

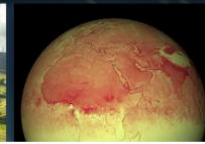


DETEÇÃO REMOTA E PROCESSAMENTO DE IMAGEM



Capitulo 1 – A Detecção Remota

- O que é da Detecção Remota
- Radiação Electromagnética
- Frequência radar
- Interacção 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
- Sistemas de imagens
- Distorção geométrica das imagens



APPLICATIONS

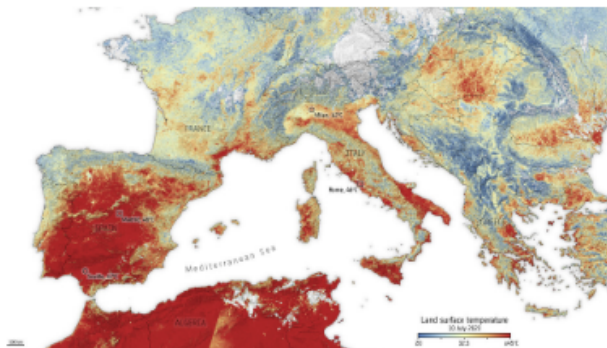
ESA and EC to unite on climate action from space

06/11/2023 2047 VIEWS 38 LIKES

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/ESA_and_EC_to_unite_on_climate_action_from_space

ESA and the European Commission are joining forces to accelerate the use of Earth-observing satellites and the information they provide to address the pressing challenge of climate change.

This landmark initiative signifies a firm commitment to advancing our understanding of Earth's climate system and enhancing our ability to take timely and informed actions to mitigate and adapt to the impacts of climate change, particularly encompassing the European Green Deal.



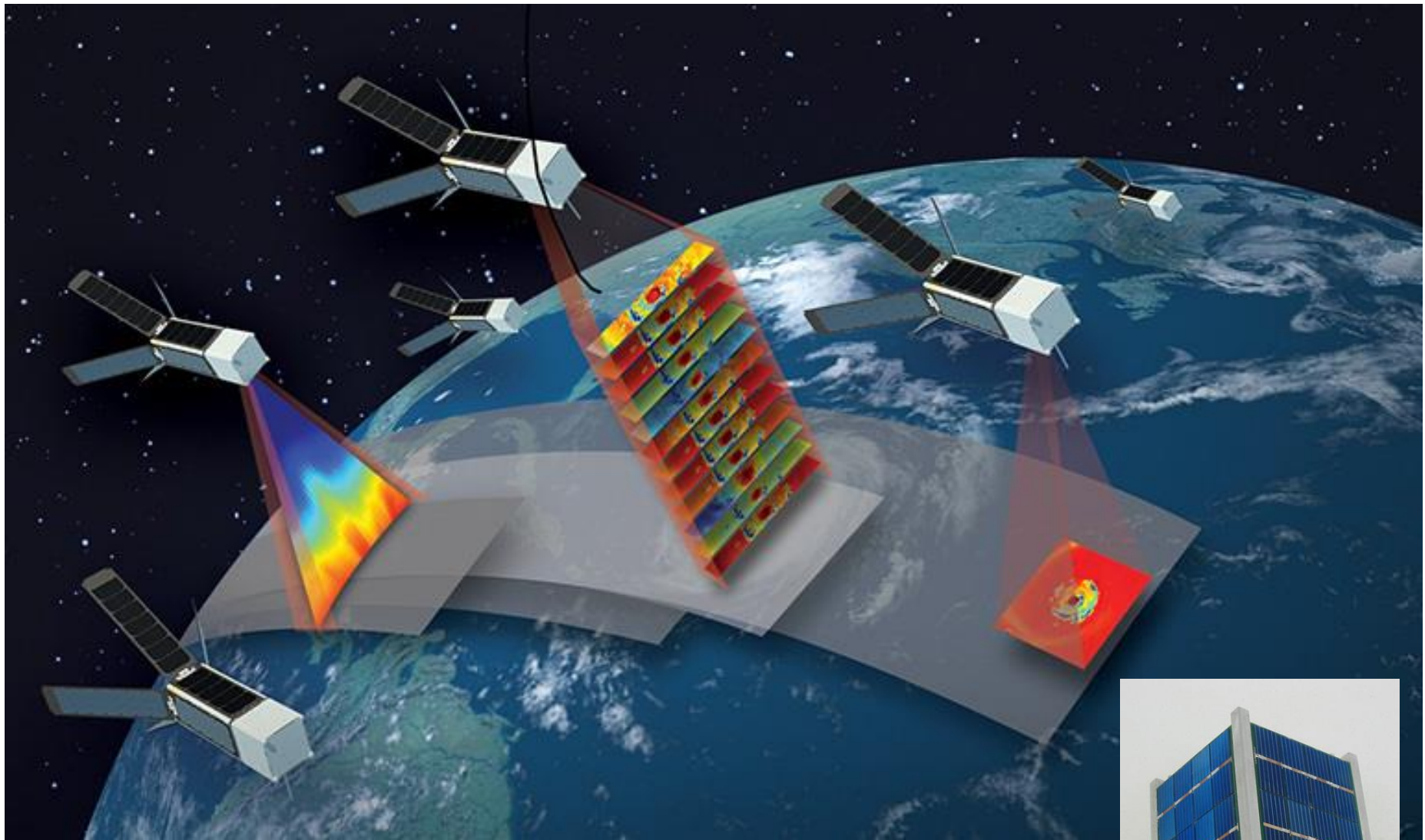
— Heatwave across Europe

The climate crisis is arguably the greatest global challenge we face today, with far-reaching consequences for our planet's ecosystems, economies and societies.

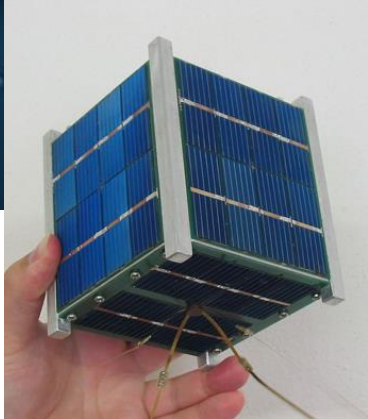
As world leaders grapple with the urgency of climate action, the role of space-based technology and data has become increasingly critical.

Access to actionable information is fundamental to fight climate change, to support knowledge-based policies and initiatives and their implementation, and to ensure that this is balanced with sustainable economic development and societal benefits.

ESA and the Commission's Directorate-General for Climate Action ([CLIMA](#)) are, therefore, seizing the opportunity to harness their combined expertise and resources to bring about transformative change, not least in the context of the EU's [Copernicus space programme](#) and ESA's [Space for a Green Future Accelerator](#).



CubeSat



O que é a Detecção Remota?

A Detecção Remota é um conjunto de métodos para adquirir dados acerca da superfície da Terra, sem estar em contacto com esta.



É uma tentativa de medir algo à distância

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

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 perfil ao longo de um percurso de satélite (scan)

MAS, nesta disciplina estamos principalmente interessados em medições no espaço bidimensional,
ou seja **IMAGEM**.



Detecção Remota : Motivação

Fornecer informação única para resolver os desafios sociais de escala global



Climate Change



Environment



Resources



Sustainable Development



Megacities



Mobility



Hazards

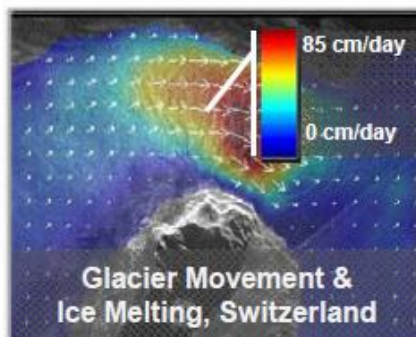


Disaster



Detecção Remota : Motivação

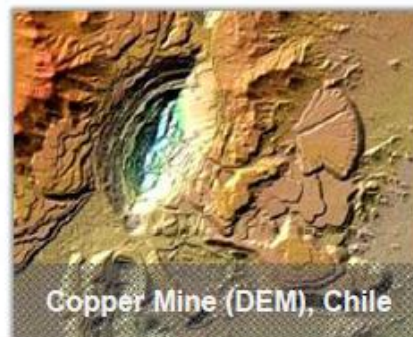
Fornecer informação única para resolver os desafios sociais de escala global



Climate Change



Environment



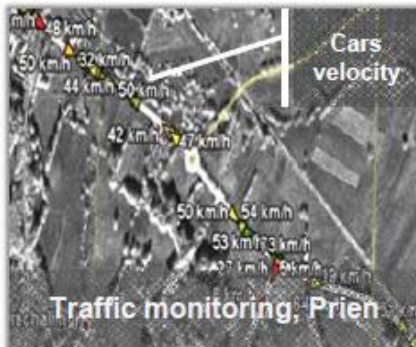
Resources



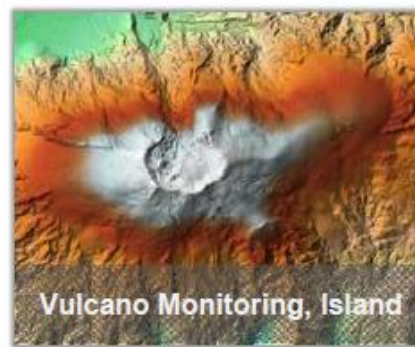
Sustainable Development



Megacities



Mobility



Hazards

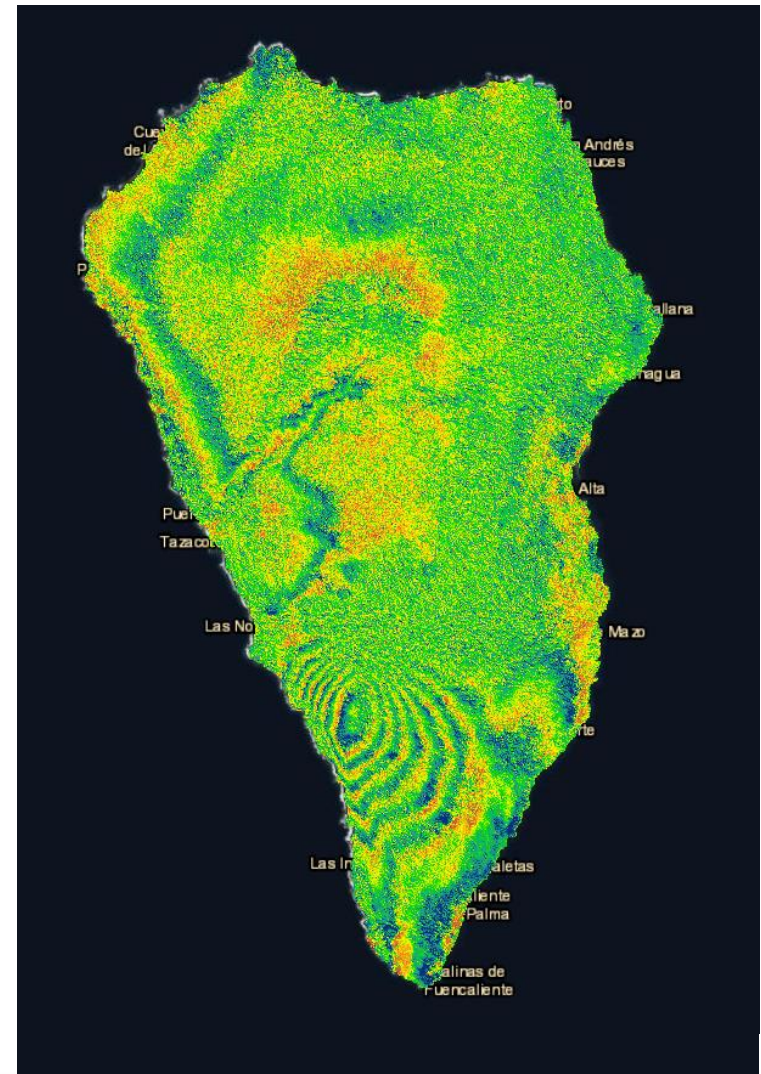
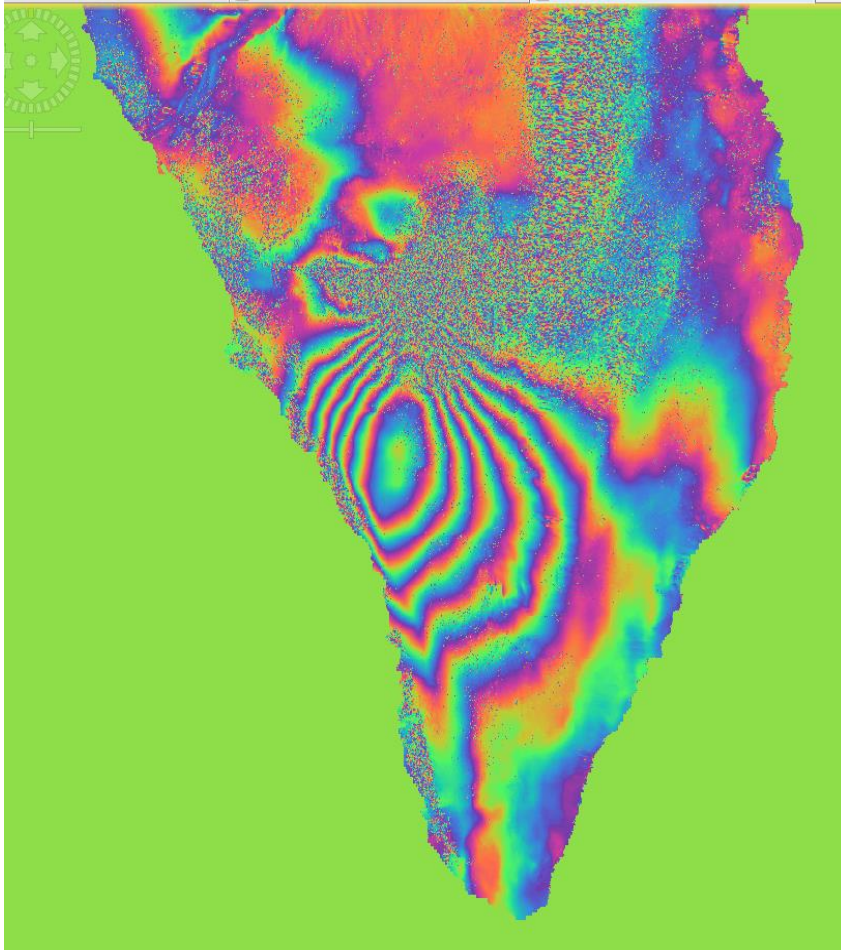


Disaster



Ciências
ULisboa

Erupção La Palma 2021



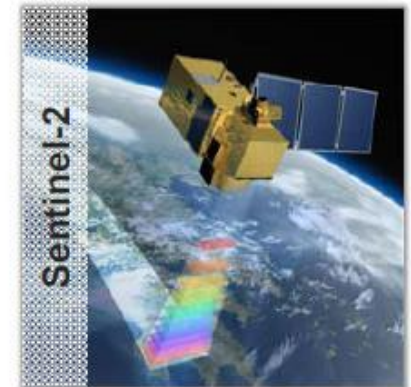
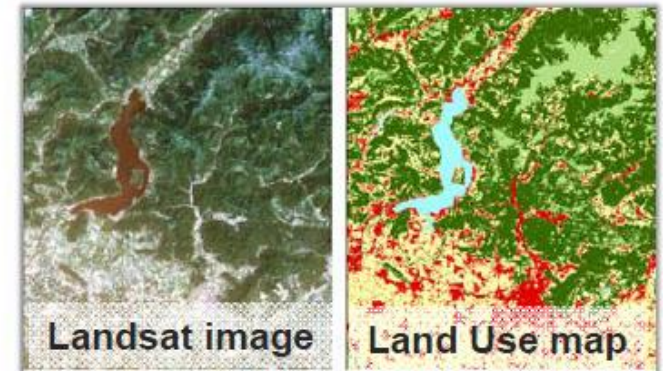


Detecção Remota Multiespetral

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

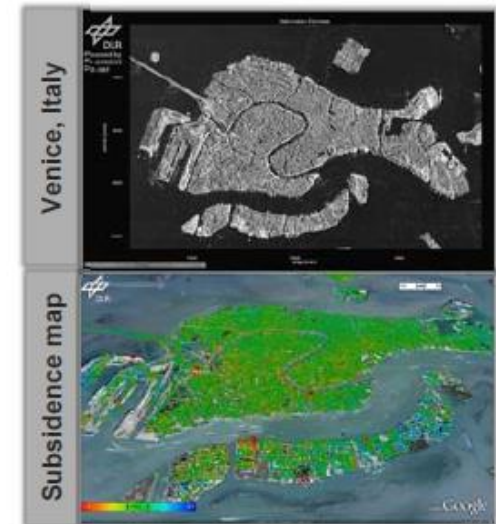


Detecção Remota Microondas

Medição das propriedades dos objetos à distancia com instrumentos dedicados

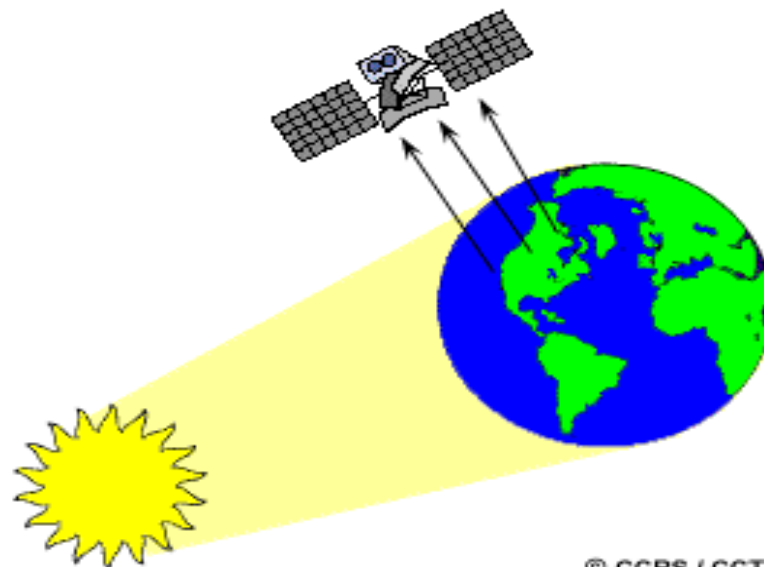
- Acquired information
 - spatial (geometric resolution)
 - spectral (frequency resolution)
 - intensity (radiometric resolution)
 - temporal (revisit time)

- Different types of remote sensing sensors:
 - Microwave sensors
 - passive (radiometers)
 - active (radars)
 - Scatterometer, Altimeter
 - Synthetic Aperture Radar - SAR



A 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

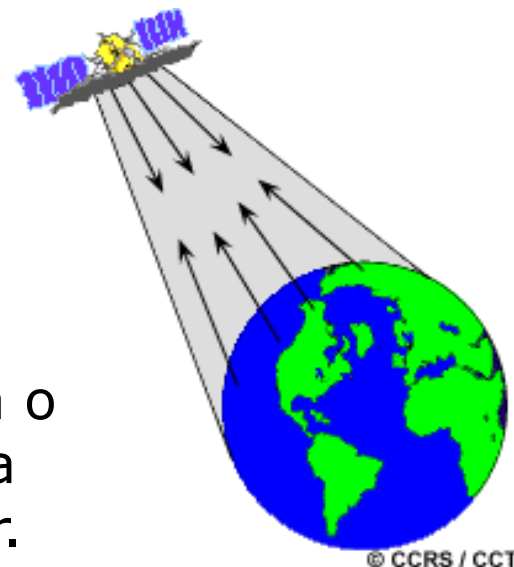
Sensores Activos

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.

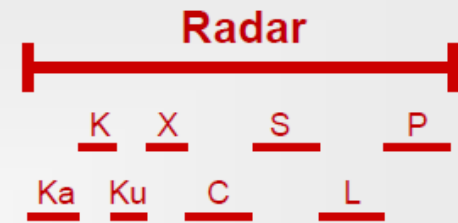




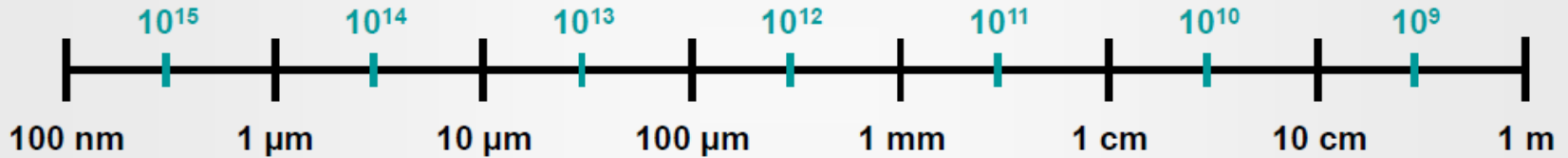
Tipos de sensores

Spaceborne sensors for Earth remote sensing with electromagnetic waves

active sensors

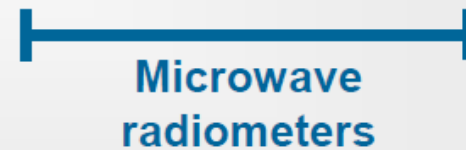


Frequency (Hz)



optical sensors

passive sensors



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

Detecção Remota Multiespectral

A era moderna da Detecção Remota começou com o primeiro

LandSat Multispectral Scanner System (MSS) em 1972,

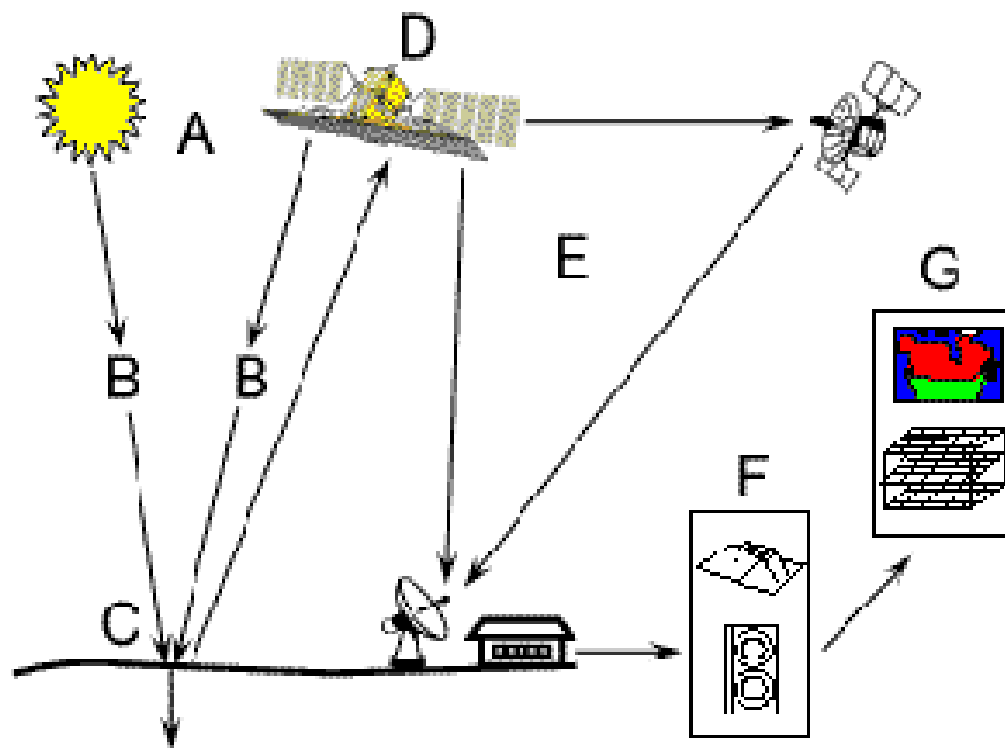
Que forneceu pela primeira vez um conjunto consistente de imagens sinópticas de elevada resolução à comunidade científica mundial.

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.

