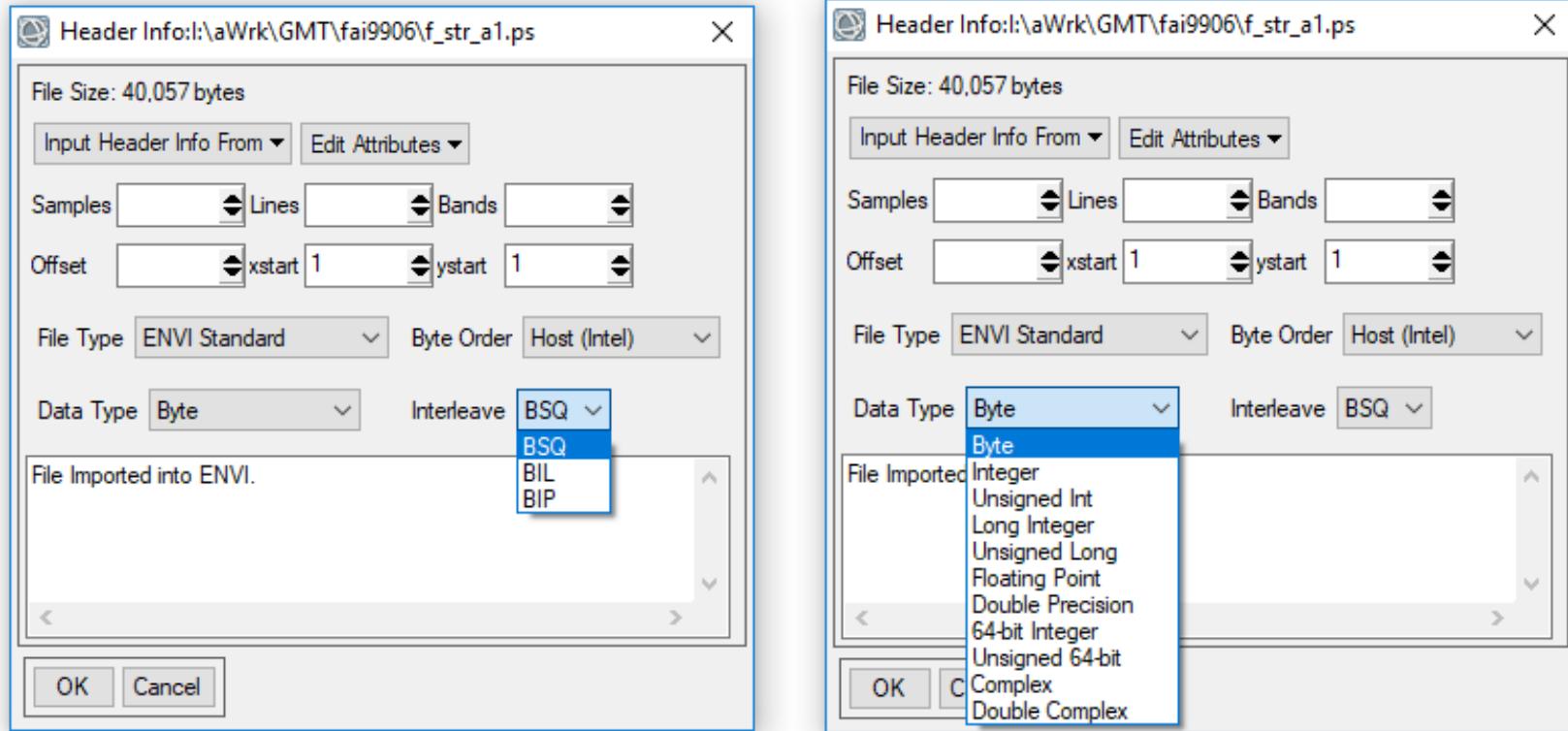


Band-Interleaved-by-Line (BIL)



Band-SeQuential (BSQ)

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

s follows:

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

offset values

data reflectance_offset values = REFLECTANCE_ADD_BAND_1/sin(sun_elevation)

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

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

dem band

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.

dem file

Path and filename of a **DEM associated with the image**.

description

DESOE, 2000 Catalog References Performance & Examples



Sentinel Hub, Playground

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

The screenshot shows the Sentinel Hub Playground interface. On the left, there is a sidebar with various rendering options:

- Rendering: Natural color (Based on bands 4,3,2)
- Effects: 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 (B8A - B11)/(B8A + 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)

Below the sidebar is a "GENERATE" button.

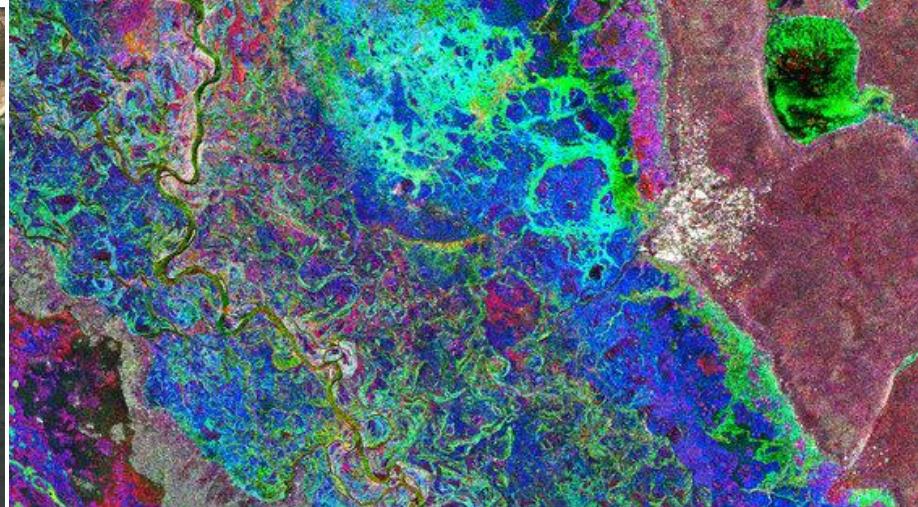
The main area displays a satellite map of the Iberian Peninsula. The map shows land cover and vegetation patterns. A legend at the bottom right indicates a scale of 20 km. The top of the map includes navigation controls (back, forward, zoom) and a timestamp (2021-08-12).