Detecção Remota Multiespectral

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

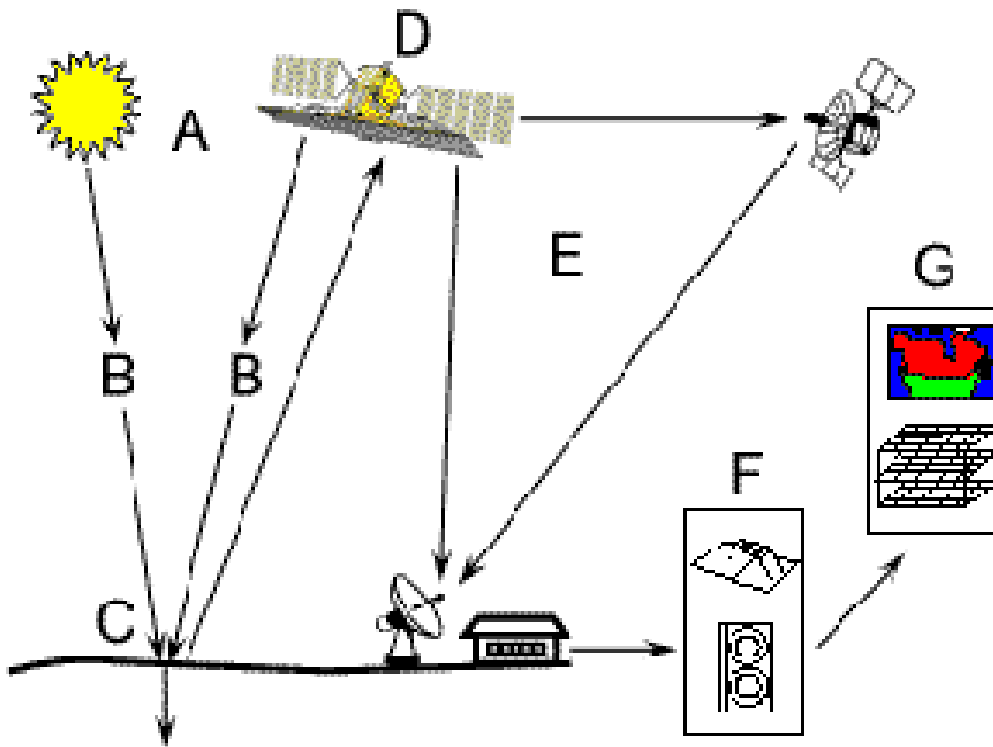


© CCRS / CCT

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

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

Detecção Remota Multiespectral



© CCRS / CCT

A – Fonte de energia

B – radiação e Atmosfera

C – Interação com alvo

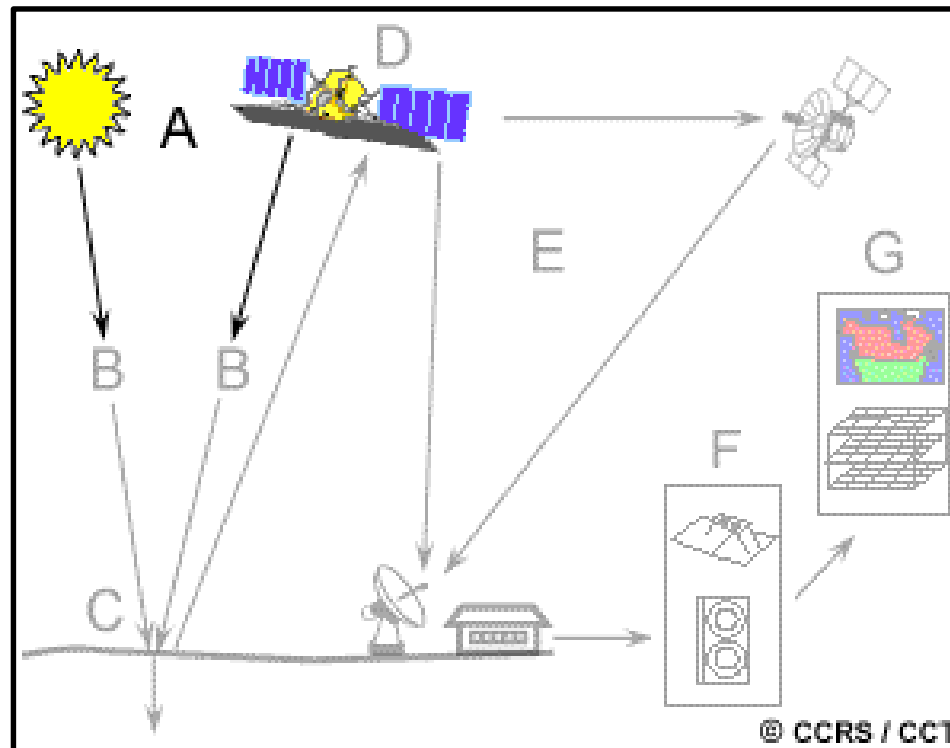
D – Registo da energia pelo sensor

E – Transmissão, recepção e processamento

F – Interpretação e Análise

G - Aplicação

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). Esta energia é da forma de radiação electromagnética.

Radiação Electromagnética

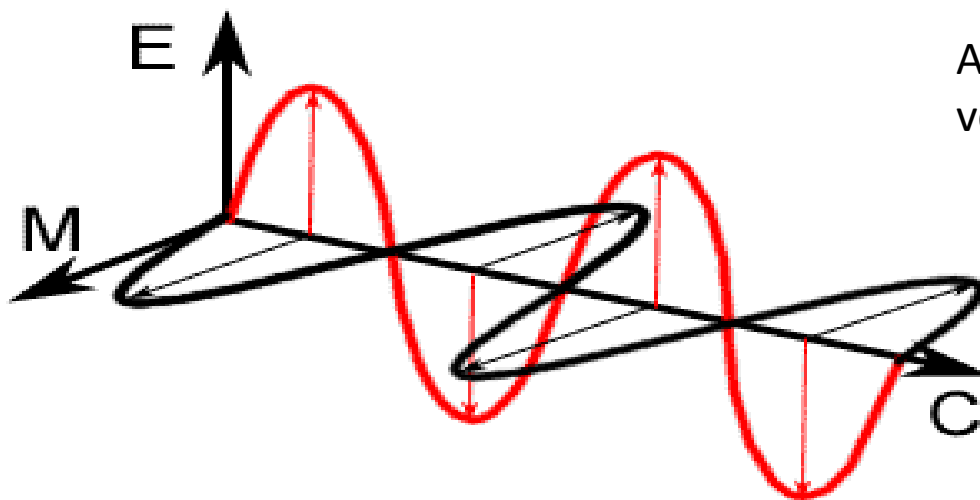
A radiação Electromagnética consiste

Campo Eléctrico

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

Campo Magnético

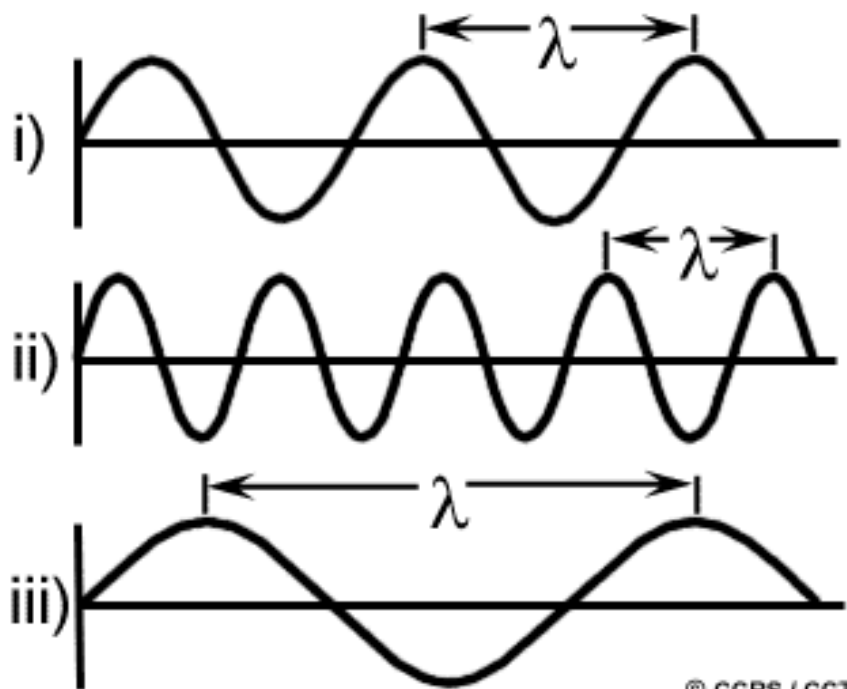
Orientado perpendicularmente ao campo eléctrico.



Ambos se deslocam à velocidade da luz (c).

Radiação Electromagnética

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



**Comprimento de onda
(λ)**

**Frequência
(f)**

Comprimento de onda (λ)

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

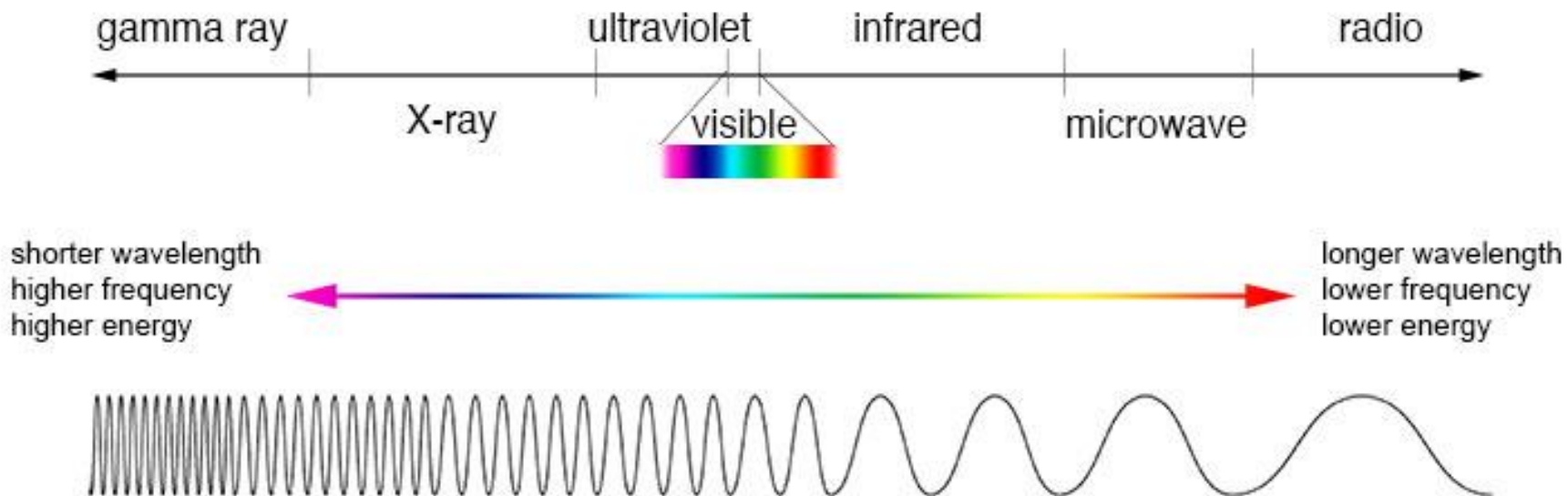
É medido em metro (m) ou sub-fracções do metro: nanómetro (nm, 10^{-9} m), micrómetro (μm , 10^{-6} m) (μm , 10^{-6} m) ou centímetros (cm, 10^{-2} m).

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



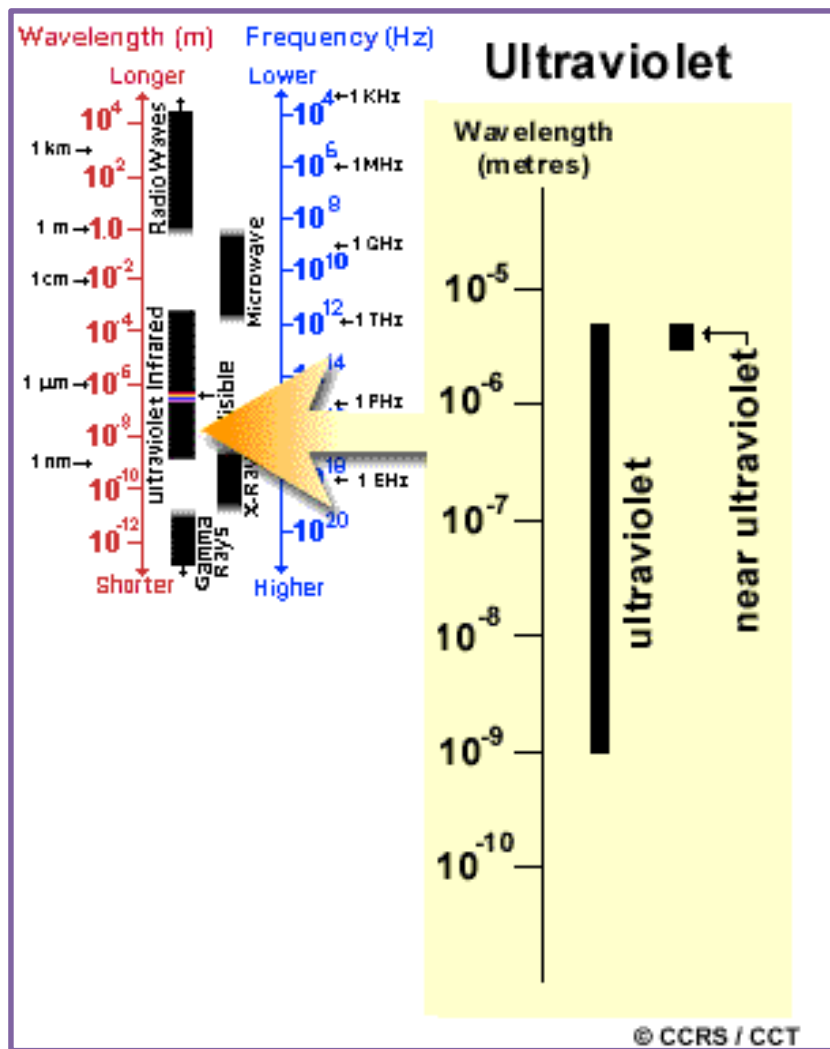
$$c = \lambda f$$

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

$$Q = h \cdot f$$

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

Espectro Electromagnético

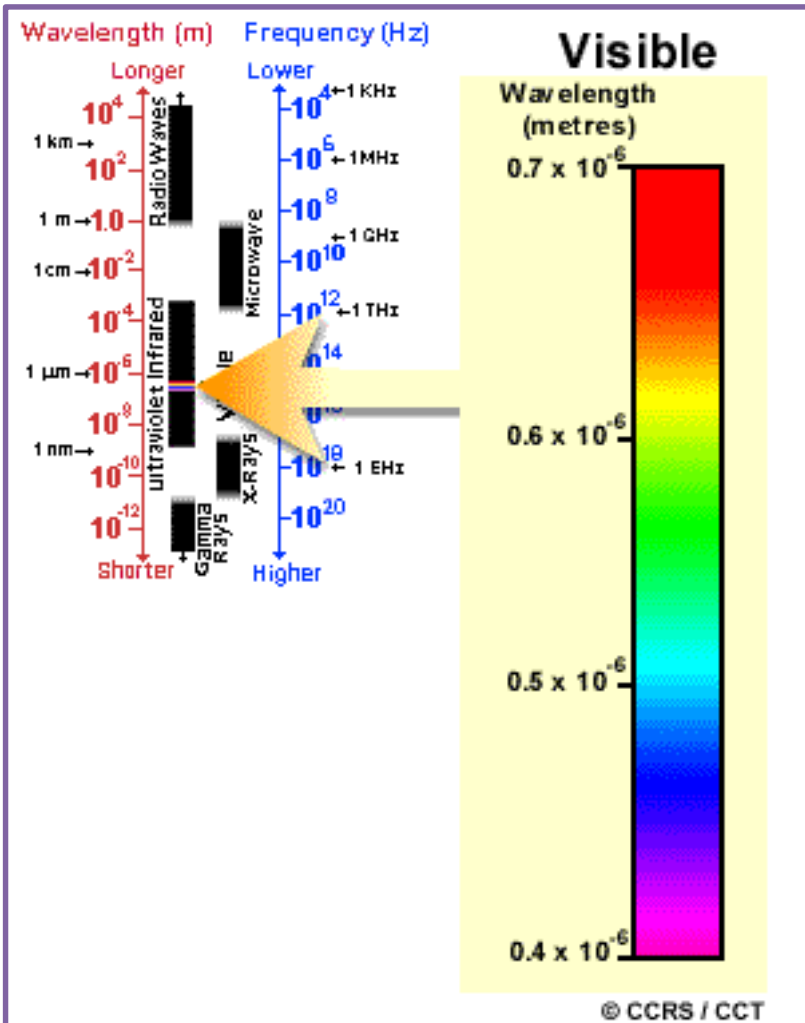


Para a maioria das aplicações, o menor comprimento de onda usado na Detecção Remota é a porção do EE correspondente aos Ultravioleta (UV).

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

Alguns elementos na superfície da Terra, rochas e minerais, emitem luz visível quando iluminados por radiação UV.

Espectro Electromagnético



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

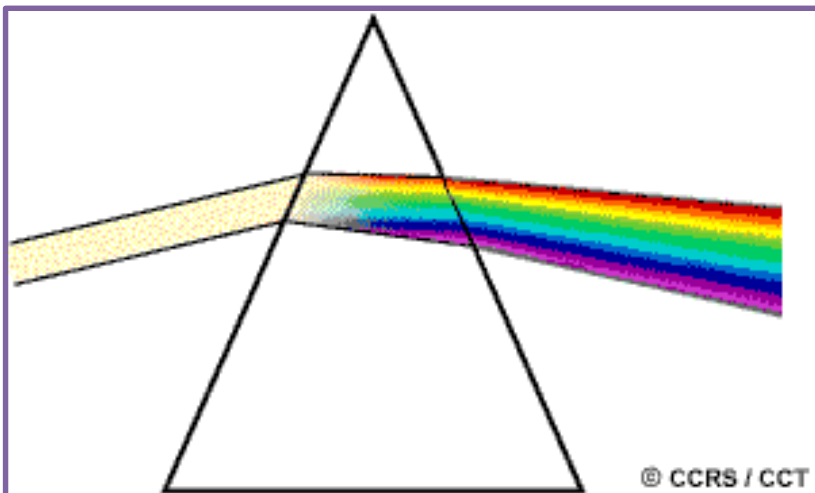
É importante referir o quão pequeno é o visível relativamente à totalidade do espectro.

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



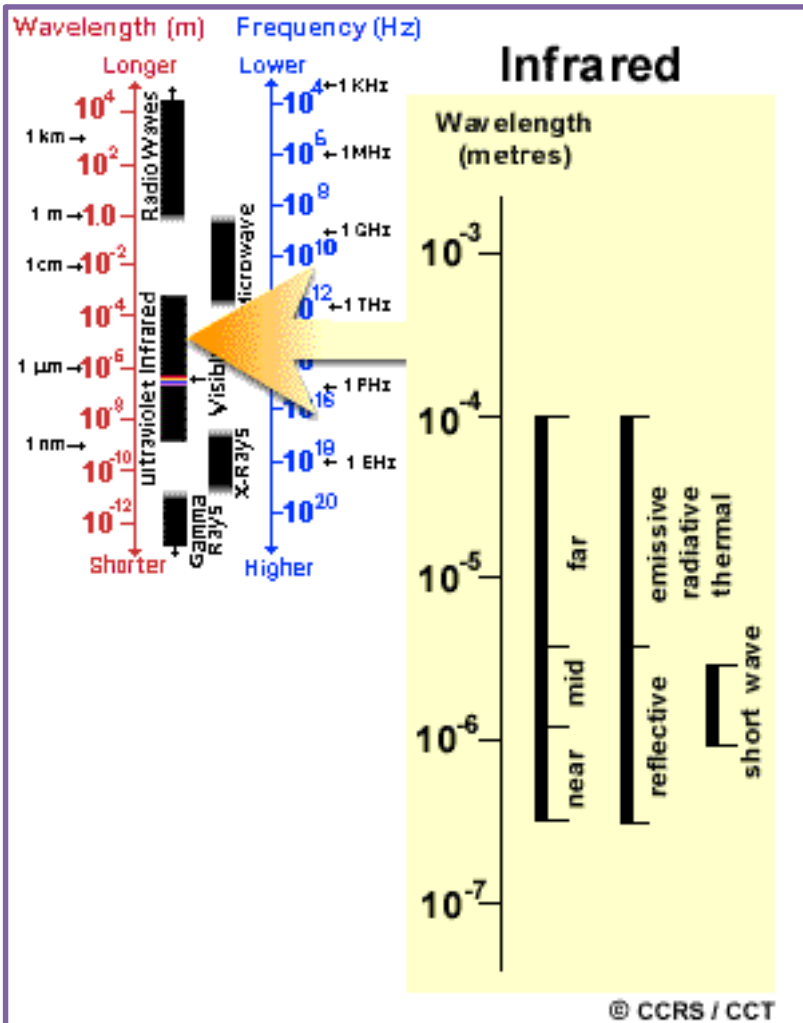
Violeta:	0.400 - 0.446 μm
Azul:	0.446 - 0.500 μm
Verde:	0.500 - 0.578 μm
Amarelo:	0.578 - 0.592 μm
Laranja:	0.592 - 0.620 μm
Vermelho:	0.620 - 0.700 μm

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



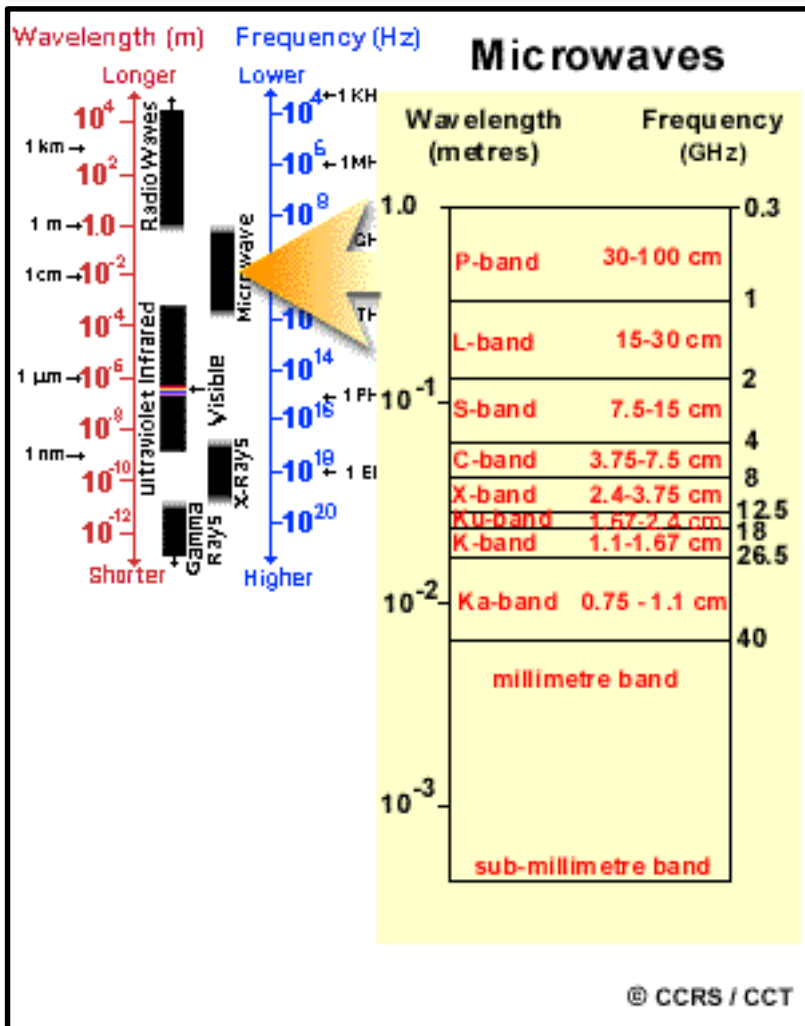
O Infravermelho vai desde os $0.7 \mu\text{m}$ aos $100 \mu\text{m}$

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 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



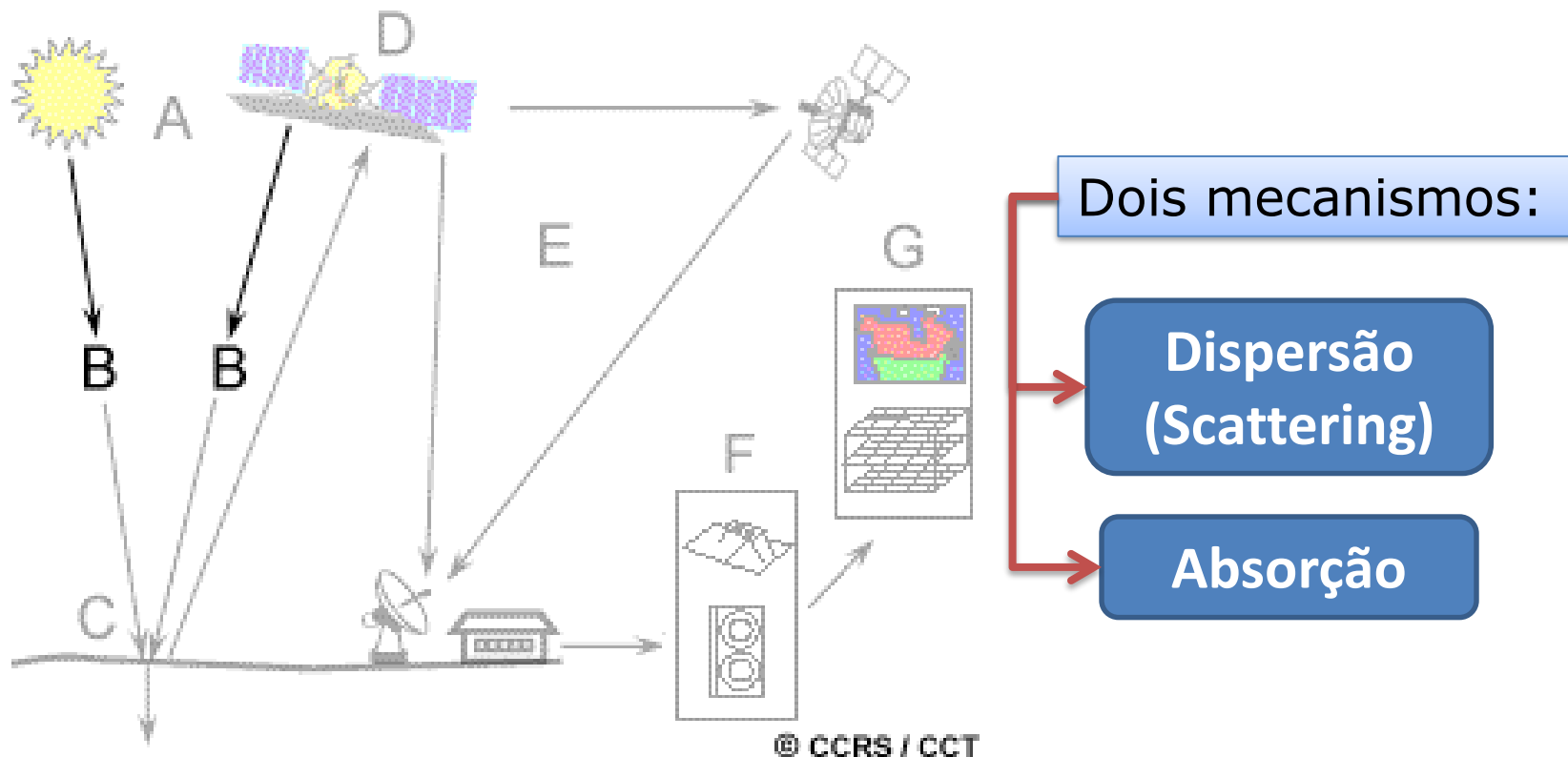
Espectro Electromagnético

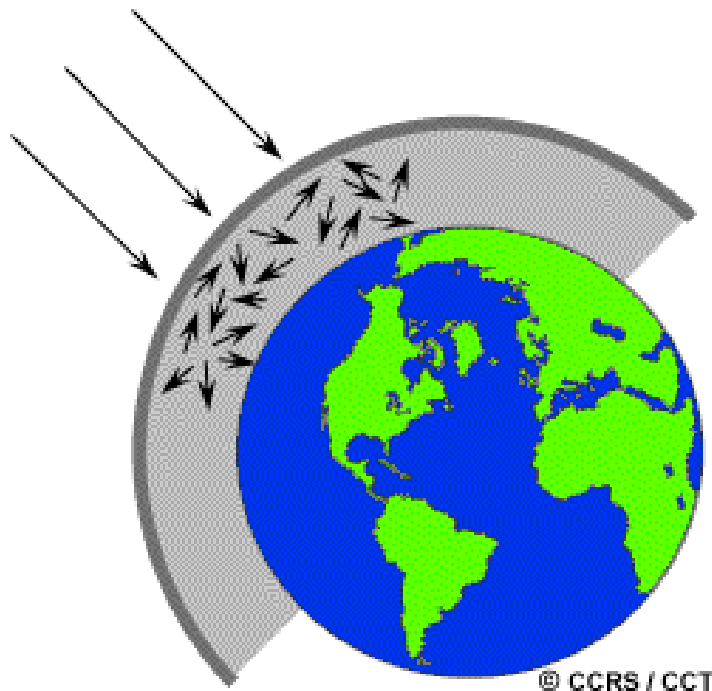
A região das microondas também se designa RADAR que é o acrónimo de Radio Detection And Ranging

Designação	Frequência (GHz)	Comp. Onda (cm)
P		
L	1-2	15-30
S	2-4	7.5-15
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
W	> 50	< 0.6

Interação com a Atmosfera

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





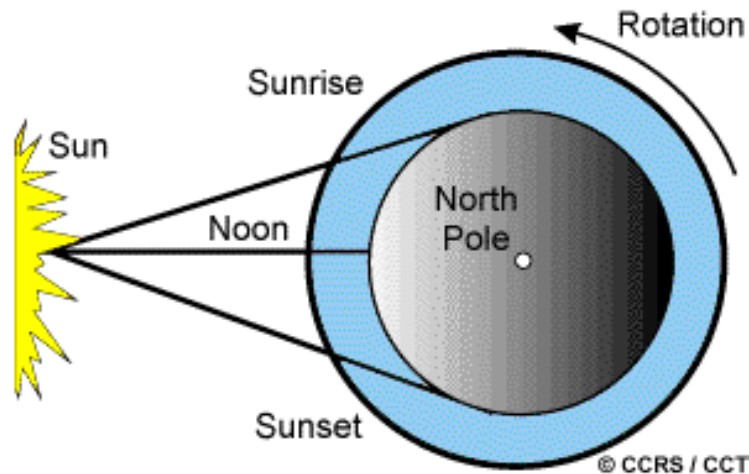
A **Dispersão** consiste na alteração da direção de propagação da radiação eletromagnética (ou do fóton) sem que ocorra troca de energia com a atmosfera.

Três tipos de dispersão:

Rayleigh

Mie

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



A dispersão Rayleigh

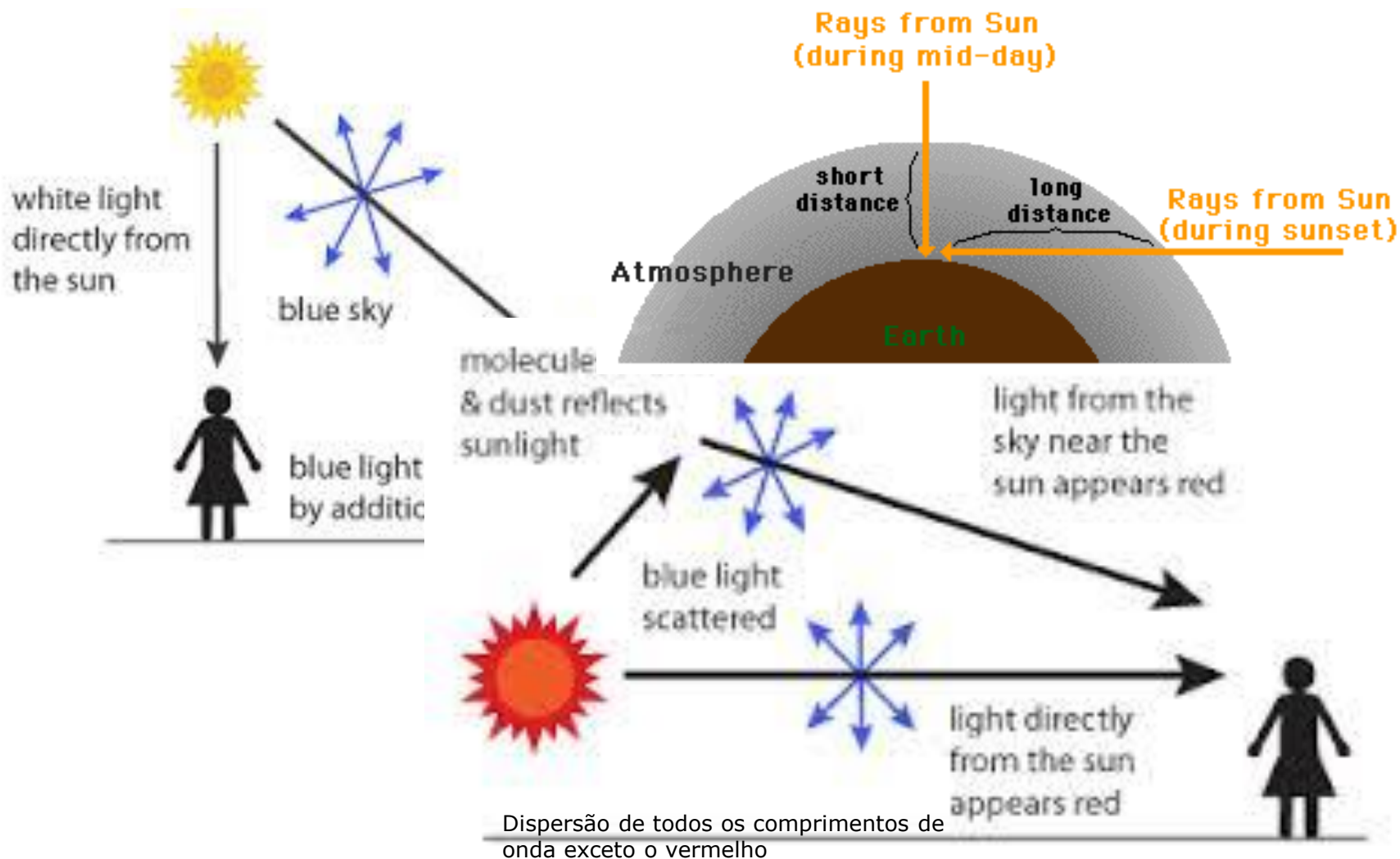
ocorre quando as partículas são muito pequenas quando comparadas com o comprimento de onda da radiação (pequenas partículas de pó ou moléculas de oxigénio ou nitrogénio).

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 é dependente do comprimento de onda $\sim \lambda^{-4}$

$I(400 \text{ nm}) > 9 * I(700 \text{ nm})$: a Intensidade de scattering a 400 nm é 9 vezes maior que a 700 nm

A dispersão Rayleigh



Interacção com a Atmosfera

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

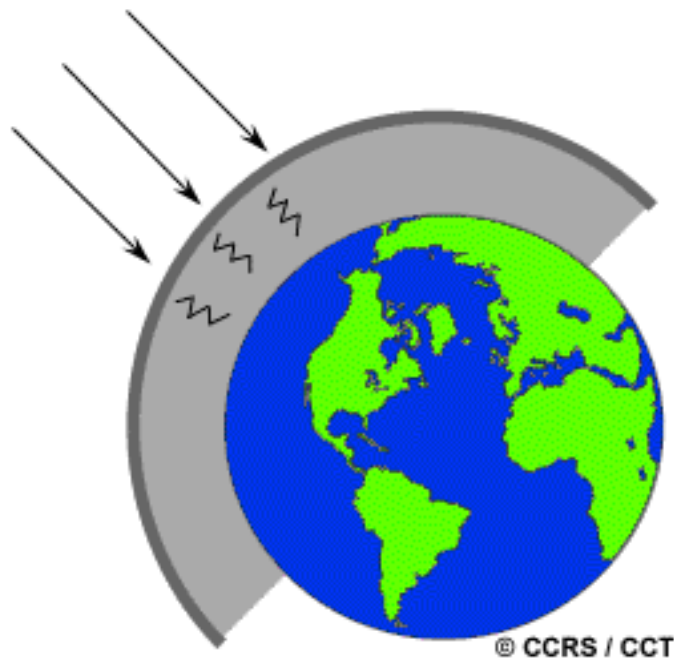
São exemplos: o pó, pólen, fumo e vapor de água

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 onde as grandes partículas são mais abundantes.

É o caso da dispersão da luz visível por gotículas das nuvens traduzido na cor esbranquiçada das nuvens

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.

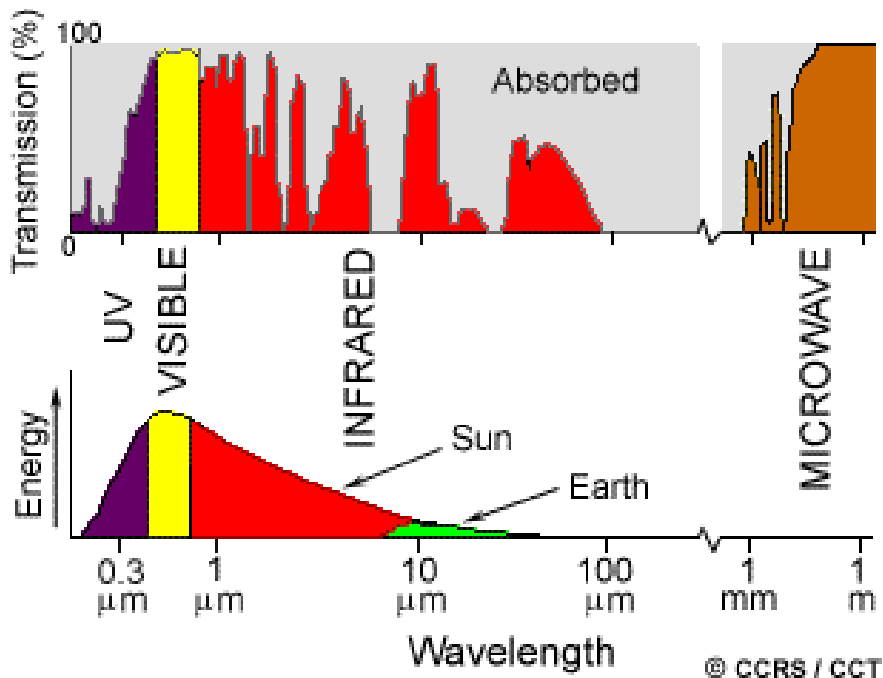
Isto é porque tende a absorver (fortemente) radiação na porção do espectro do infravermelho afastado – a área associada ao aquecimento térmico – que provoca o aquecimento da atmosfera.

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.

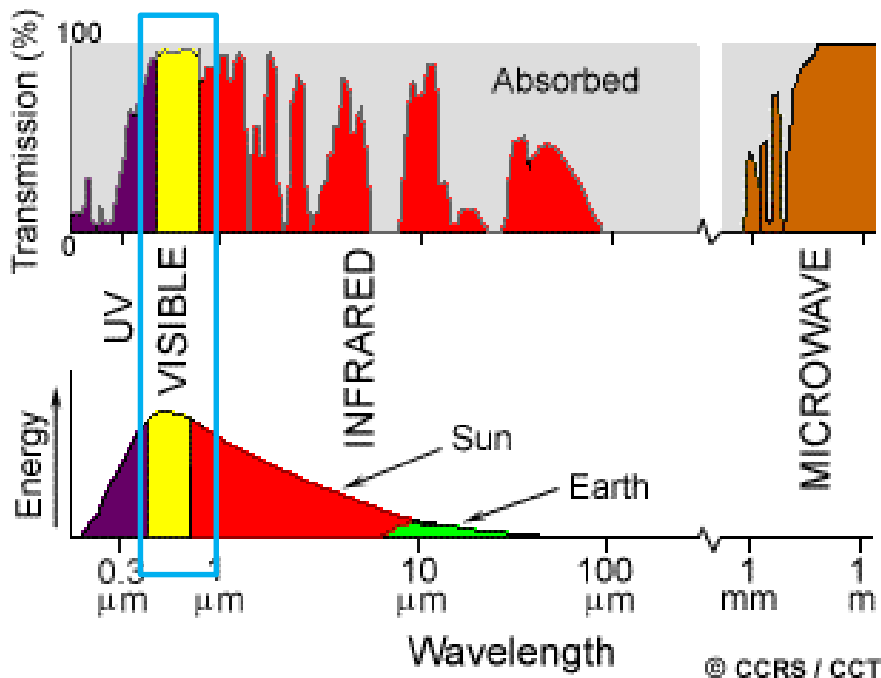
Interacção com a Atmosfera



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)

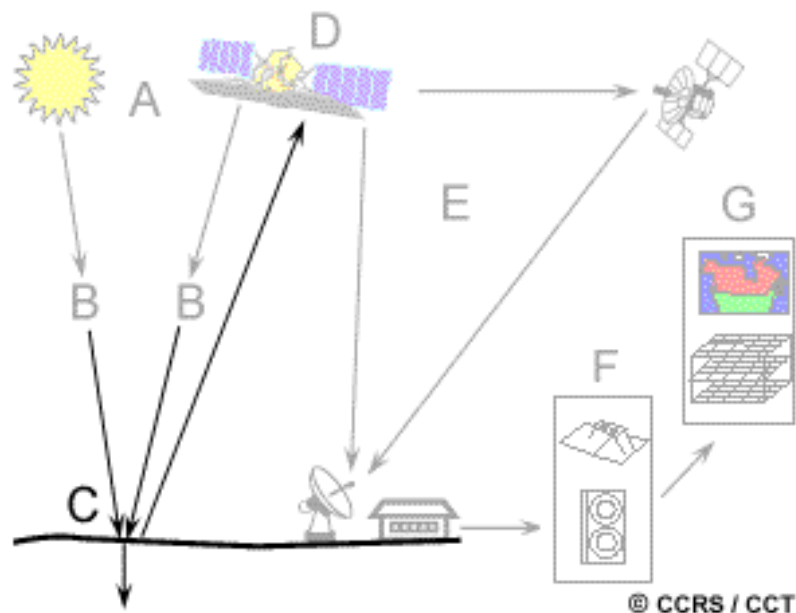
Interacção com a Atmosfera



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 μm no IV térmico e a grande janela dos comprimentos de onda maiores que 1mm corresponde às microondas.

Interacção Radiação - Alvo



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

Absorção (A):

ocorre quando a radiação (energia) é absorvida pelo alvo

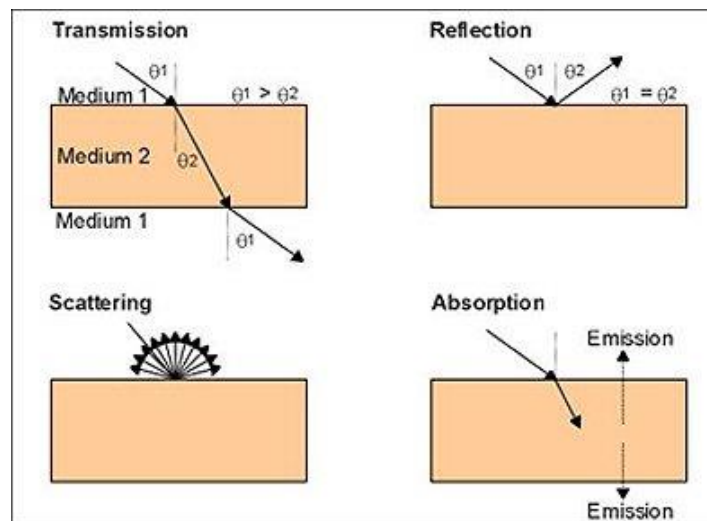
Transmissão (T):

Ocorre quando a radiação passa pelo alvo.

Reflexão (R)

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

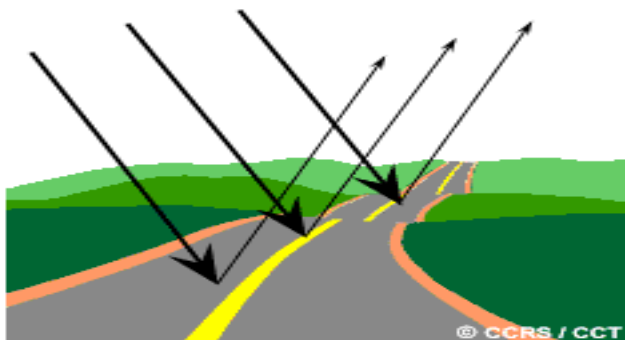
Em detecção remota
estamos interessados em
medir a
radiação reflectida
nos alvos



Separamos a Reflexão em dois casos extremos:

Especular

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



Difusa

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



Interacção Radiação - Alvo

Difusa

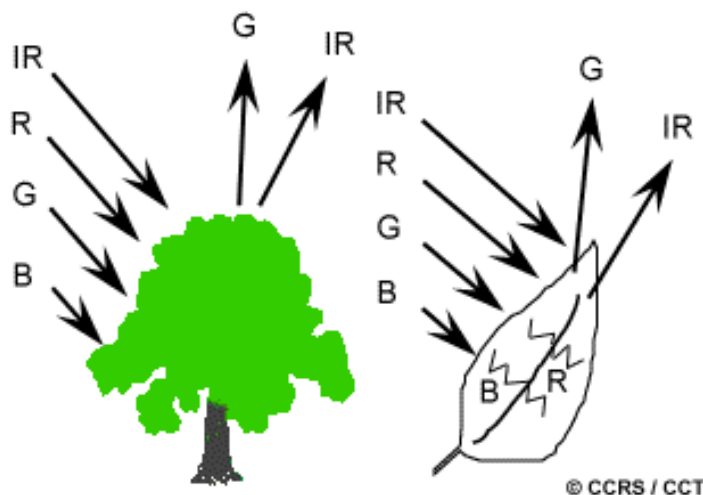


Especular



Interação Radiação – Alvo

Exemplo: As folhas



A clorofila presente nas folhas absorve radiação no vermelho e no azul mas reflecte os comprimentos de onda verdes.

Na primavera e verão, quando o conteúdo de clorofila é máximo as folhas são verdes.

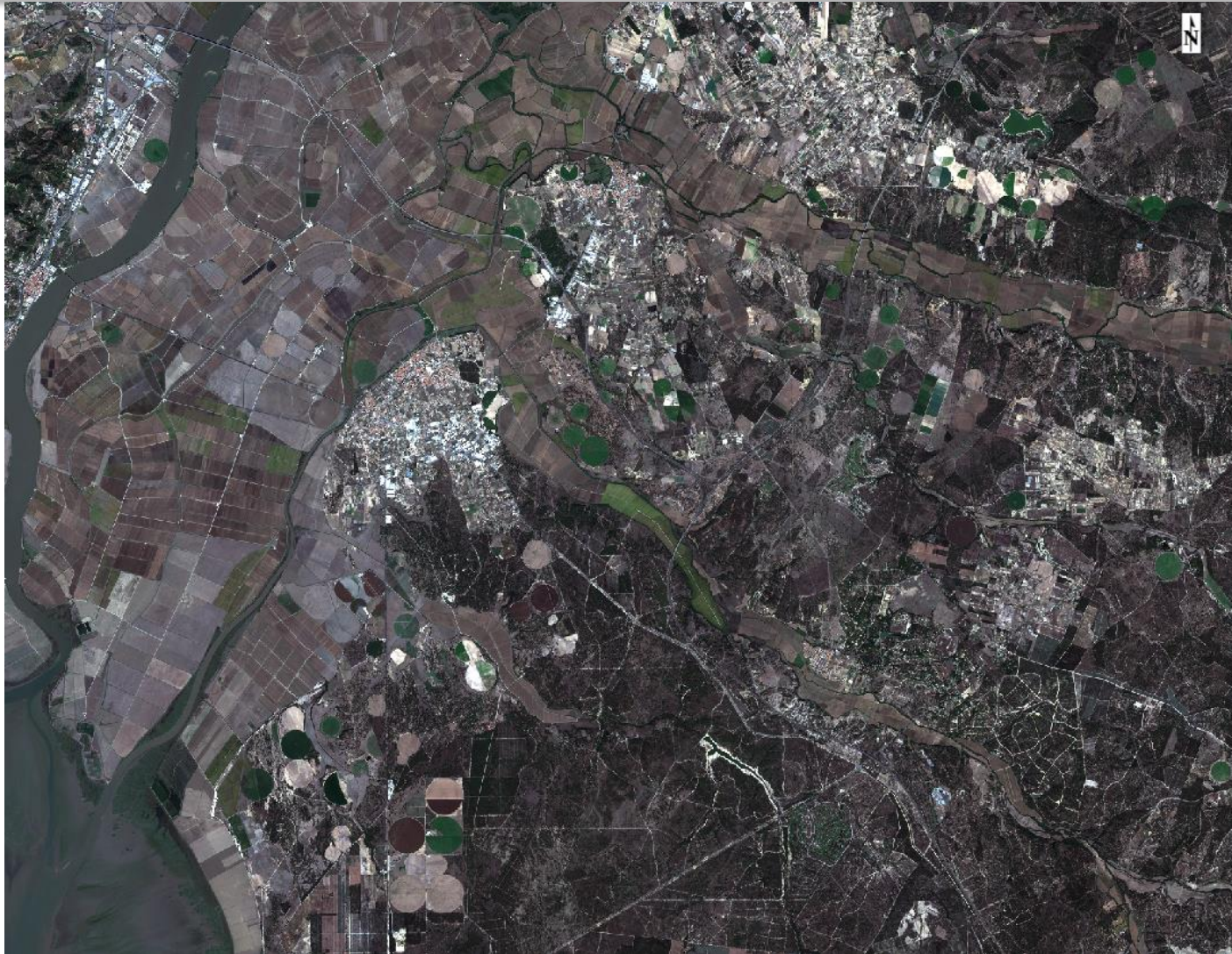
No Outono há menos clorofila, e por isso menos absorção do vermelho (vermelho é refletido) e por isso as folhas surgem amarelas (combinação verde+vermelho)

A estrutura interna das folhas têm uma reflexão difusa 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