At the bottom of the screen, there are several promotional banners:

- 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**

The bottom bar also shows the Windows taskbar with various pinned icons and the system tray.

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



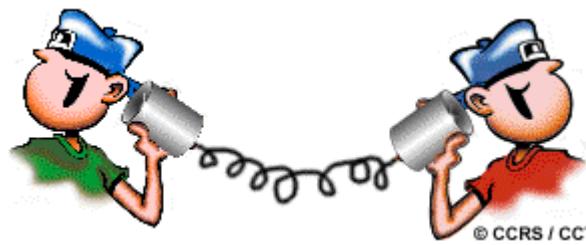


FIM do 1º Capítulo

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

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 μm

Questões

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

Resposta:

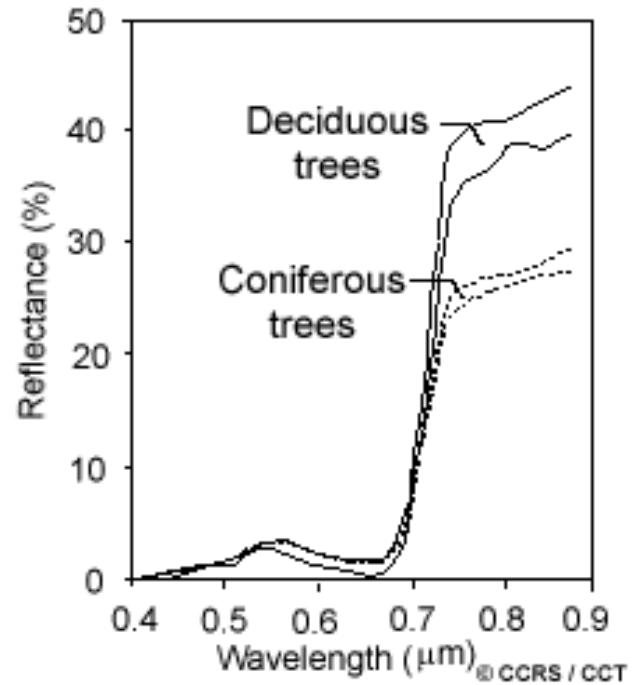
Por volta do meio-dia num dia de sol, seco, sem nuvens e nenhuma poluição seria o ideal para a DR.

Ao meio-dia o sol está no seu ponto mais alto, o que reduz a distância 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.



Questões

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.

Questões

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/characteristicas 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 7×7 , 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
---	---	---	---	---	---

Questões

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						

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

Questões

A imagem na sua forma convencional

PIXELS

	1	2	3	4	5	6	7
L	5	3	4	5	4	5	5
I	2	2	3	4	4	4	6
N	2	2	3	3	6	6	8
E	2	2	6	6	9	8	7
S	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	5	5	4	6	7	7	7
I	2	4	6	5	5	6	5
N	5	3	5	7	6	6	8
E	3	4	5	6	8	8	7
S	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'



Questões

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 17.5×10^5 bytes, quantas bandas tem a imagem

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

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

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

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).

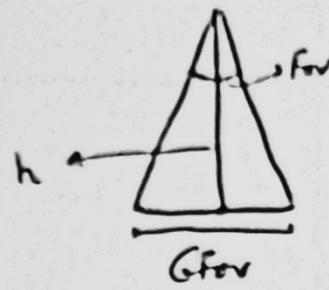
Observation technique	Pushbroom imager
Spectral bands	9 bands in VNIR/SWIR covering a spectral range from 443 nm to 2300 nm
Telescope	<ul style="list-style-type: none"> - Four-mirror off-axis telescope design with a front aperture stop - Use of optical bench - Telecentric design with excellent stray light rejection
FPA (Focal Plane Assembly)	<ul style="list-style-type: none"> - Consisting of 14 sensor chip assemblies mounted on a single plate - FPA is passively cooled - Hybrid silicon / HgCdTe detectors - Butcher block filter assembly over each SCA (Sensor Chip Assembly)
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"> - Solar calibrator (diffuser) used once/week - Stimulation lamps used to check intra-orbit calibration - Dark shutter for offset calibration (used twice per orbit) - Dark detectors on focal plane to monitor offset drift
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 15 m Pan 60 m TIR	30 m VNIR 15 m Pan 100 m TIR
Quantization	8 bit	12 bit
Onboard Calibration	Yes	Yes
Resitit 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

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



$$h = 700 \text{ km}$$

$$T_B \frac{\theta_{fov}}{2} = \frac{G_{fov}/2}{h}$$

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

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

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

Quantos pixels tem a onda

↓

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

(deverosa)

$$\theta_{fov} = 2 \cdot T_B^{-1} \left(\frac{30/2}{700000} \right) = \frac{0.00022}{0.0024}$$