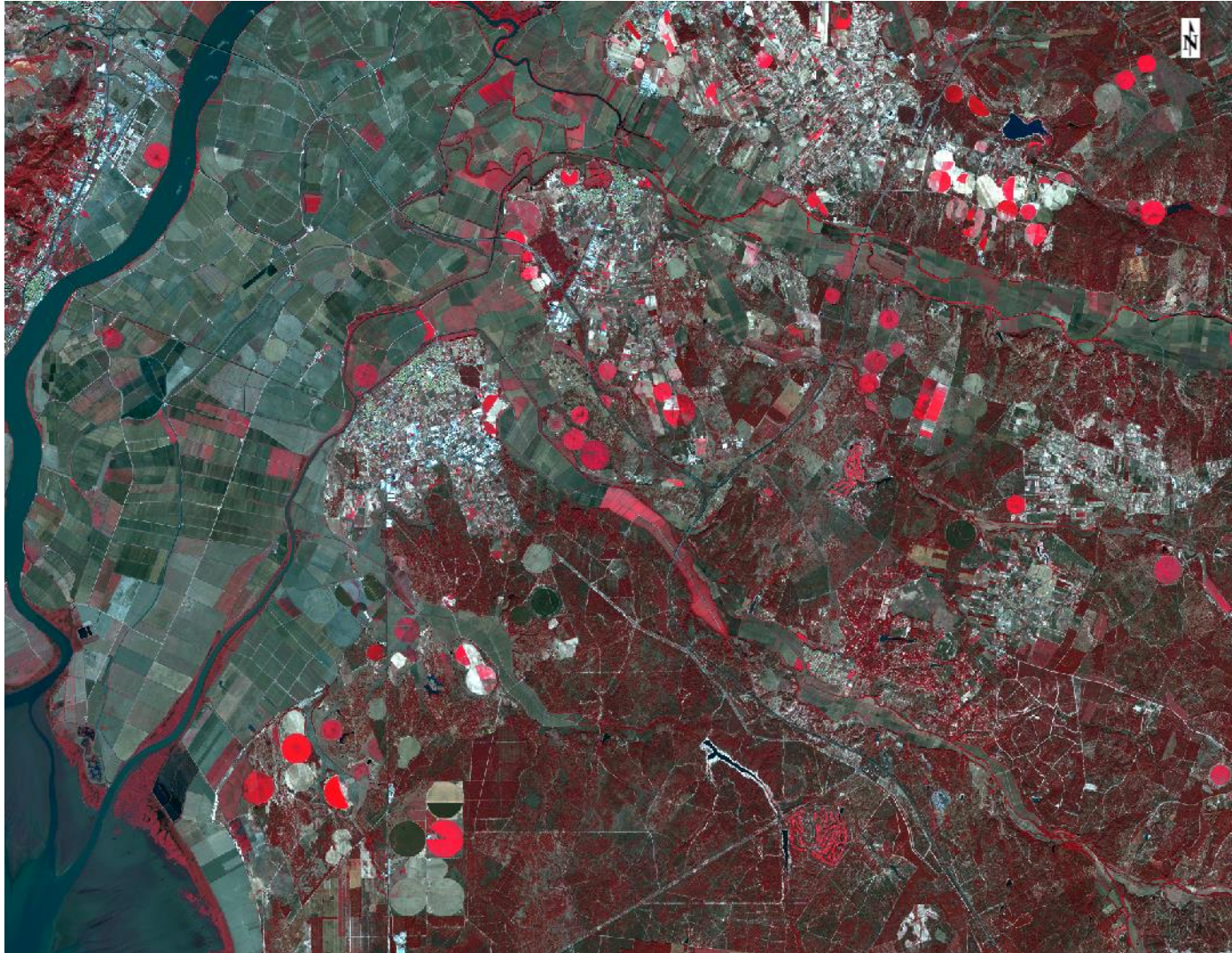
22 out 2017





Sentinel-2: composição 8-4-3

22 out 2017





Ciências
ULisboa

Sentinel-2: composição 8-4-3

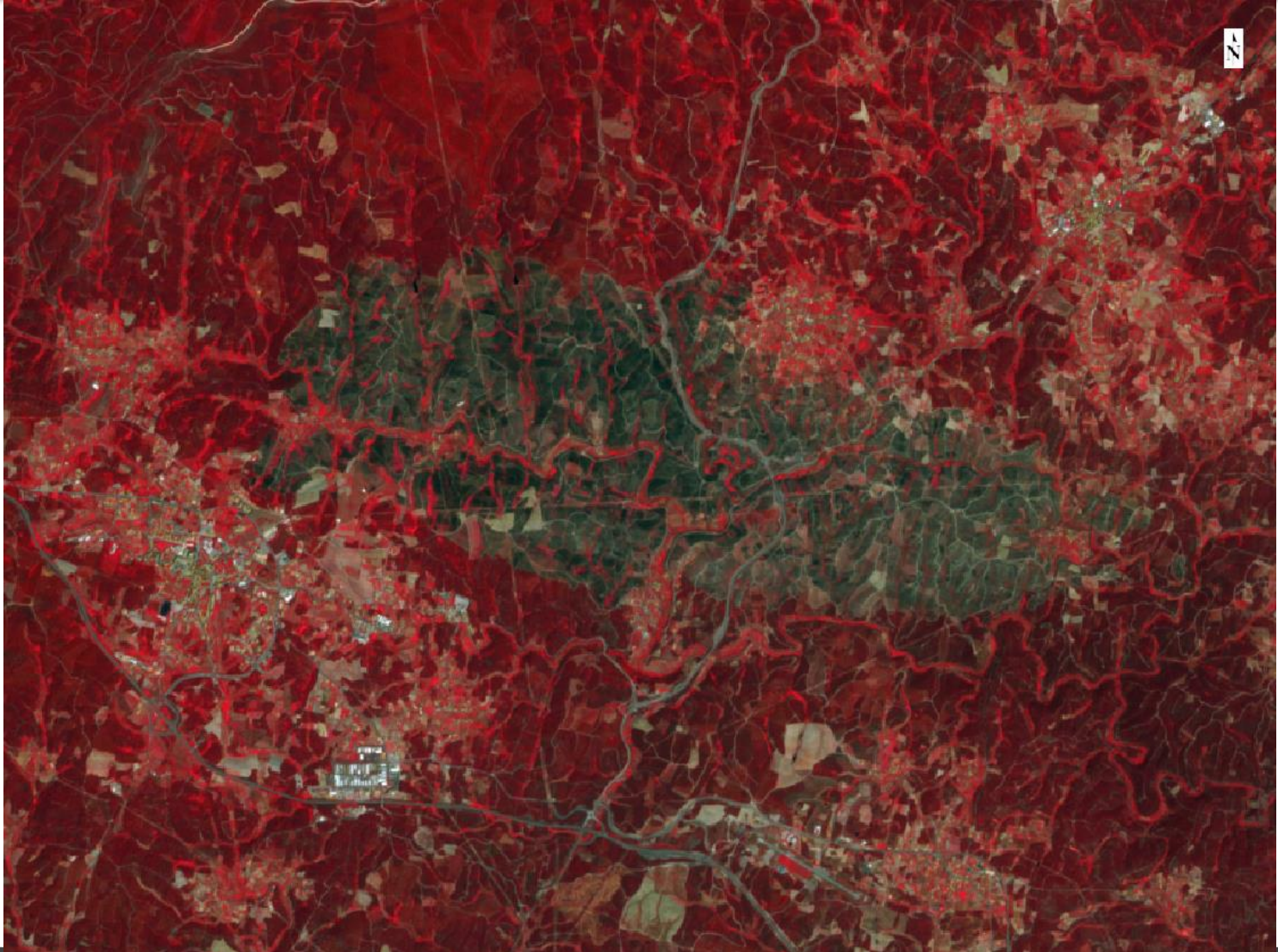
Companhia das Lezírias





Ciências
ULisboa

Sentinel-2: composição 8-4-3





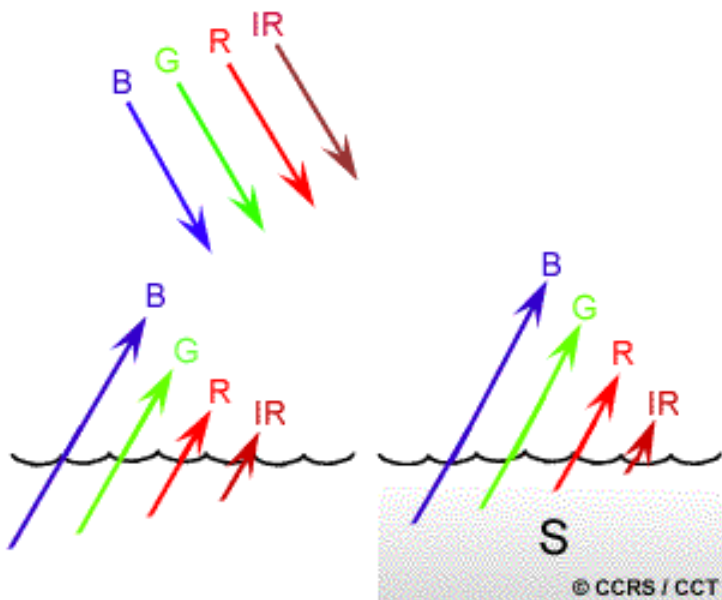
Ciências
ULisboa

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.

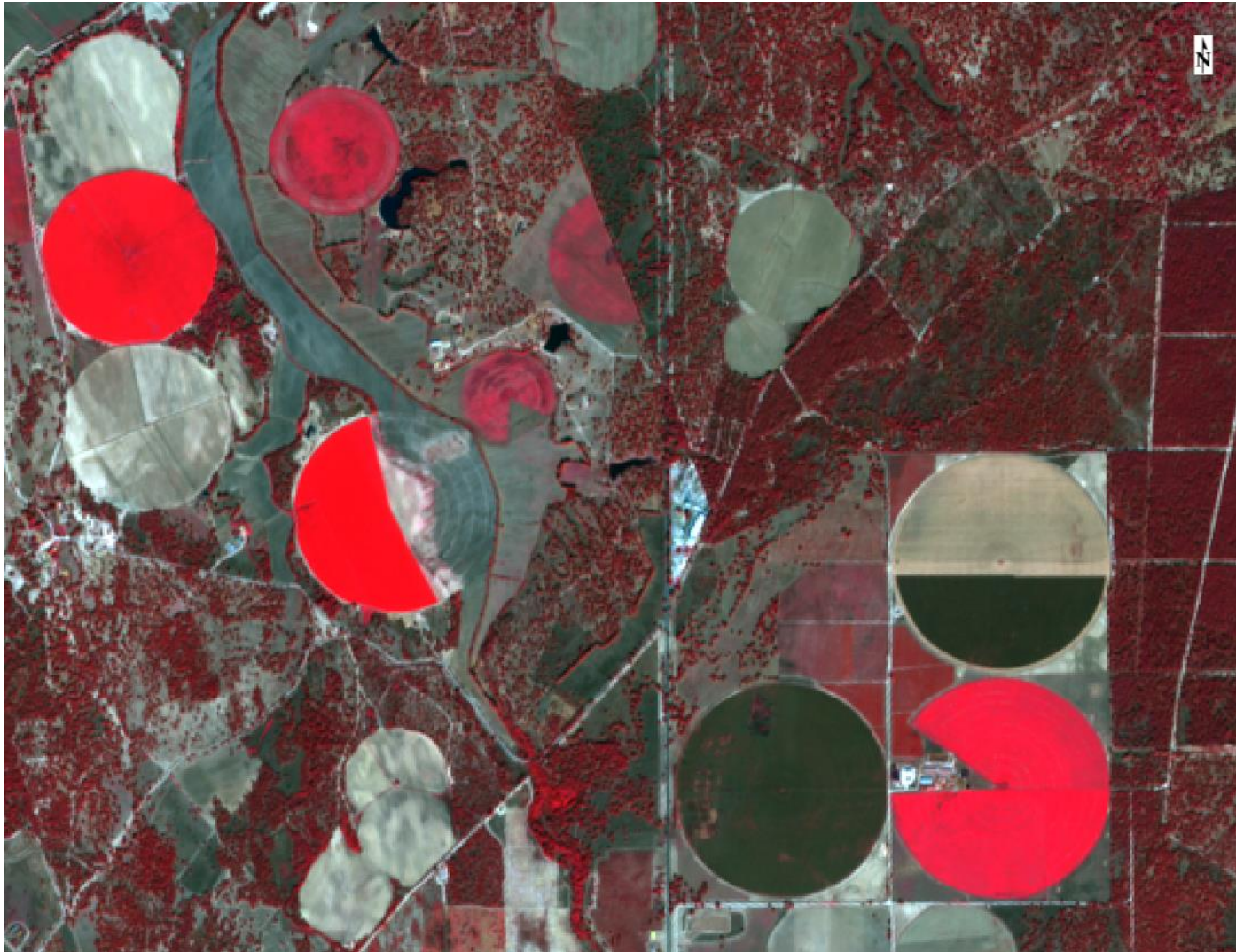
Se existirem sedimentos (S) em suspensão nas camadas superiores permitirá uma maior reflectividade e um aspecto mais brilhante da água.

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

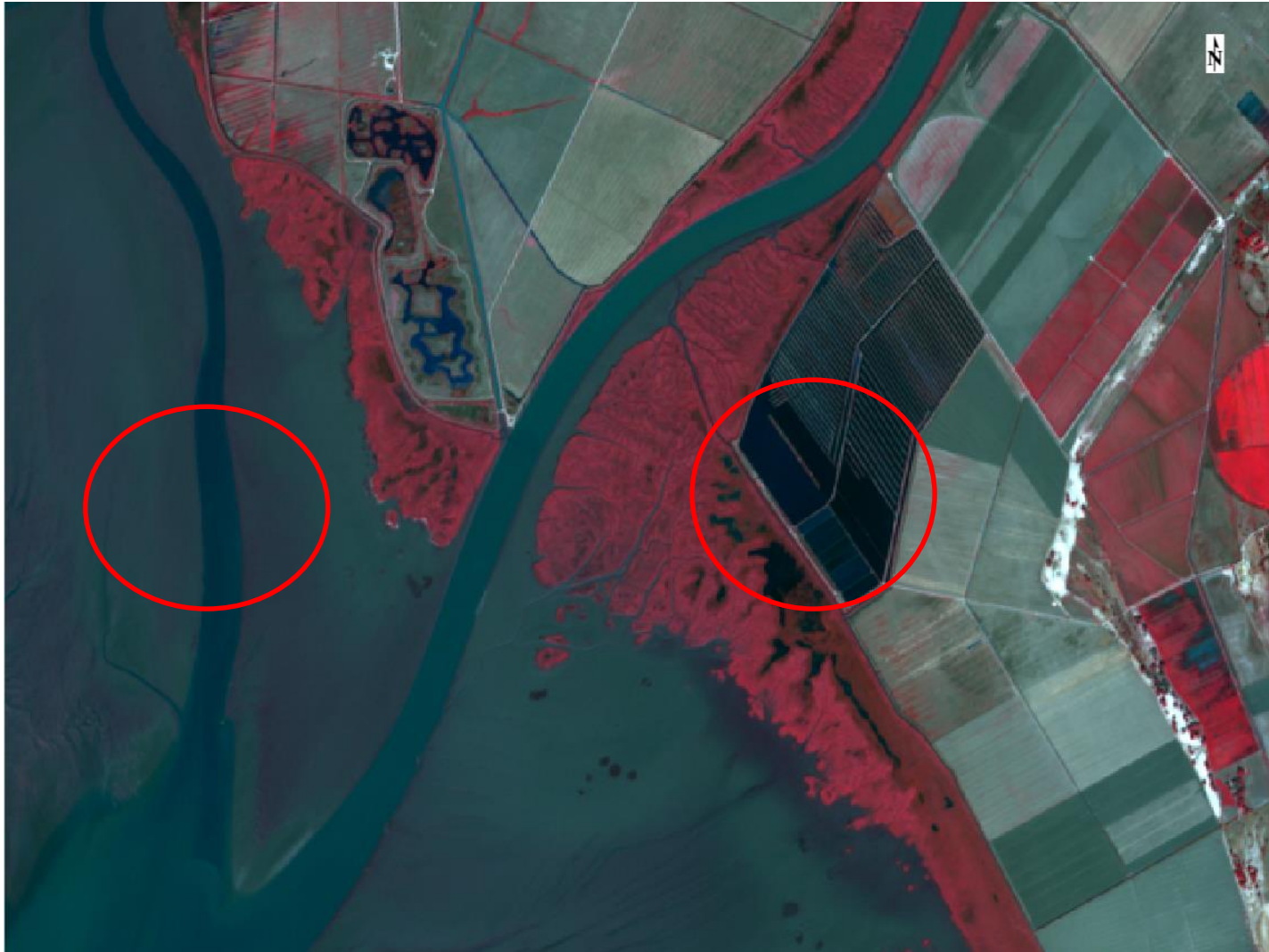
Reflectância da água no infravermelho





Sentinel-2: composição 8-4-3

Reflectância da água no infravermelho



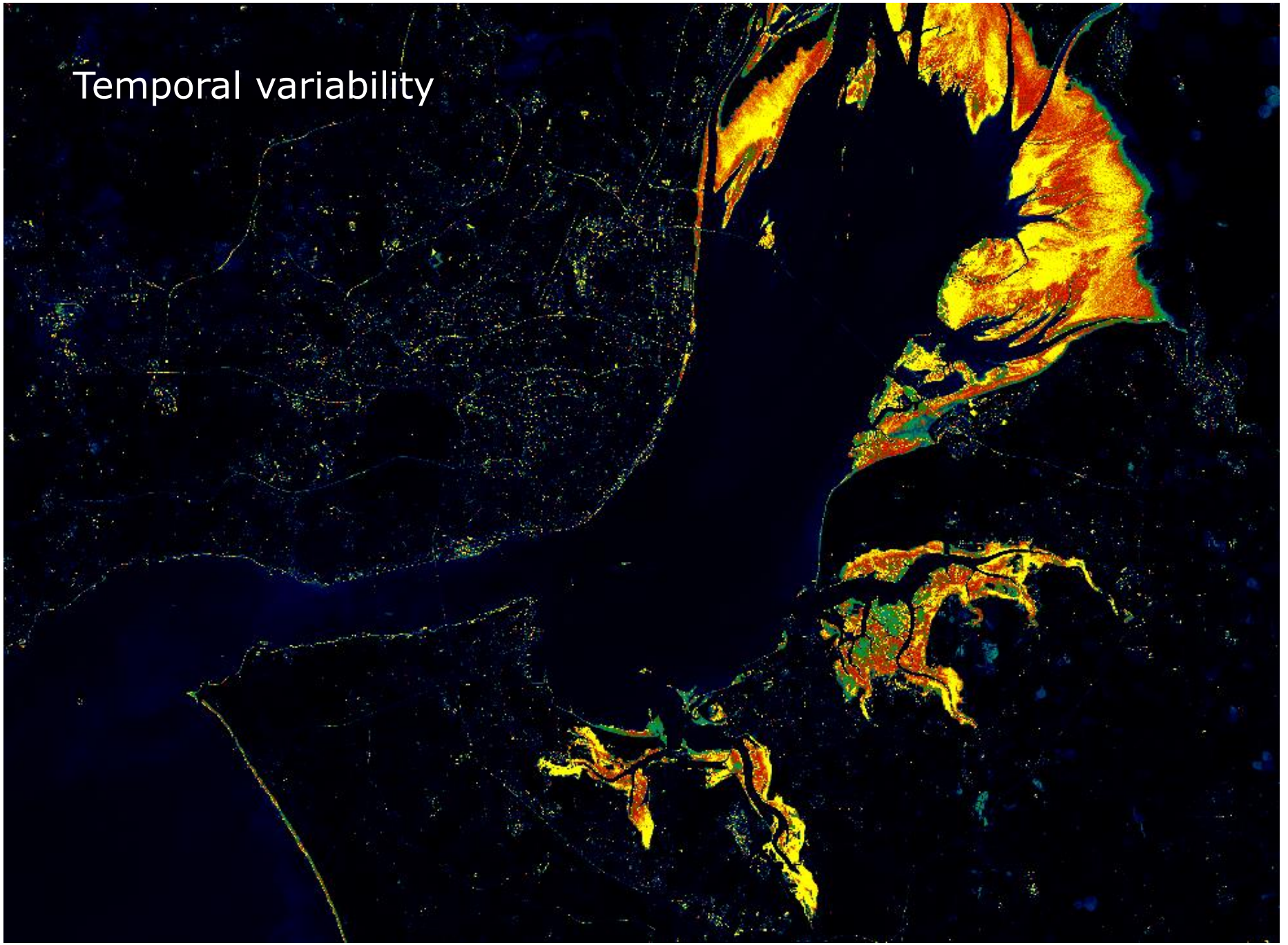
B8, 842 nm

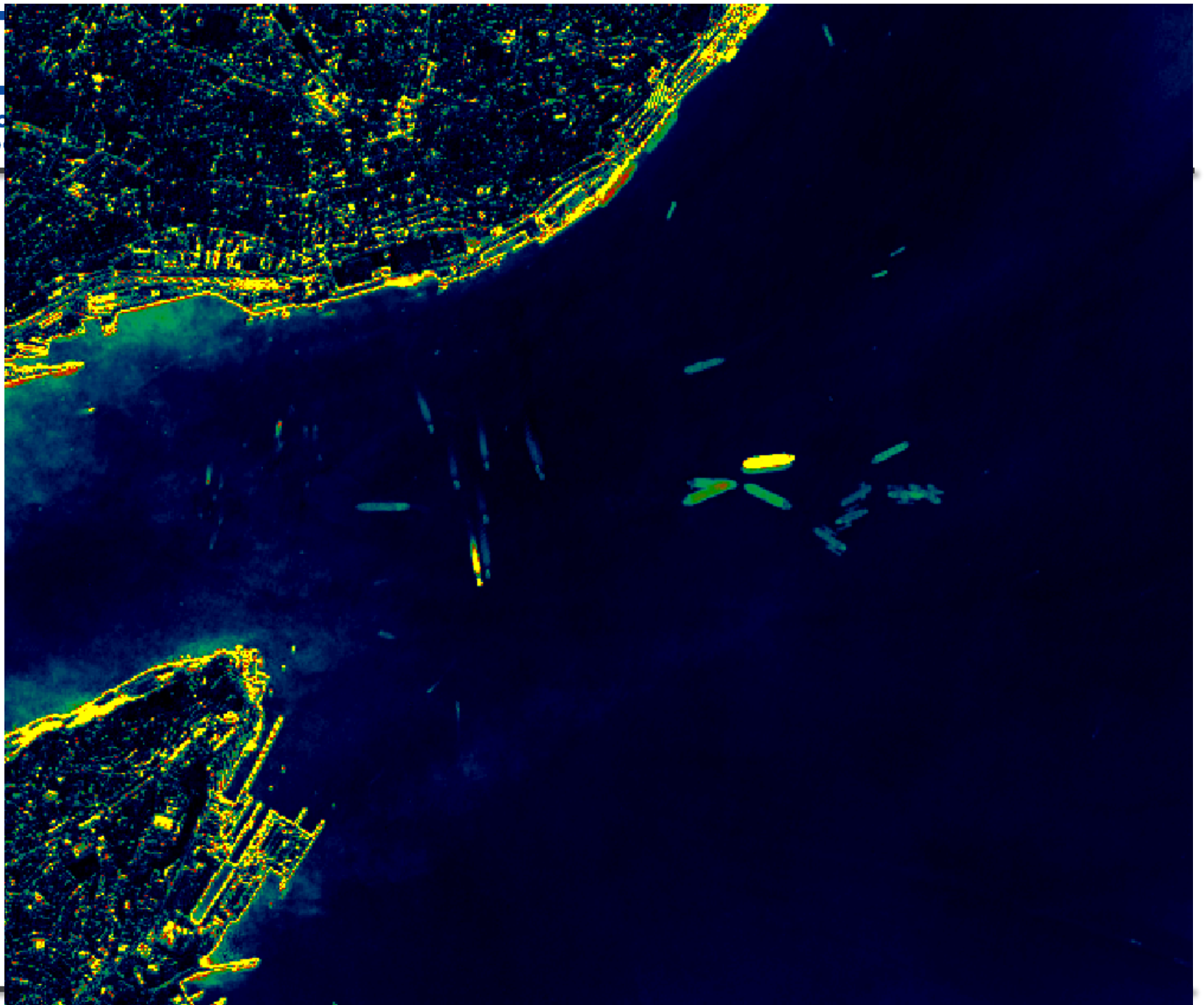


B11, 1610 nm

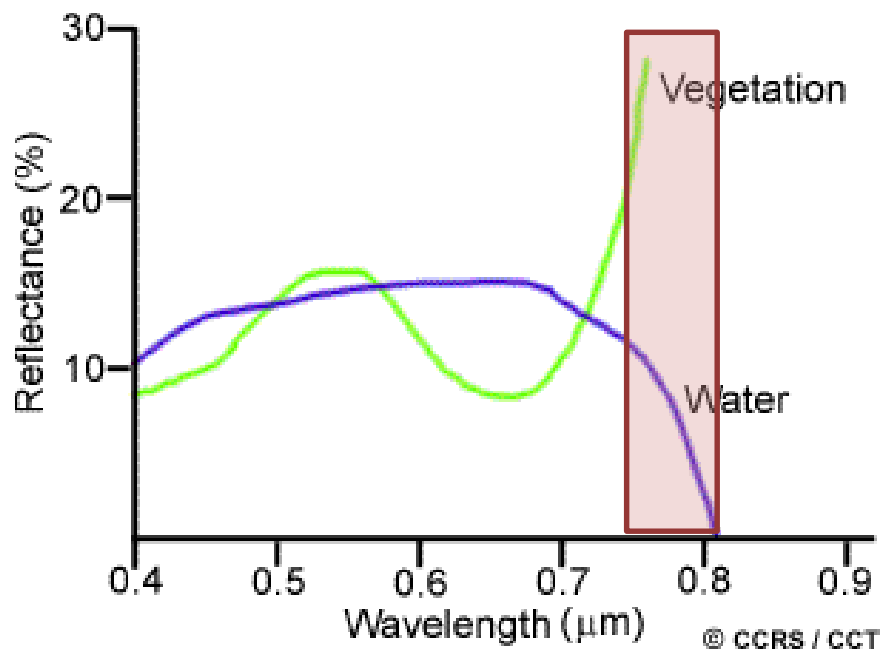


Temporal variability





Interacção Radiação - Alvo



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 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

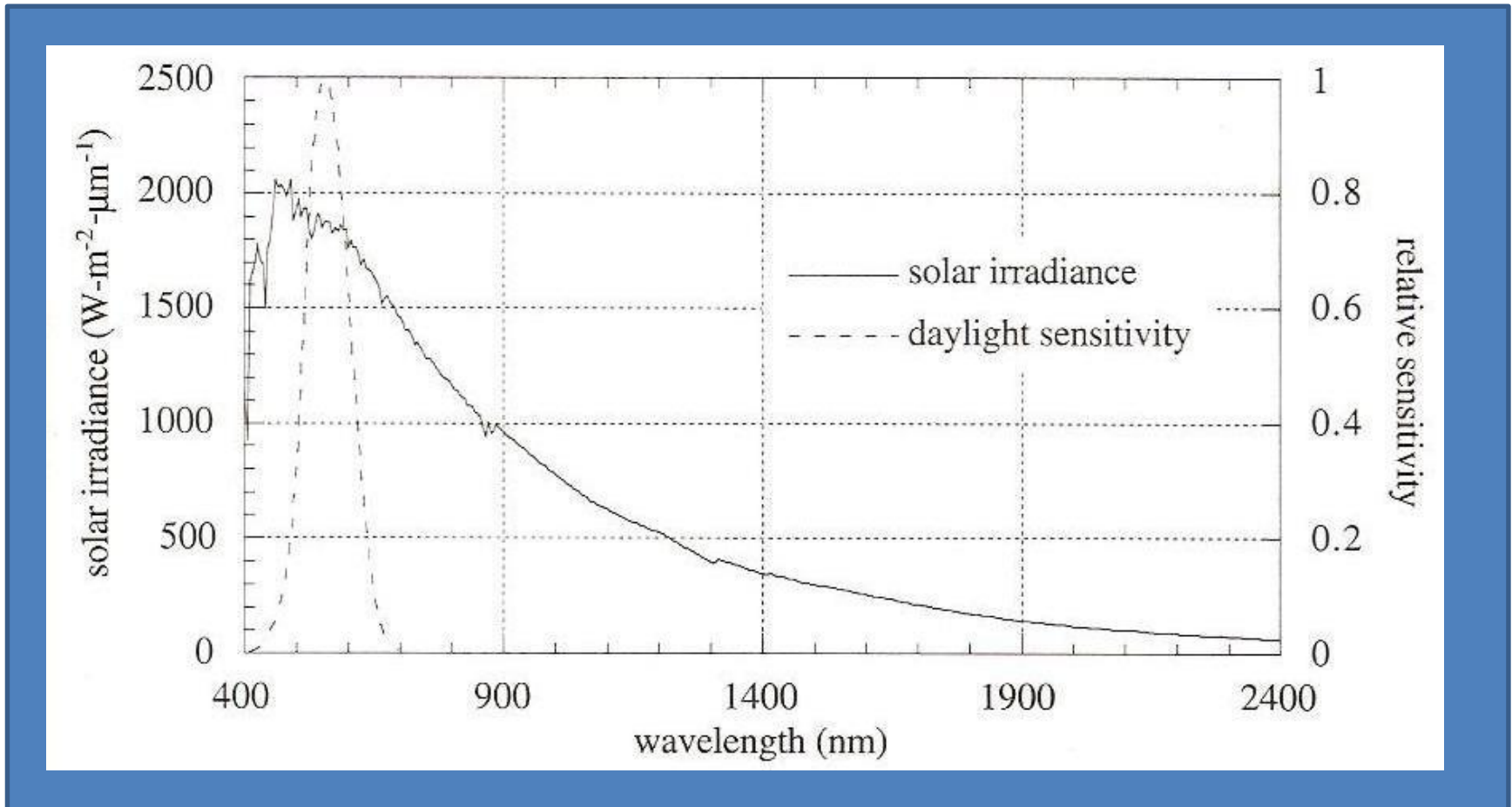
Assinatura Espectral

Contudo a assinatura espectral registada no satélite é alterada por diversos factores, como:

1. Variabilidade natural para um determinado tipo de material.
2. Resolução geométrica e radiância dos sistemas
3. Modificação das assinaturas pela atmosfera

Não existe garantia que os materiais exibam assimetrias mensuráveis no ambiente natural.

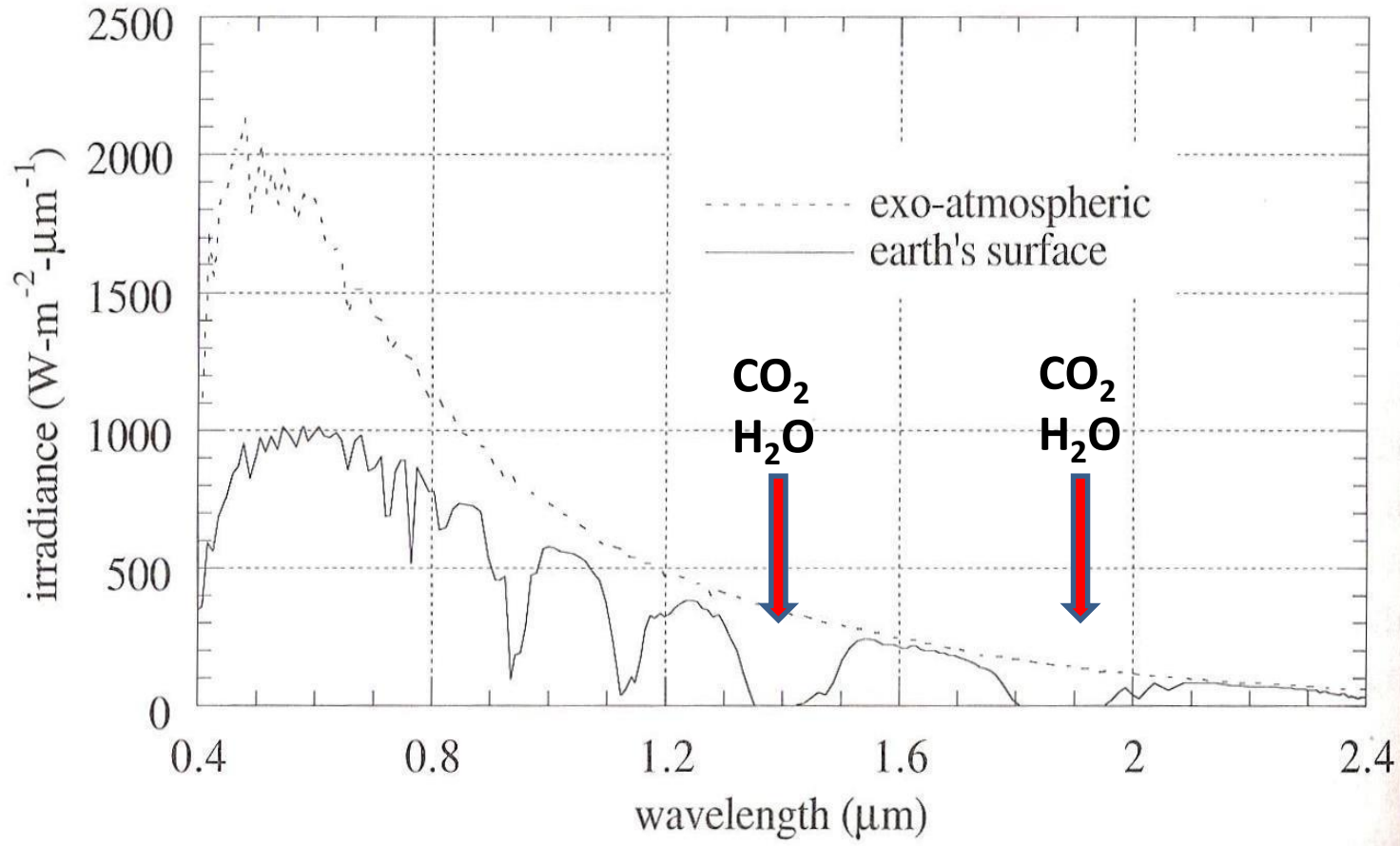
Irradiância espectral solar no topo da atmosfera



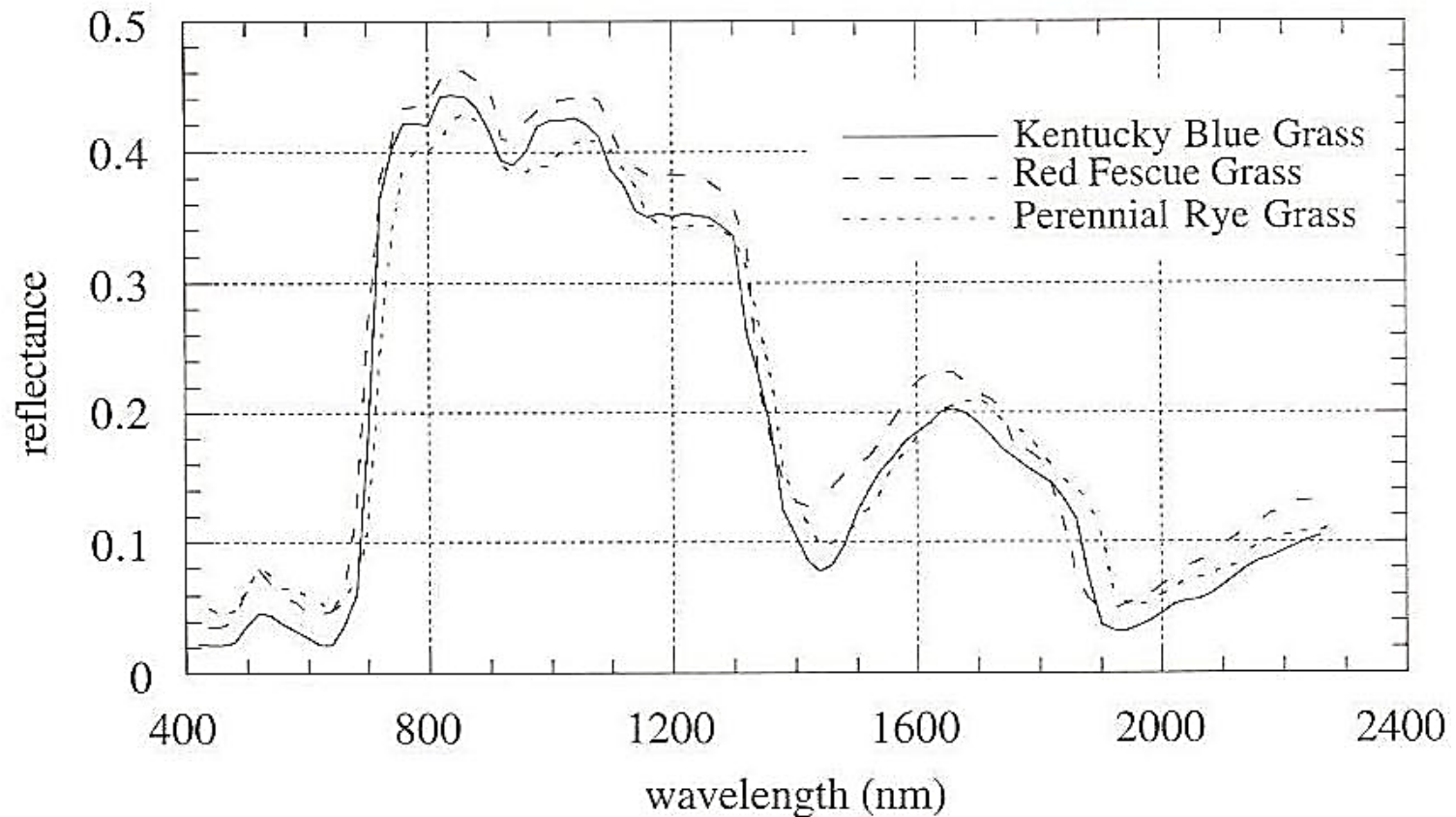
Irradiância espectral solar e a resposta do olho humano



Irradiância espectral solar na superfície da Terra

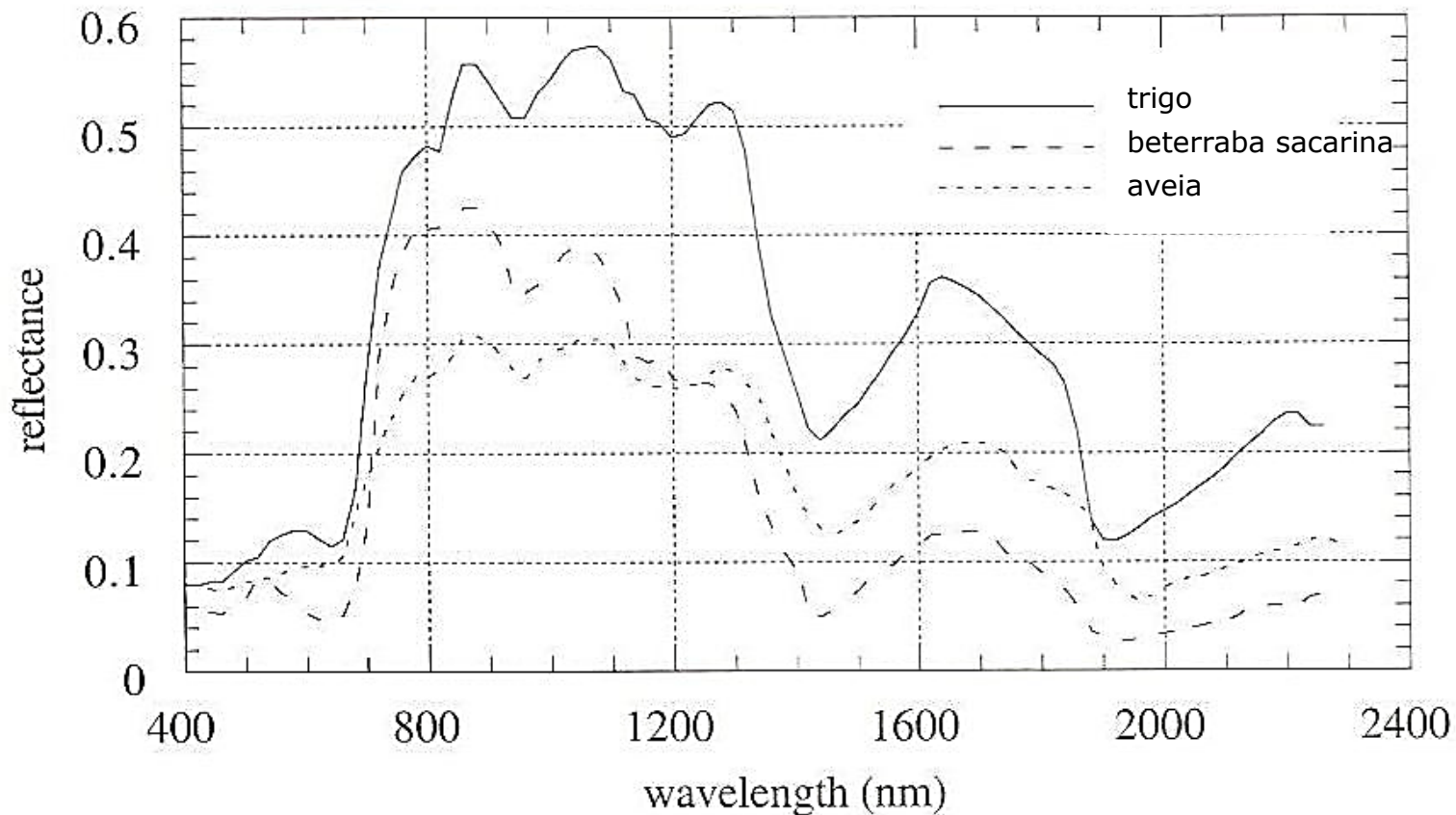


Assinatura Espectral



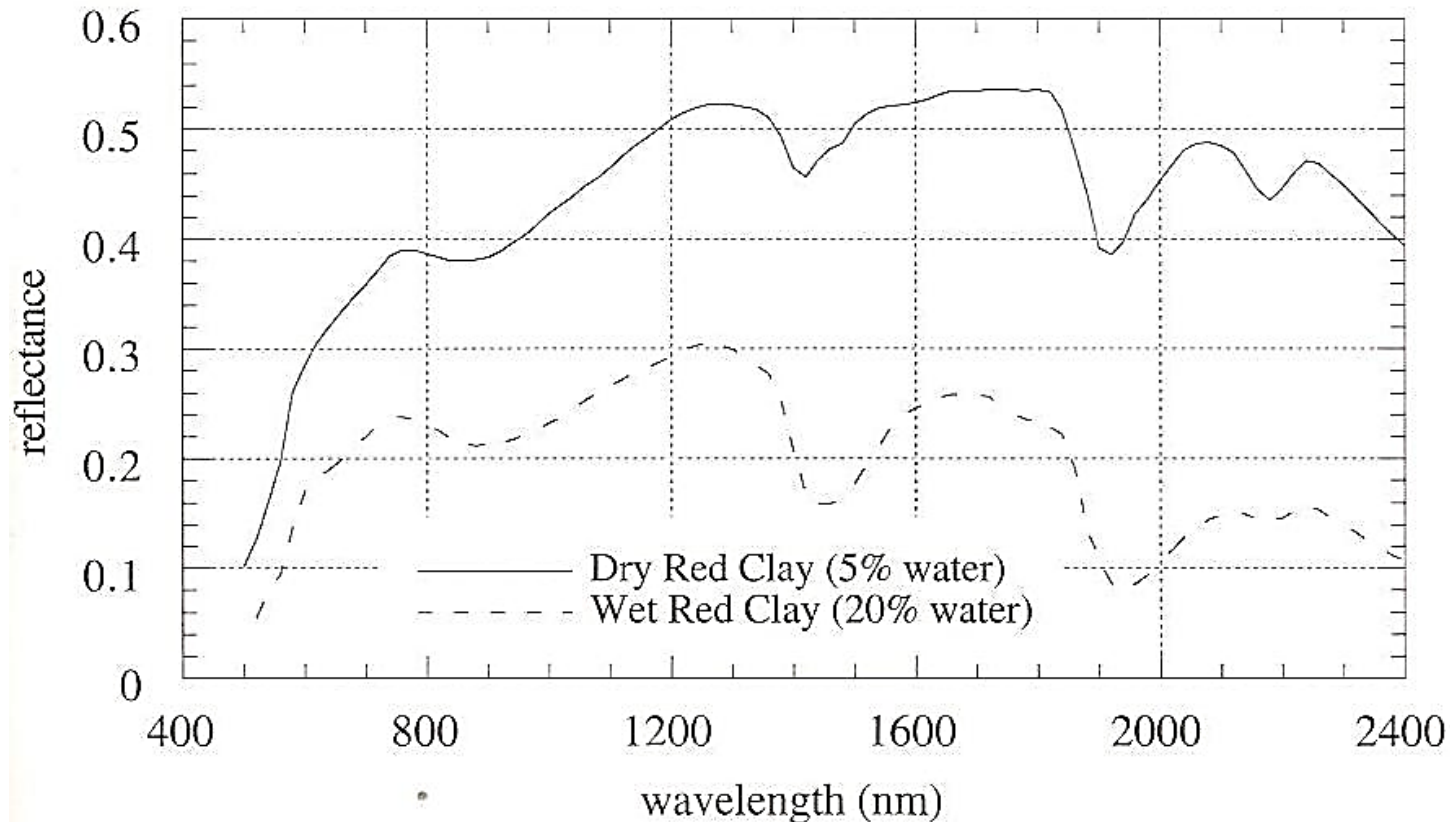
Exemplo de curvas de reflectância espectral

Assinatura Espectral



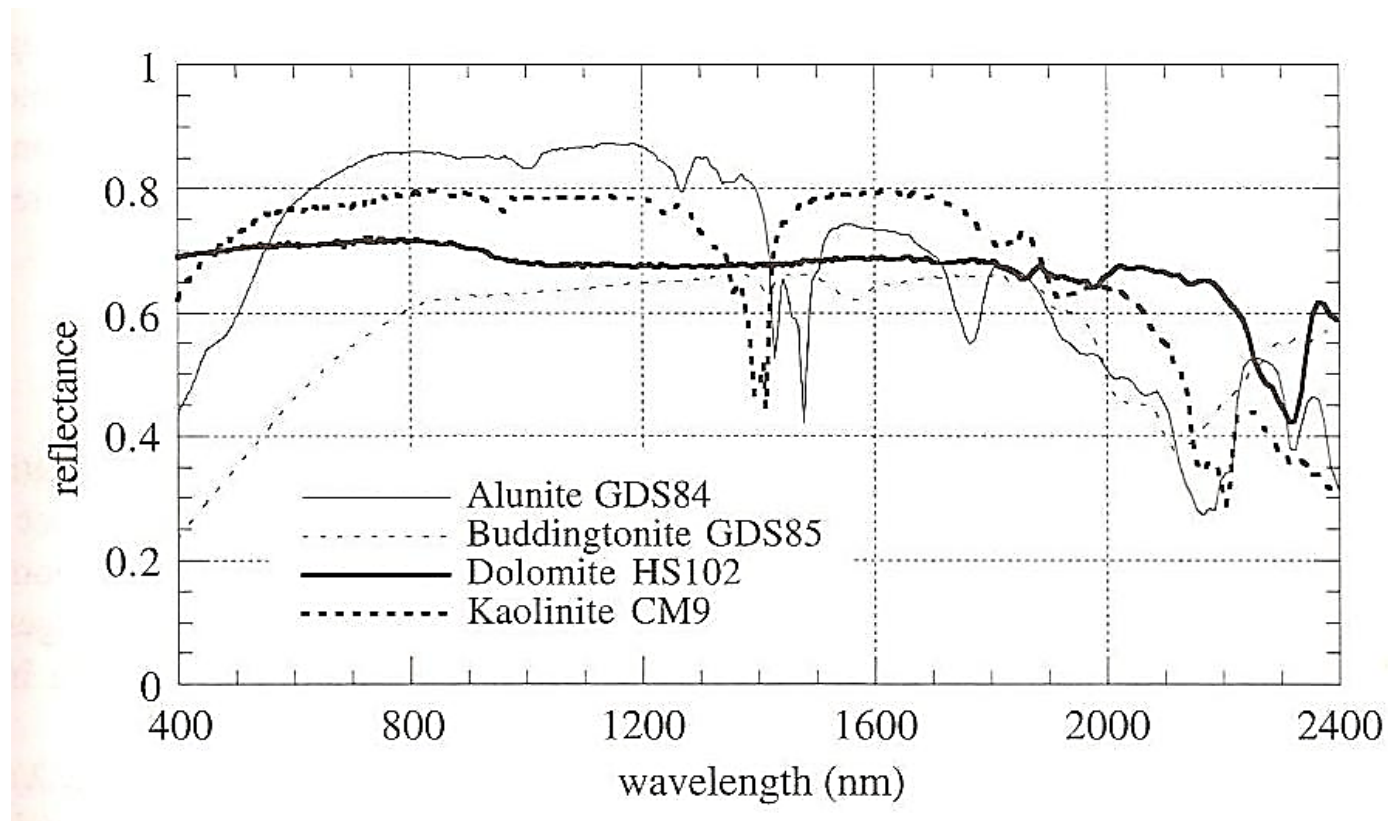
Exemplo de curvas de reflectância espectral

Assinatura Espectral



Exemplo de curvas de reflectância espectral (Clay = argila)

Assinatura Espectral

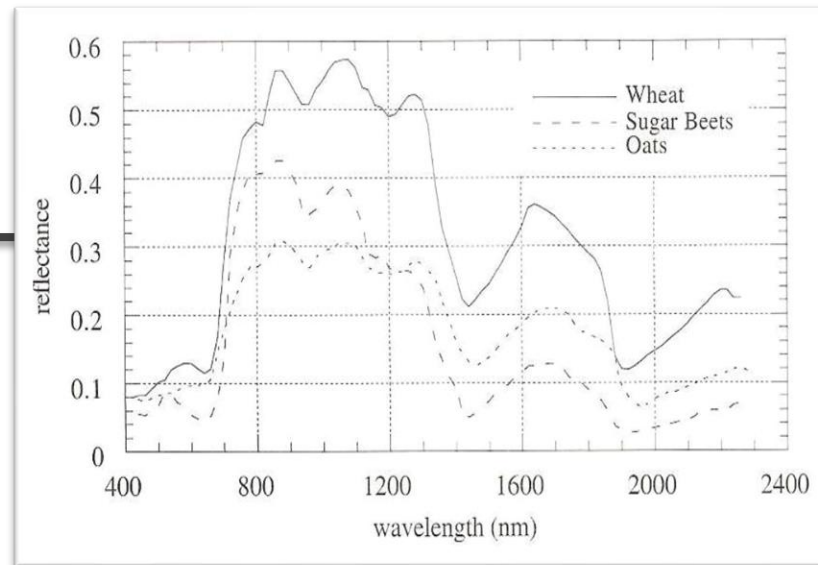


Exemplo de curvas de reflectância espectral

Vegetation Index

Índice razão.

$$I_1 = \frac{BLand_{red}}{BLand_{NIR}} = \frac{\text{vermelho}}{\text{infravermelho próximo}}$$



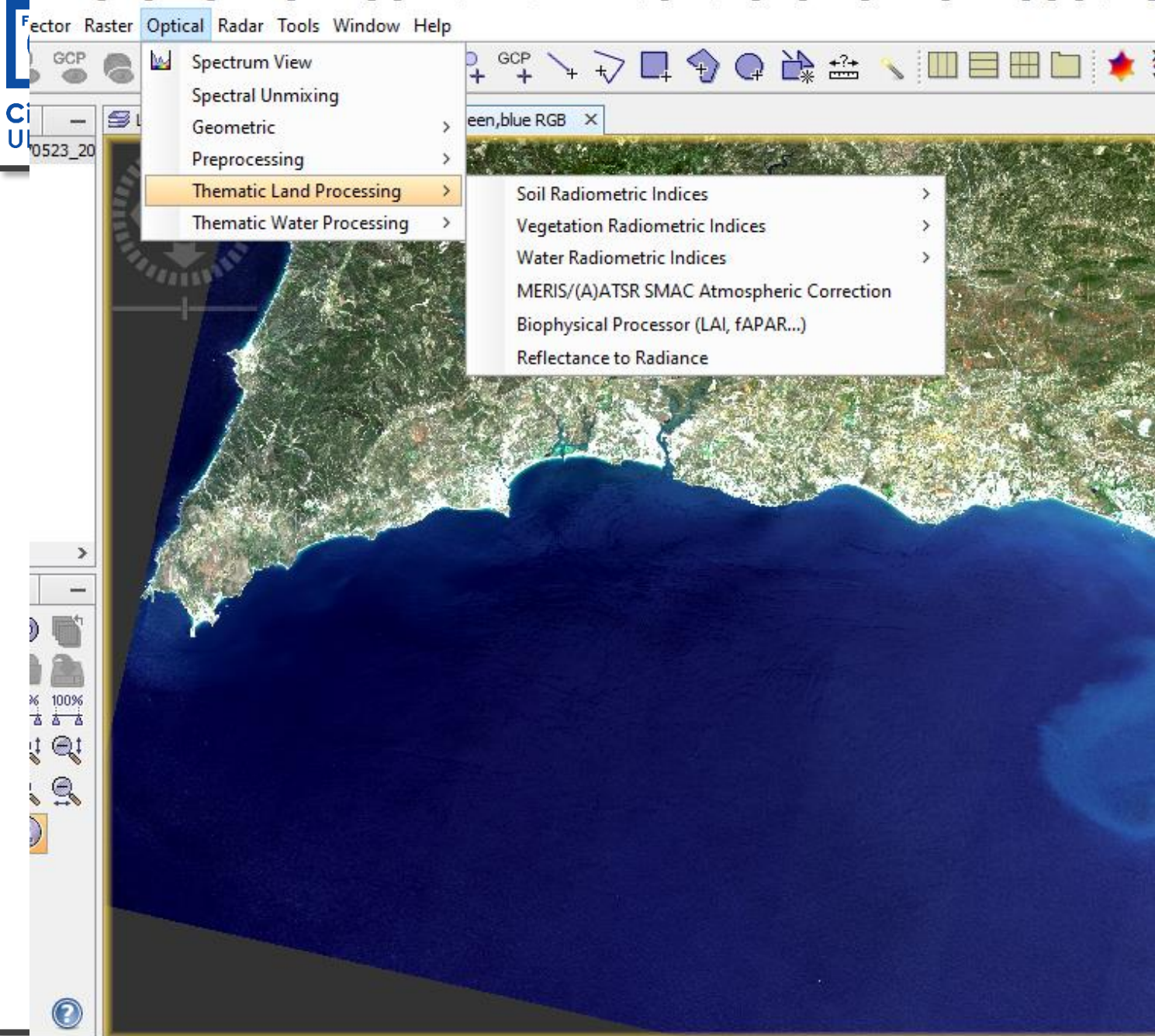
Índice de vegetação normalizado NDVI

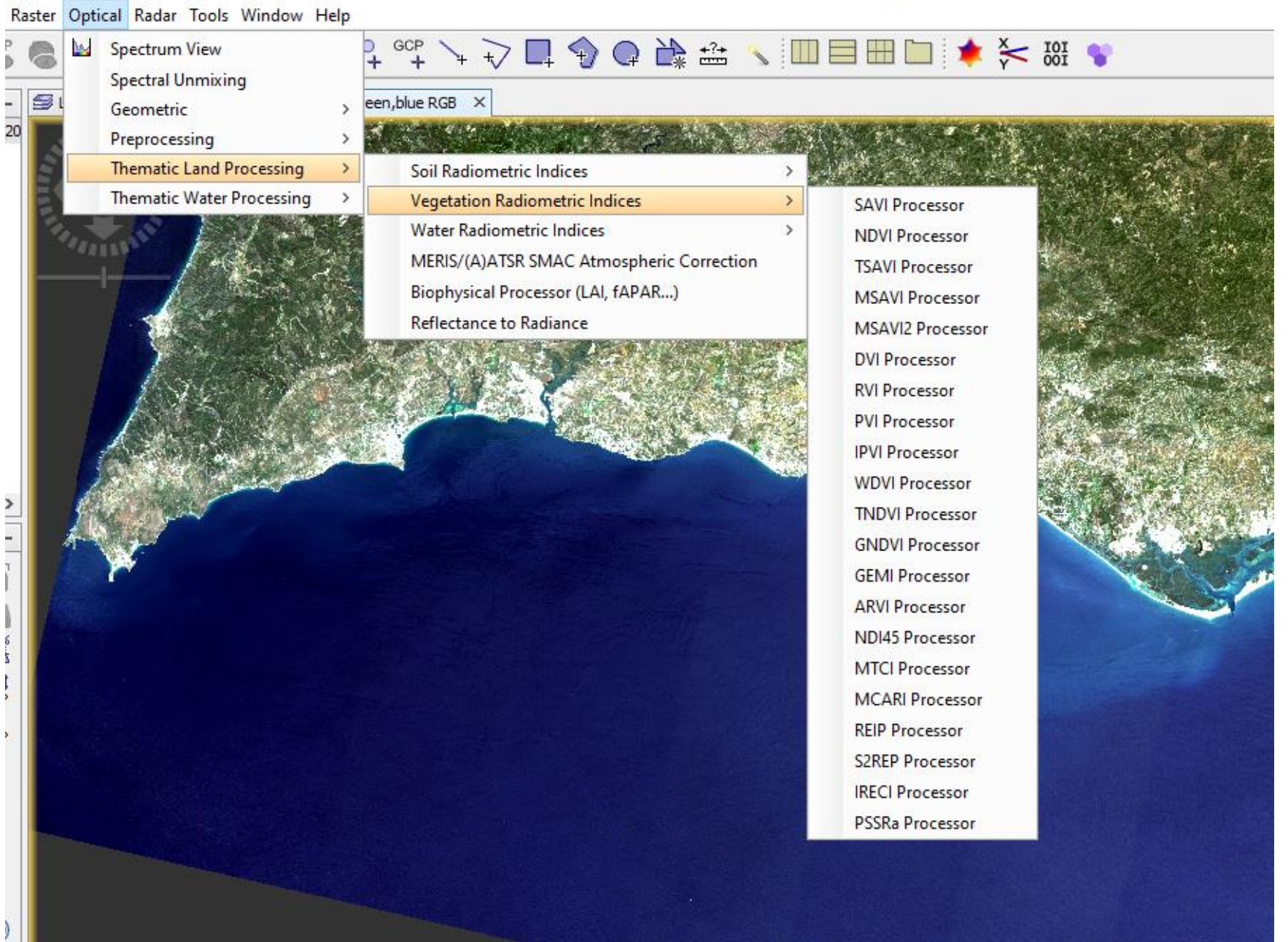
Normalized Difference Vegetation Index

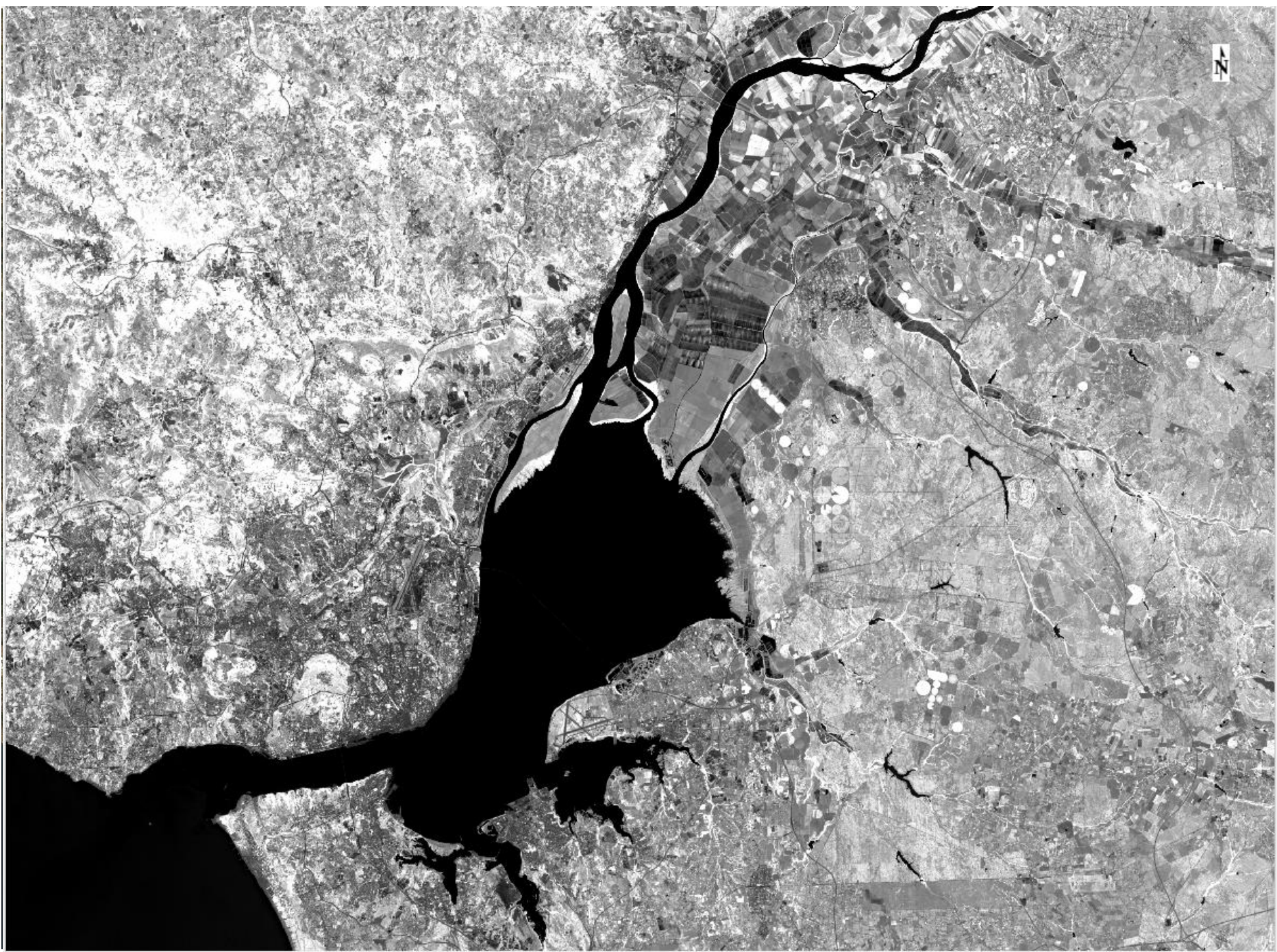
$$NDVI = \frac{InfraRED - red}{InfraRed + Red}$$

Sempre entre -1 e +1. Valores típicos para a vegetação são superiores a 0.3.

Valores superiores a 0.5 indicam a presença de vegetação no pleno do seu estado vegetativo.





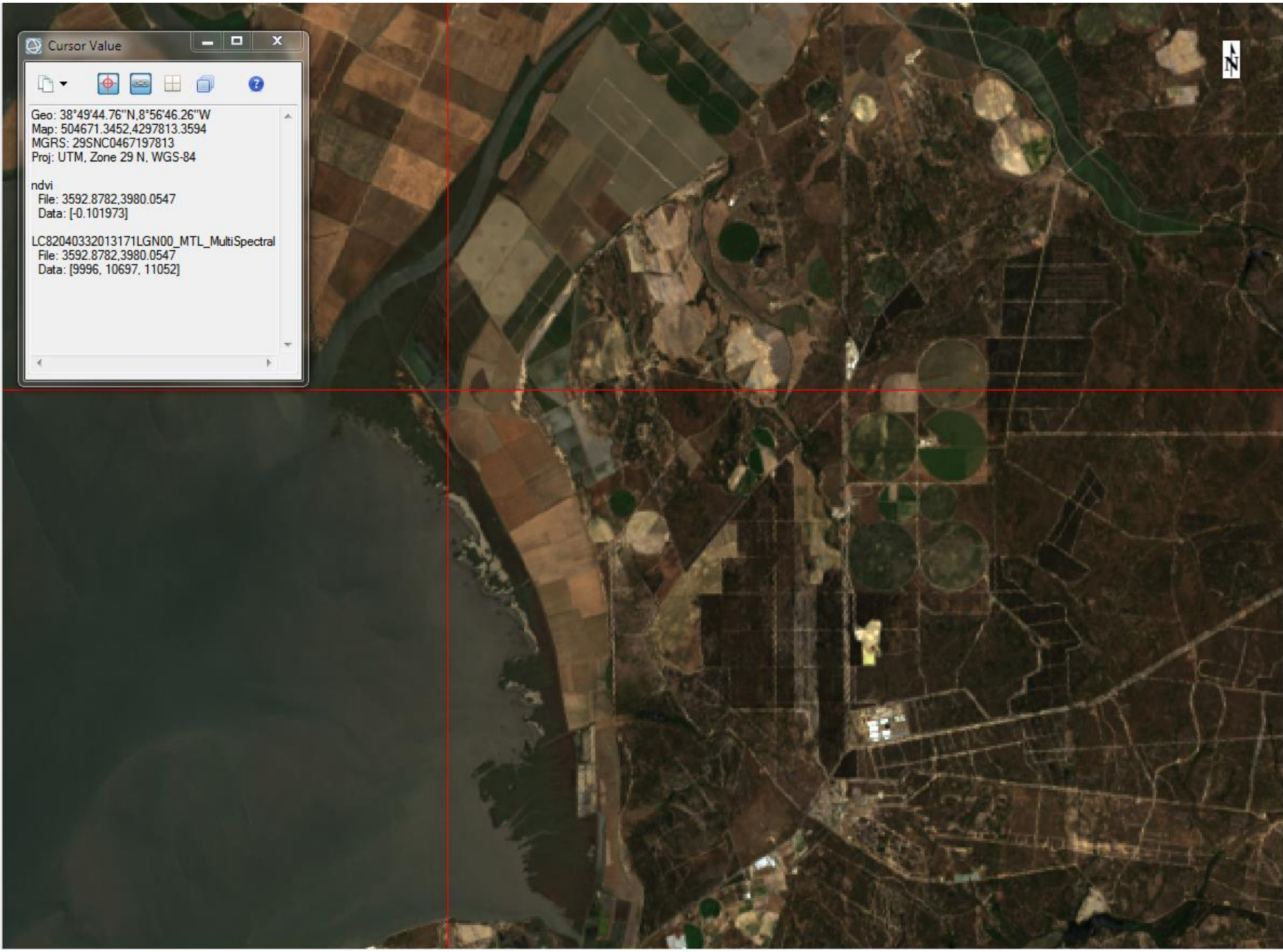


Cursor Value

Geo: 38°49'44.76"N, 8°56'46.26"W
Map: 504671.3452, 4297813.3594
MGRS: 29SNC0467197813
Proj: UTM, Zone 29 N, WGS-84

ndvi
File: 3592.8782, 3980.0547
Data: [-0.101973]

LC82040332013171LGN00_MTL_MultiSpectral
File: 3592.8782, 3980.0547
Data: [9996, 10697, 11052]



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

Espaço

Comprimento de onda

Tempo

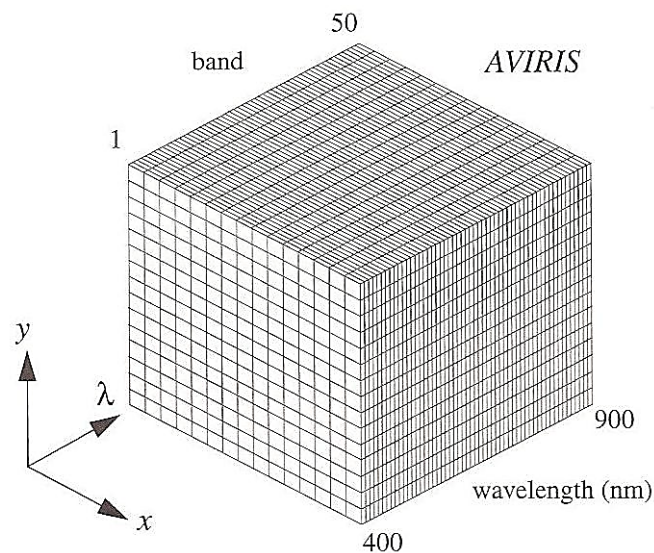
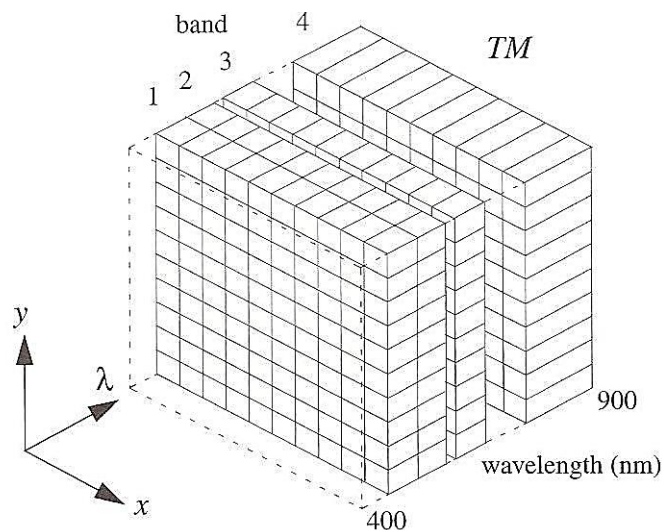
A média no tempo é geralmente muito pequena (na ordem dos micro segundos para sensores whiskbroom como TM e milissegundos para sensores pushbroom como o SPOT) e é inconsequente na maioria das aplicações.

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

Whiskbroom =
movimento rápido

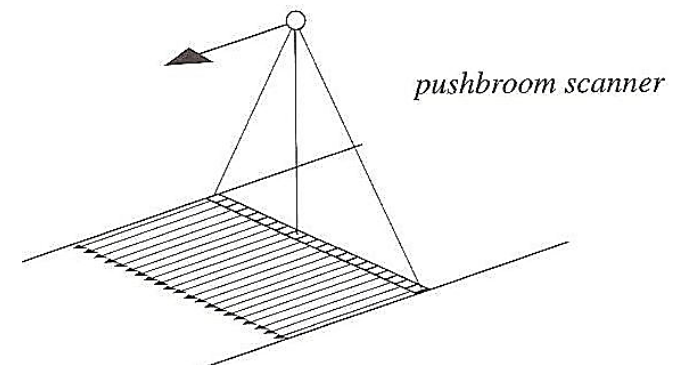
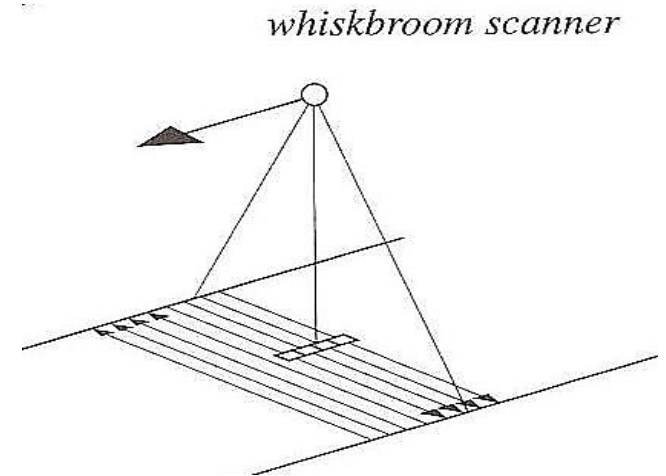
Sensores Ópticos

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



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.



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.

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

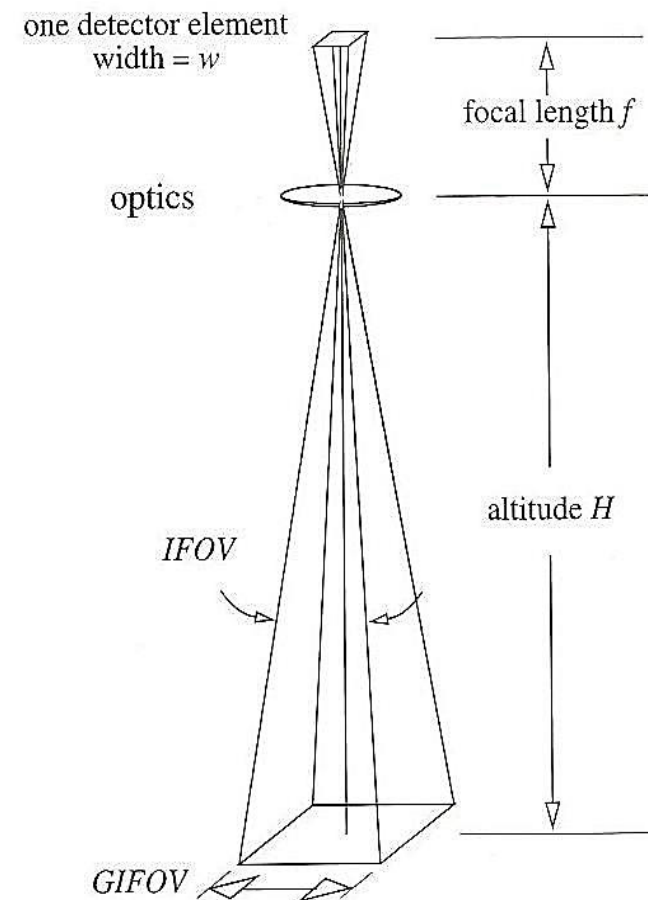
O IFOV é independente da altitude do satélite.

O valor de GIFOV é:

(Ground-projected Instantaneous Field of View)

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

ou GSD, Ground Sampling Distance



Resolução Espacial

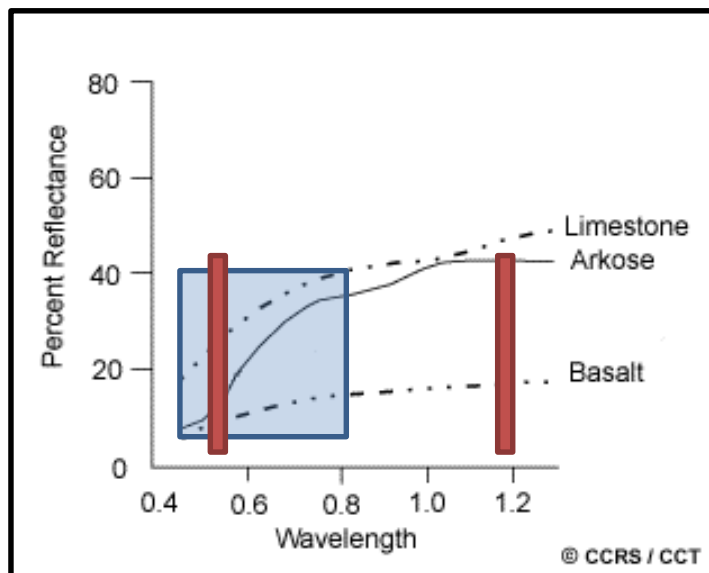
A **resolução espacial** é o valor do GIFOV, a menor que é representada na imagem.

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



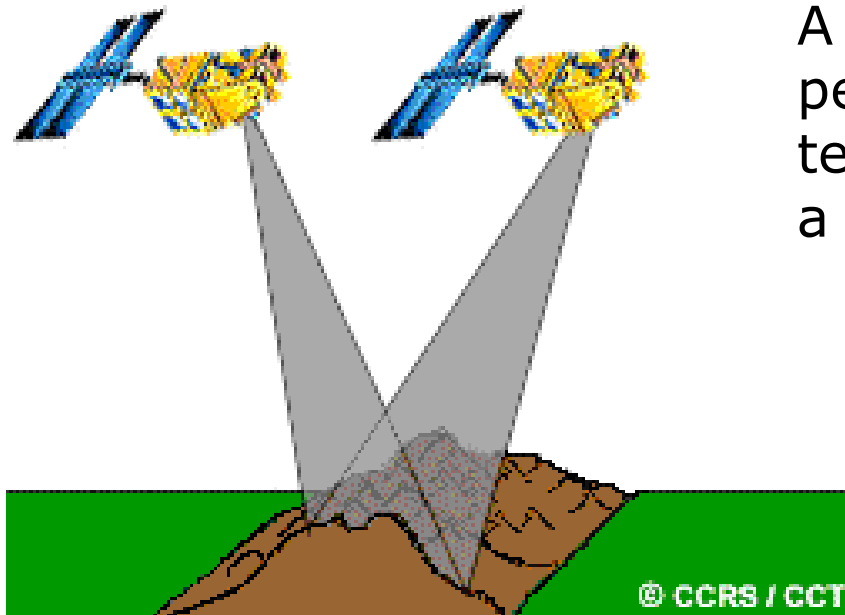
A resolução radiométrica de uma imagem descreve a capacidade de discriminar pequenas diferenças na energia.

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)

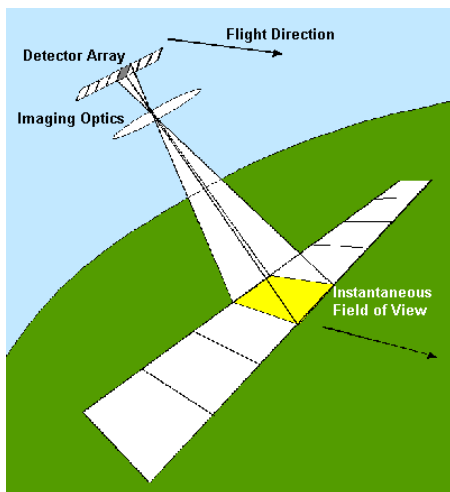
Resolução Temporal



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, Sentinel-2 10 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 pixel, 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 AVHRR tem 10 bits por pixel e o IKONOS tem 11 bits por pixel, MODIS 12 bits por pixel, Landsat-8 tem 12 bits.

Em resumo:

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

GIFOV
(resolução efectiva no terreno)

resolução espectral
(numero de bandas e largura das banda)

Resolução radiométrica
(numero de bits)

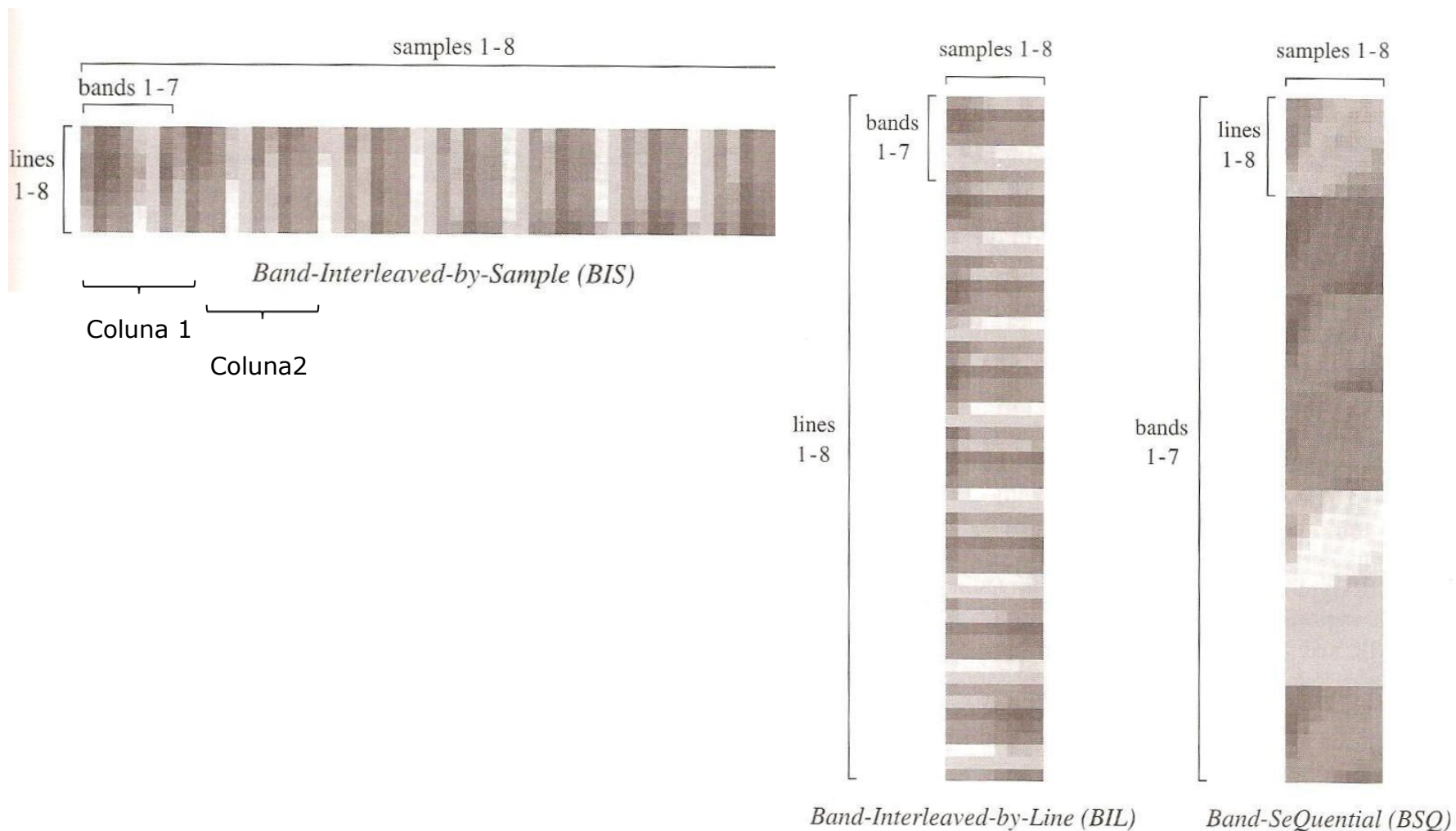
As imagens de Detecção Remota são guardadas no disco num dos três formatos:

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

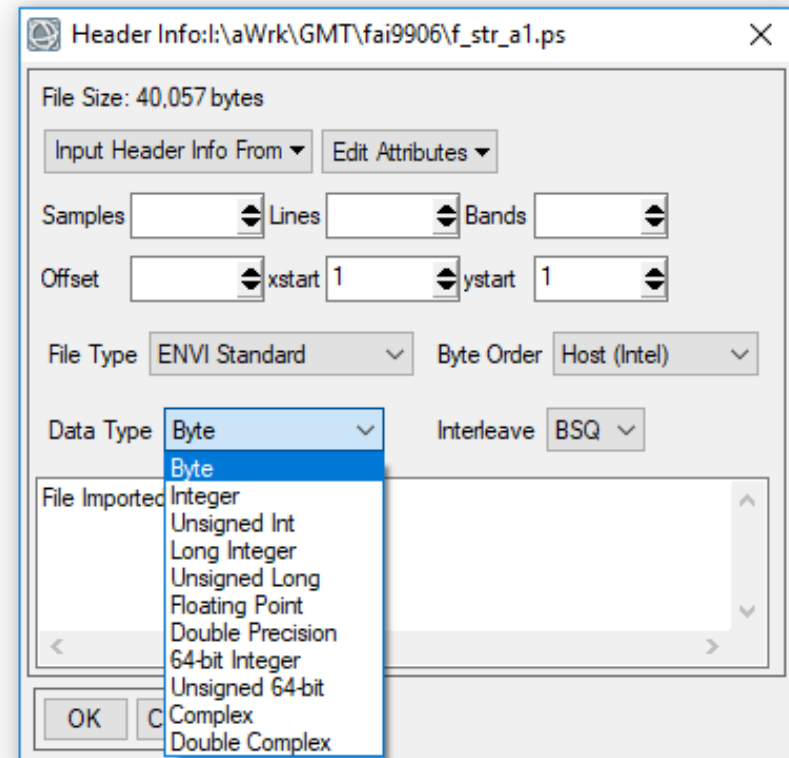
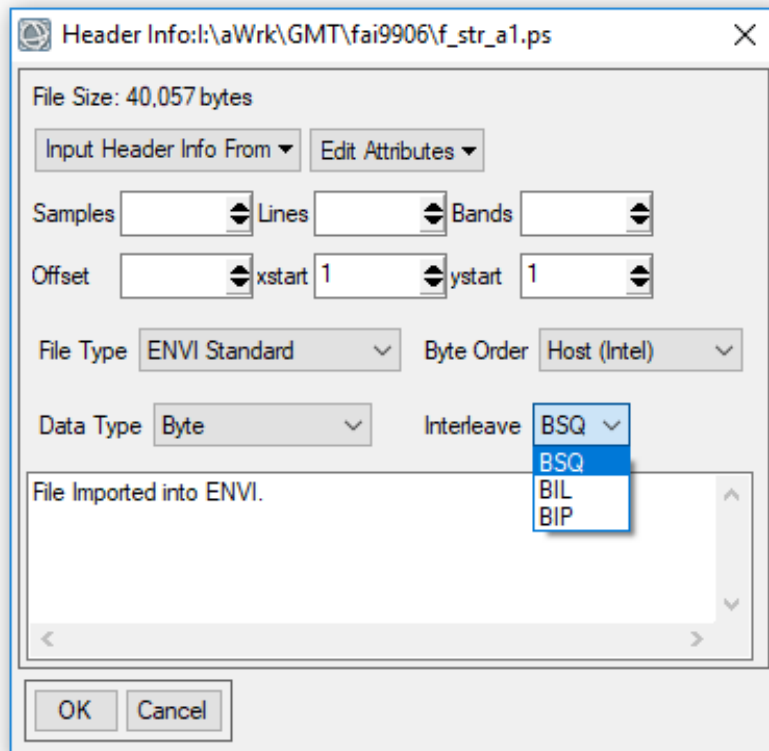
Estes formatos são determinados por diferentes ordenações das três dimensões dos dados. Do ponto de vista do tempo de acesso:

- ❑ 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



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:

```
offset values data reflectance offset values = REFLECTANCE_ADI_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

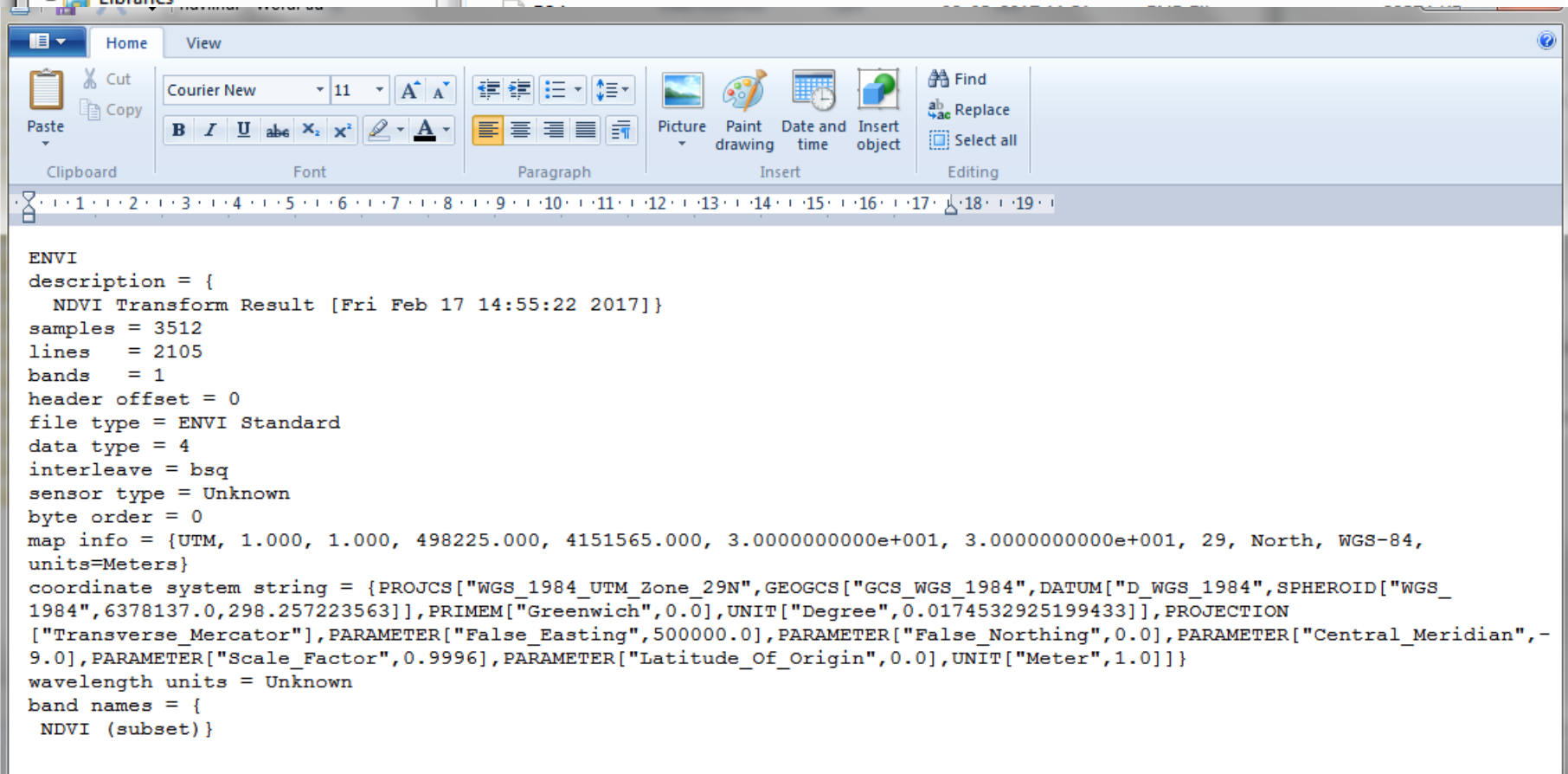
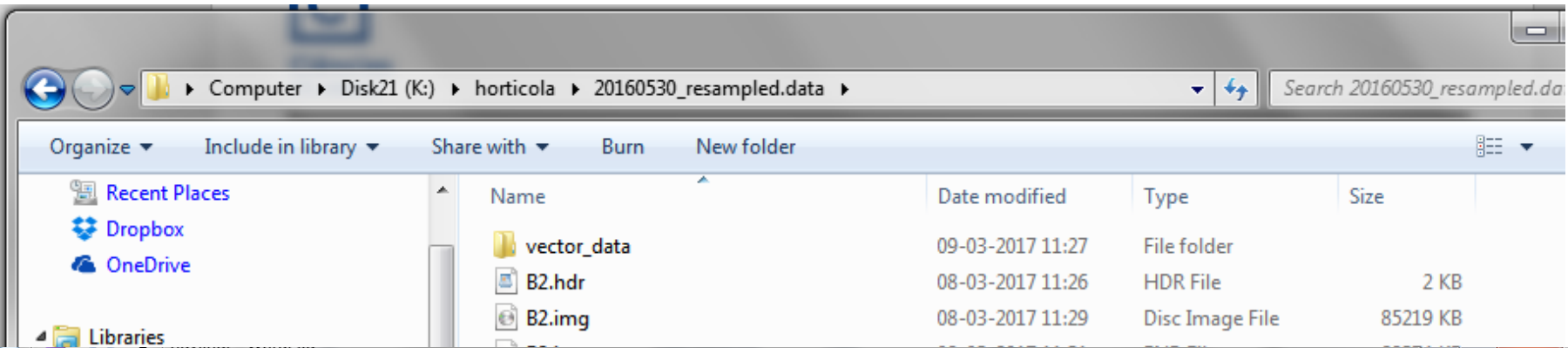
Determines what type of stretch (% linear, linear range, Gaussian, equalization, square root) to use when ENVI displays the image.

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](#).



Distorção Geométrica das imagens

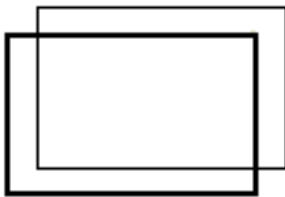
Qualquer sistema de DR terá distorções geométricas. Este é um problema inerente à DR uma vez que pretendemos representar a superfície da Terra 3D numa imagem bidimensional. (matematicamente equivalente ao problema da cartografia matemática, acrescida de outras deformações)

Os elementos que contribuem para a distorção geométrica das imagens são:

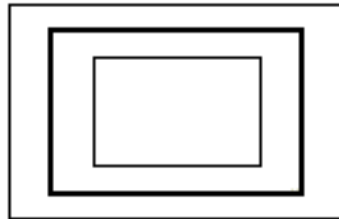
- a) O movimento do sistema de varrimento
- b) A instabilidade da plataforma.
- c) A atitude da plataforma
- d) O relevo do terreno
- e) Curvatura e rotação da Terra.

Distorção Geométrica das imagens

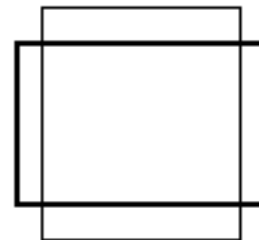
External Distortions



(a) Shift error



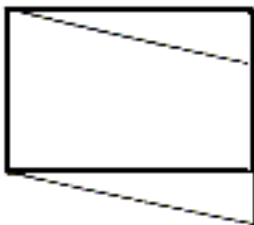
(b) Scale error



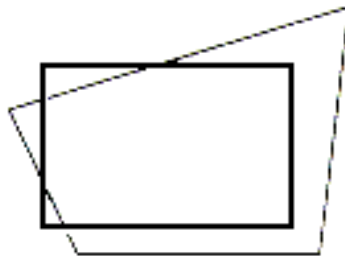
(c) V/H error



(d) Skew



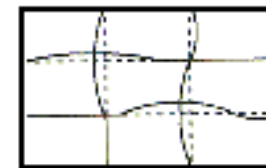
(e) Skew of scan line



(f) Projection distortion

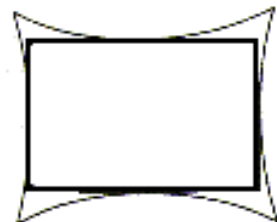


(g) Distortion due to
Earth curvature



(h) Terrain relief
Displacement

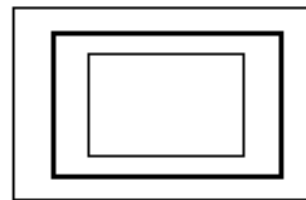
Internal Distortions



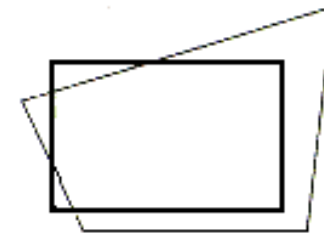
(a) Radial distortion



(b) Tegential distortion



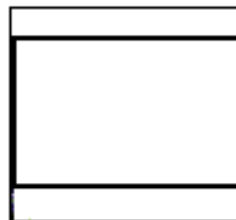
(c) Scale error



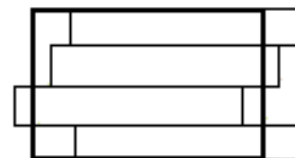
(d) Projection distortion



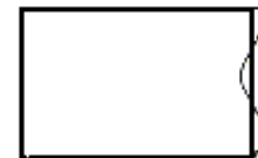
(e) Skew



(f) Along track scale error

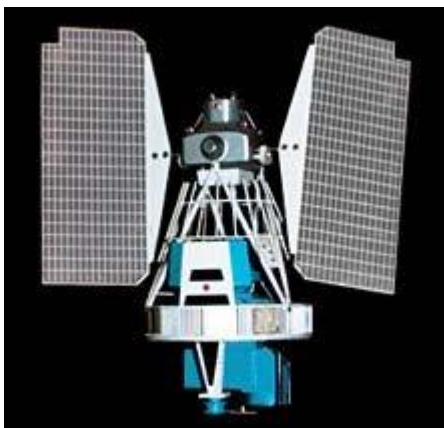


(g) Step-wise distortion



(h) Scan-line scale error

Satélites de Observação da Terra (EOS)



O LANDSAT foi o primeiro sistema de satélites de observação da Terra desenhado para obter uma cobertura global da superfície da Terra numa base regular.

O primeiro LANDSAT foi lançado em 1972.

O primeiro nome deste programa foi ERTS (Earth Resources Technology Satellite).

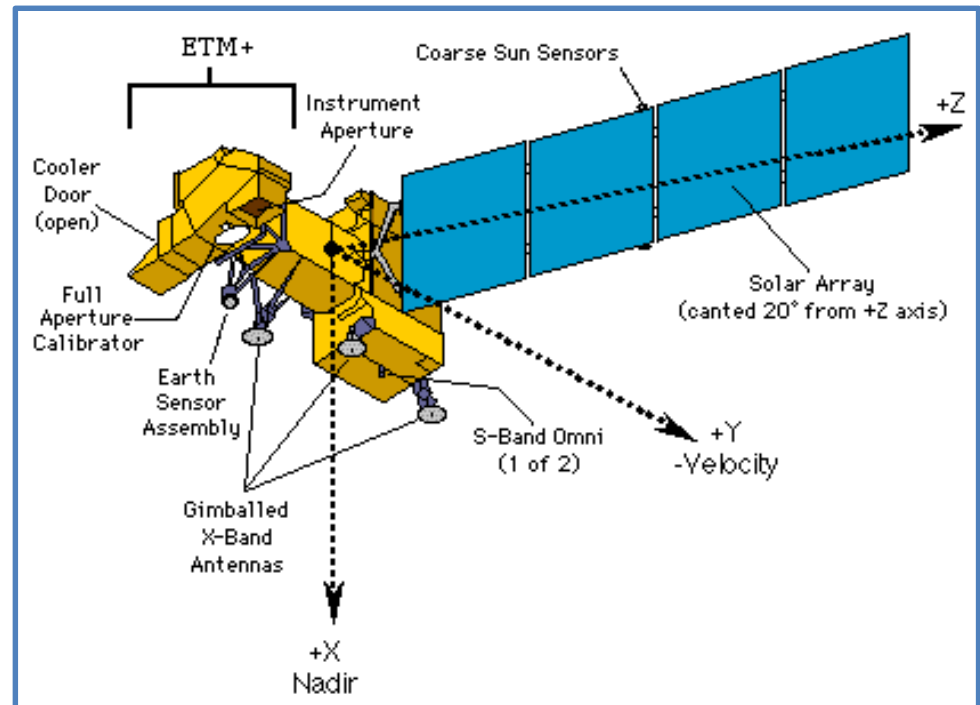
Foram lançados os satélites Landsat-2 (1975), Landsat-3 (1978), Landsat-4 (1982) e Landsat-5 (1984). Landsat-6 (1993, não chegou a funcionar), Landsat-7 (1999) e Landsat-8 (Fev 2013), Landsat-9 (Set 2021).

LANDSAT 7- Satélite

O principal instrumento é o ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) apontando para o nadir.

A banda S é usada para operações de comando e a banda X para transmissão de dados.

Tem um disco de 378Gb que armazenam 42 minutos de imagens.



A energia é fornecida por um painel solar e duas baterias de Níquel-Hidrogénio.

LANDSAT 8

Foi lançado a 11 de Fevereiro de 2013.

O Landsat 8 tem a bordo dois sensores:

Operational Land Imager
(OLI)

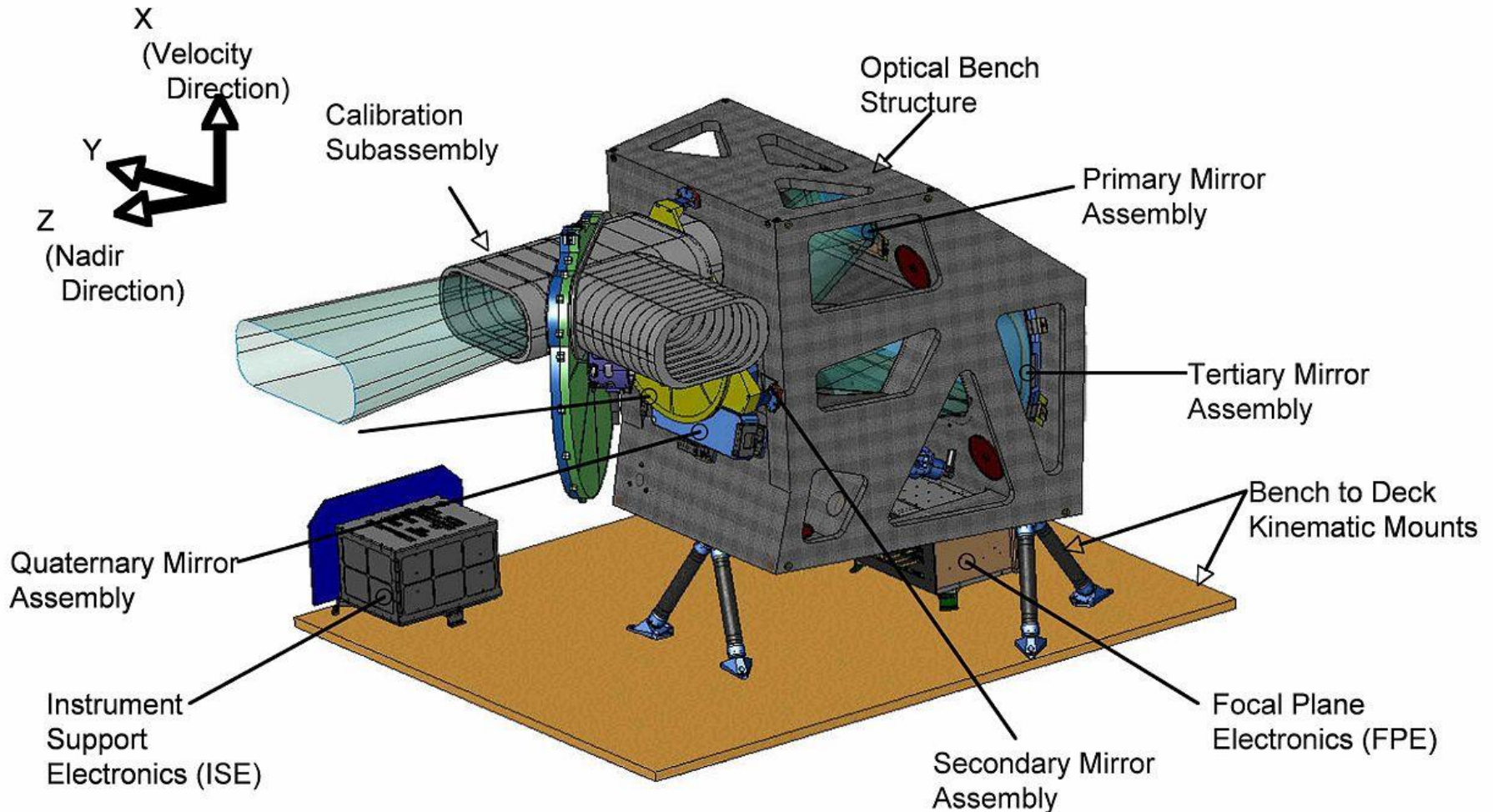
Thermal InfraRed Sensor
(TIRS).

The Landsat 8 scene size is 185-km-cross-track-by-180-km-along-track.

The nominal spacecraft altitude will be 705 km.

Cartographic accuracy of 12 m or better (including compensation for terrain effects) is required of Landsat 8 data products.

OLI Instrument Overview



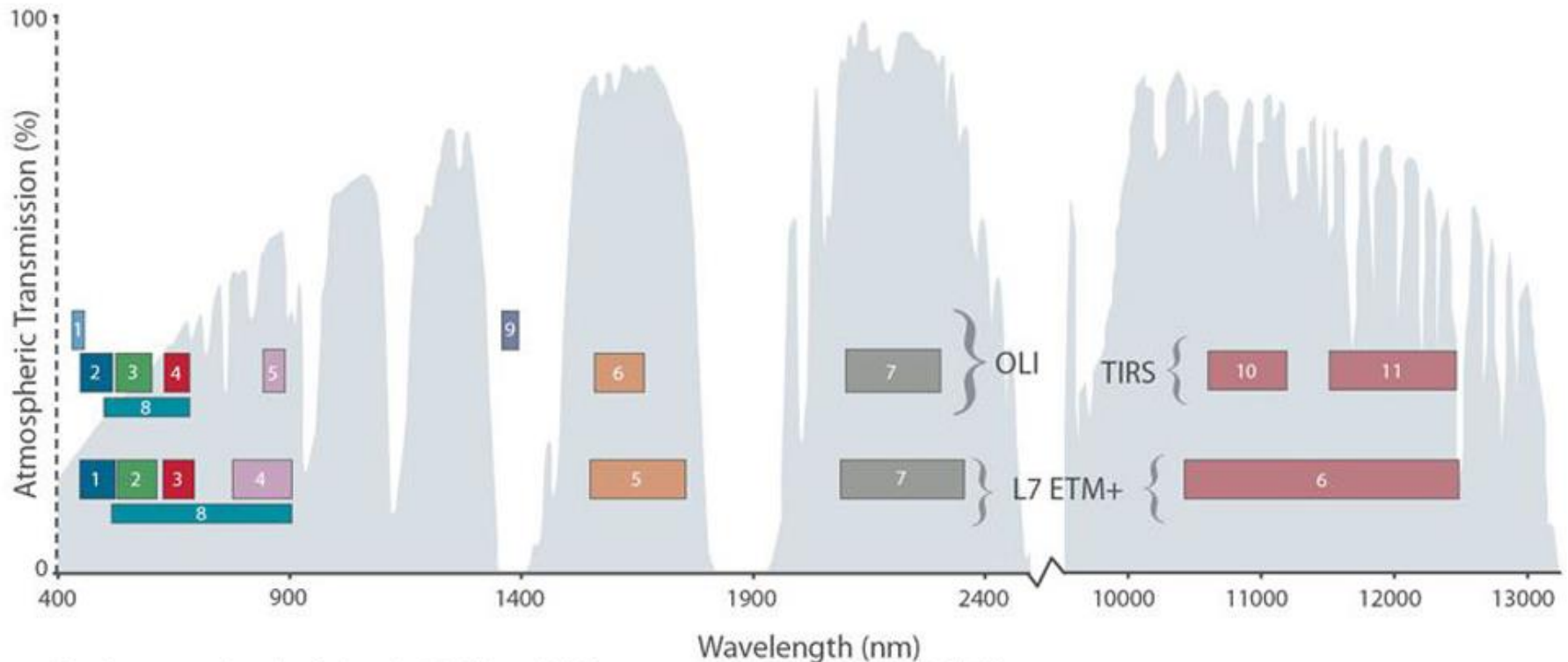
15-degree field-of-view, 7000 pixels per spectral band, exception of the 15 m panchromatic band that requires over 13,000 detectors (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=5775>)



LANDSAT 8 – Bandpass wavelength

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1 Short wave IR	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100	

LANDSAT 8 e 9 – Bandpass wavelength



Bandpass wavelengths for Landsat 8 OLI and TIRS sensor, compared to Landsat 7 ETM+ sensor

Note: atmospheric transmission values for this graphic were calculated using MODTRAN for a summertime mid-latitude hazy atmosphere (circa 5 km visibility).

New infrared channel (band 9) for the detection of cirrus clouds.

Radiometric quantization (12-bits)

Sentinel -2

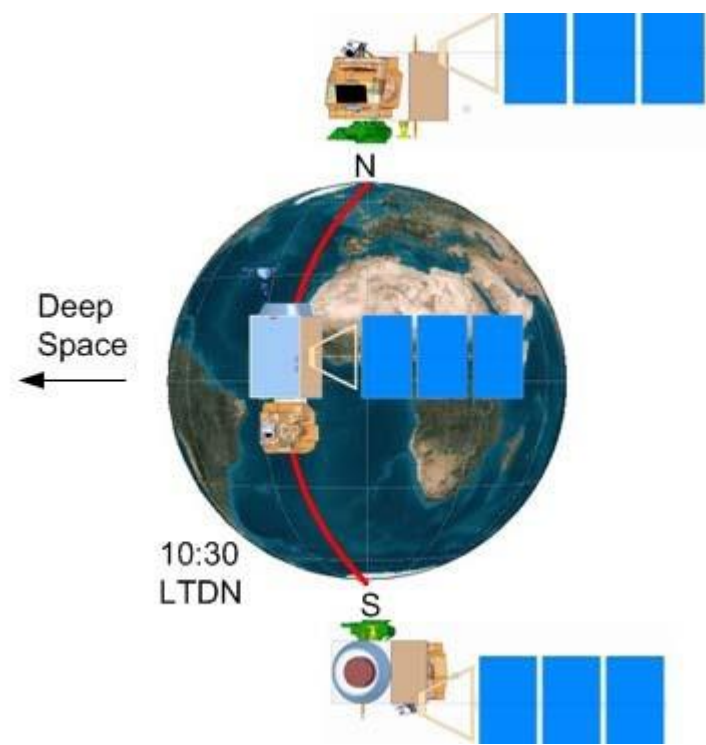
Sentinel-2 carries an innovative wide swath high-resolution multispectral imager with 13 spectral bands for a new perspective of our land and vegetation.

Applications:

Plant Health, Changing lands, Water bodies, Disaster Mapping

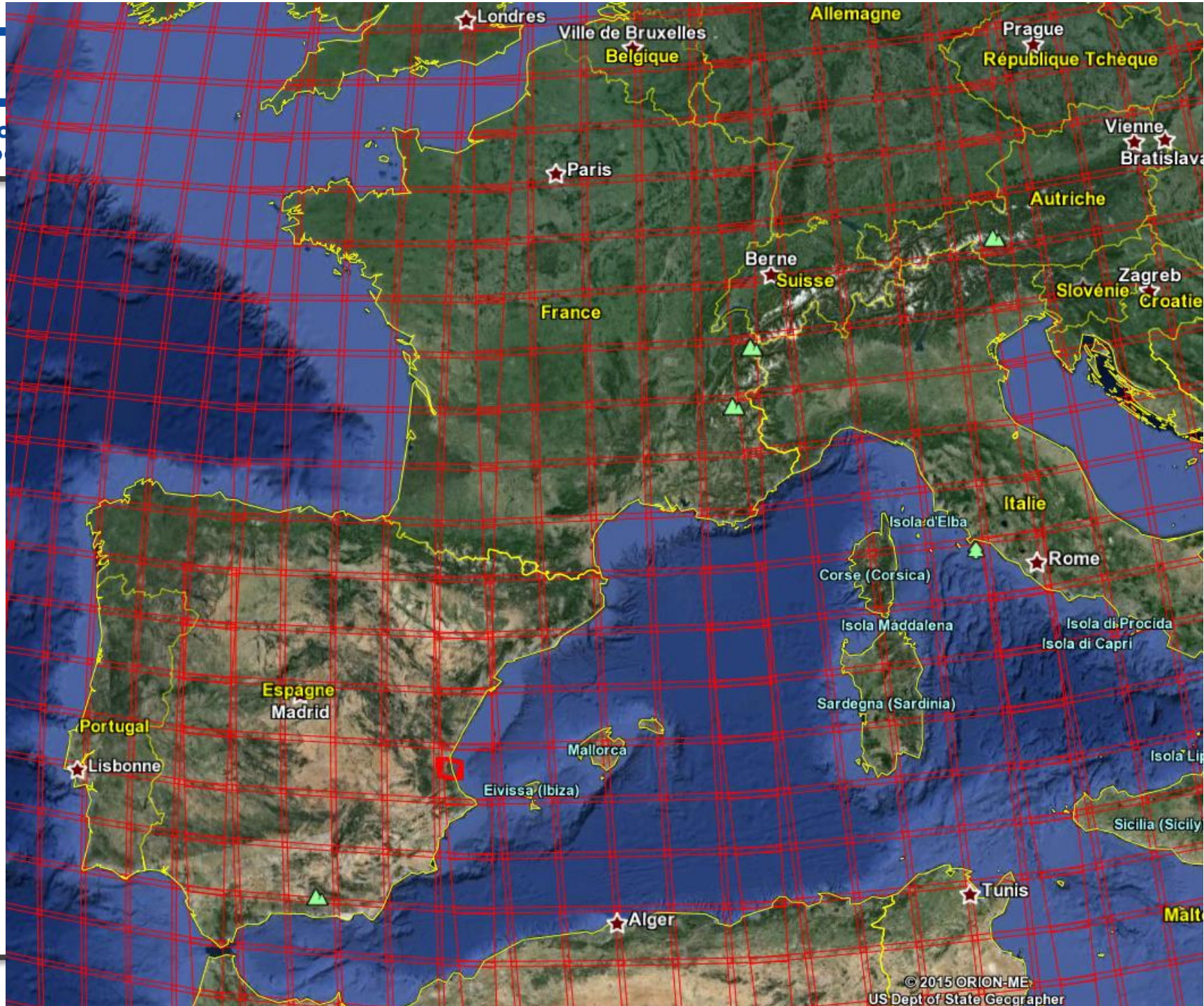
The span of 13 spectral bands, from the visible and the near infrared to the shortwave infrared at different spatial resolutions ranging from 10 to 60 m takes land monitoring to an unprecedented level.

Sentinel-2 include three bands in the 'red edge',





Ciênc
ULisb



Launch: 23 June 2015

Orbit: Polar, Sun-synchronous at altitude of 786 km

Revisit time: Five days from two-satellite constellation (at equator)

Satellite: 3.4 m long, 1.8 m wide, 2.35 m high

Instrument:

Multispectral imager (MSI) covering 13 spectral bands (443 nm–2190 nm)

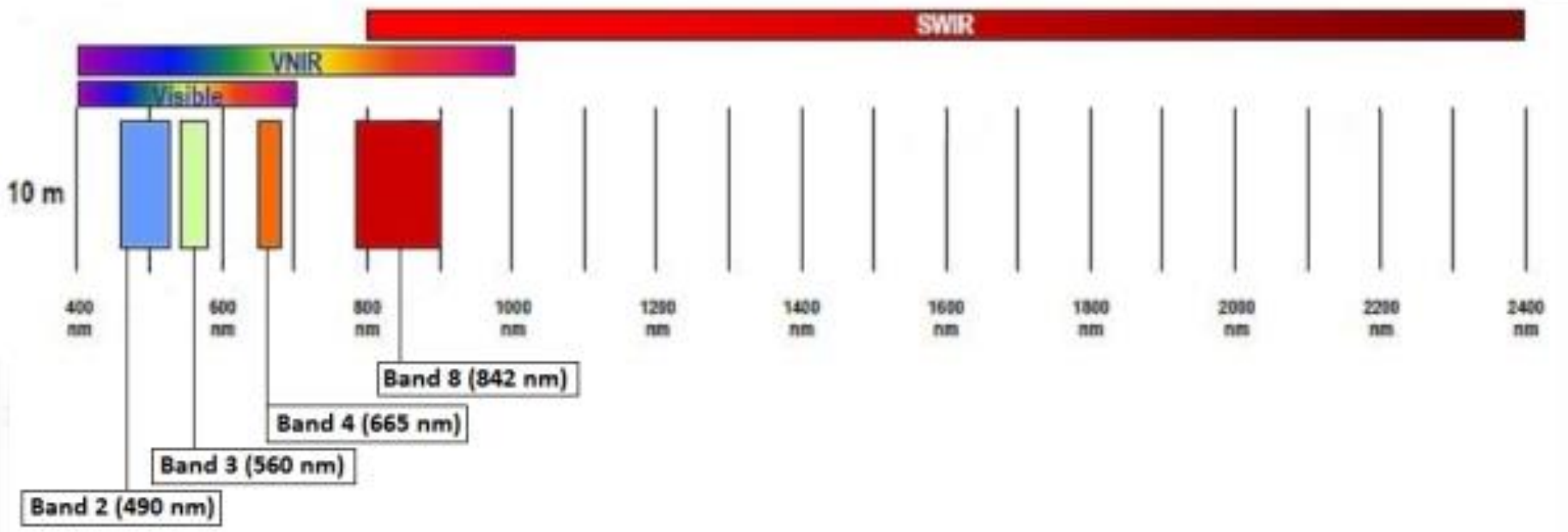
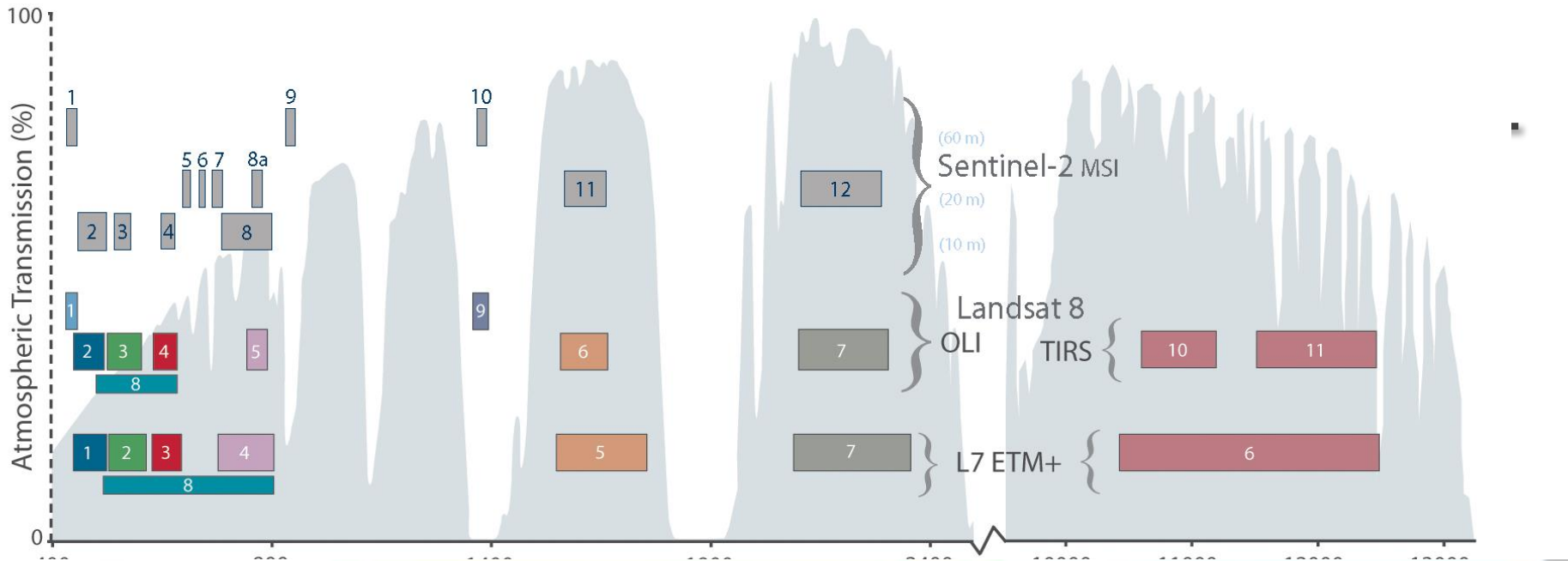
with a swath width of 290 km and spatial resolutions of :

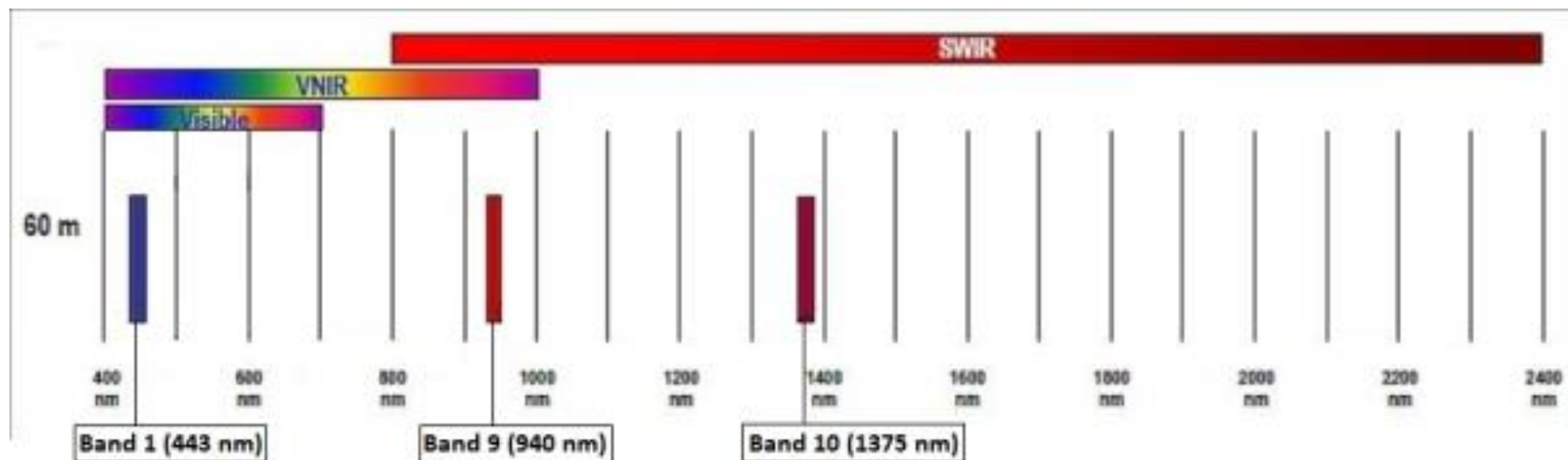
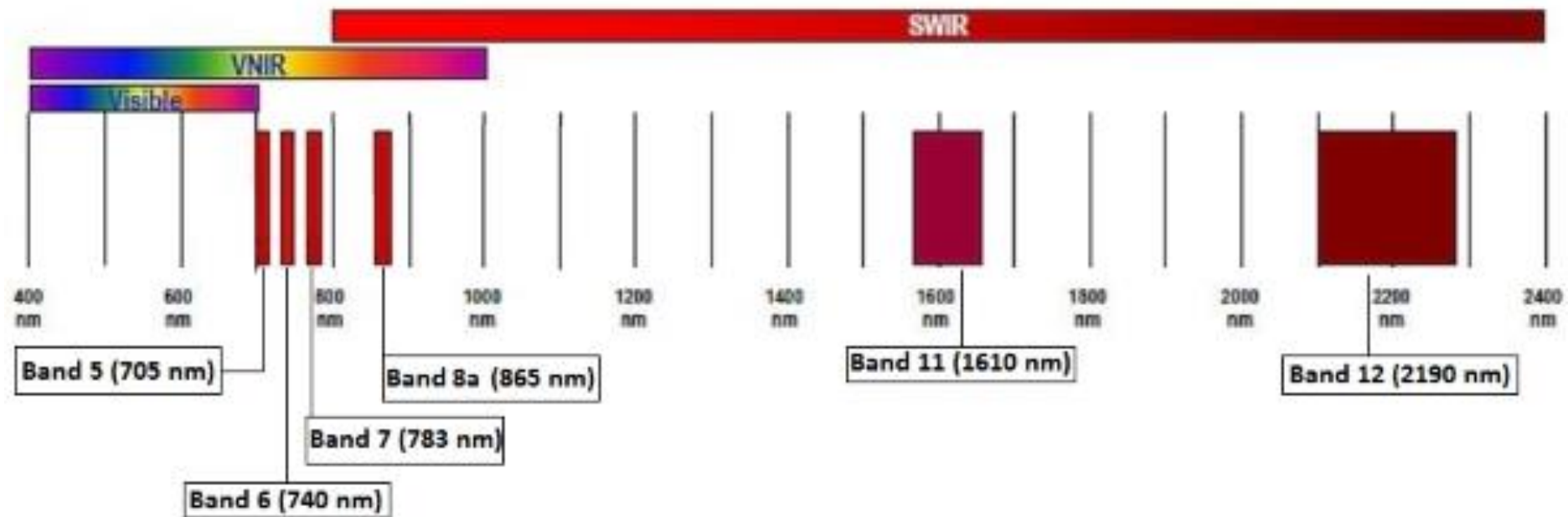
10 m (4 visible and near-infrared bands),

20 m (6 red-edge/shortwave-infrared bands) and

60 m (3 atmospheric correction bands)

Comparison of Landsat 7 and 8 bands with Sentinel-2







PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION

Copernicus
Sentinel Open Access

esa

EXPLORE DATA ▾ ANALYSE DATA ▾ ECOSYSTEM ▾

SUPPORT ▾ LOGIN

Explore the Copernicus Data Space Ecosystem

Welcome to the Copernicus Data Space Ecosystem, an open ecosystem that provides free instant access to a wide range of data and services from the Copernicus Sentinel missions and more on our planet's land, oceans and atmosphere.

The Copernicus Data Space Ecosystem not only ensures the continuity of the open and free access to Copernicus data but also extends the portfolio for data processing and data access possibilities.

REGISTER

● ● ● ●



The screenshot shows the Copernicus Data Space Ecosystem website. At the top right, there are navigation links for News, Events, Gallery, Videos, and About. Below these are logos for the Programme of the European Union, Copernicus, and ESA. The main navigation menu includes 'EXPLORE DATA', 'ANALYSE DATA' (which is expanded to show 'APIs', 'Data Workspace', 'Traceability', 'Jupyter Notebooks', 'openEO', and 'Sentinel Hub'), and 'ECOSYSTEM'. There are also 'SUPPORT' and 'LOGIN' buttons. The main content area features a breadcrumb trail 'Home > Analyse >', a large heading 'Jupyter Notebooks', and a paragraph: 'The Jupyter Notebooks service is a web-based environment that allows you to immediately start working with the Copernicus Data Space Ecosystem data and APIs.' A green button labeled 'ACCESS JUPYTER NOTEBOOKS' is positioned below the text.

Simplify your data processing

Enhance your experience and streamline your workflows with the Jupyter Notebooks service. This service enables you to leverage the Copernicus Data Space Ecosystem services and access data effortlessly.

The Jupyter Notebooks service allows you to dive into data exploration, visualization, and analysis without the hassle of installing dependencies or downloading large data sets.

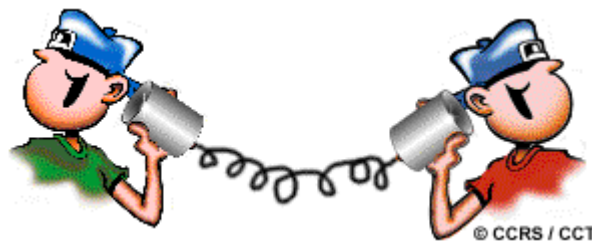




FIM do 1º Capítulo

Curiosidades e 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 GHz = 10^9 Hz), qual é o comprimento de onda da radiação? Exprese 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 : $0.6 \mu\text{m}$

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

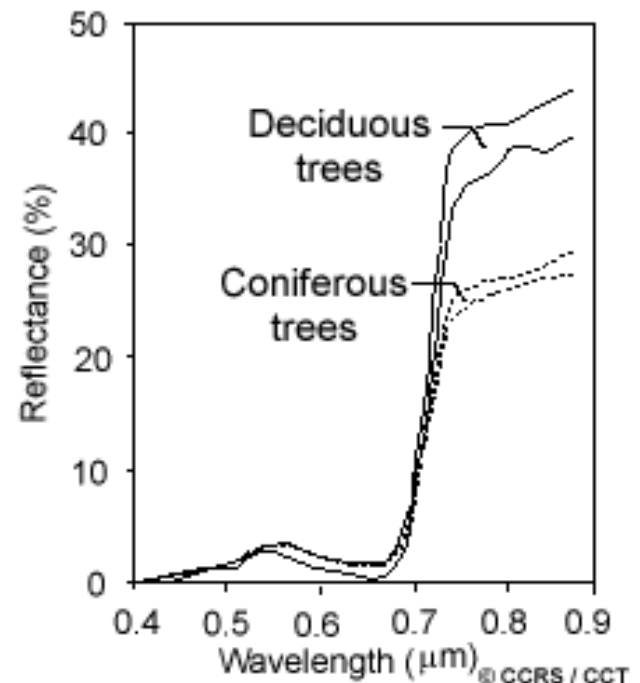
Resposta:

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.

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?

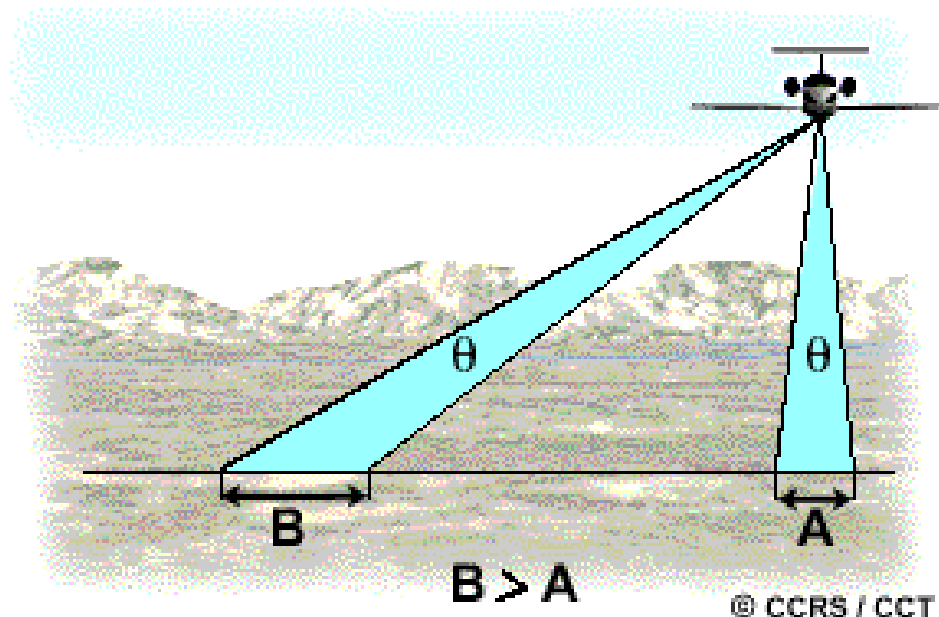
Resposta:

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.

Curiosidades

Se o IFOV é constante (o que é normalmente o caso), então a área no terreno representada no terreno no nadir terá uma maior escala de representação que os pixels afastados do nadir. Isto significa que a resolução espacial varia do centro da imagem para a periferia.



Existe uma relação entre a resolução espacial, espectral e radiométrica que deverá ser tomada em consideração no desenho do sensor.

Para uma maior resolução espacial o IFOV deverá ser reduzido.

Contudo, isto reduz a quantidade de energia que pode ser detectada uma vez que a área da célula no terreno passou a ser menor. Isto conduz a uma menor resolução radiométrica – a capacidade para detectar diferenças de energia mais finas.

Para aumentar a quantidade de energia detectada (e consequentemente a resolução radiométrica) sem reduzir a resolução espacial temos de aumentar a largura da banda detectada por cada canal ou banda.

Infelizmente, isto reduz a resolução espectral do sensor.

De forma inversa, uma resolução espacial mais grosseira permitirá um aumento da resolução radiométrica ou espectral.



Estes três tipos de resolução deverão ser balanceados em função das capacidades e objectivos da missão.

Questões

1. Se a largura de banda espectral do satélite CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager), com 288 canais, é exactamente de 0.40 μm a 0.90 μm e cada banda cobre um comprimento de onda de 1.8 nm (nanómetros, 10^{-9} m), haverá sobreposição entre as bandas espectrais?

Resposta:

A largura de banda é $0.90 - 0.40 \mu\text{m} = 0.50 \mu\text{m}$.
Se existem 288 canais de 1.8 nm cada, então:

$$1.8 \text{ nm} = 1.8 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$1.8 \times 10^{-9} \text{ m} \times 288 = 0.0000005184 \text{ m}$$

$$0.0000005184 \text{ m} = 0.5184 \mu\text{m}$$

Como 0.5184 é maior que 0.50, a resposta é afirmativa:
haverá sobreposição de algumas bandas entre as 288 bandas.

Questões

Supondo que temos uma imagem digital com uma resolução radiométrica de 6 bits, qual é o número digital máximo representado nessa imagem?

Resposta:

$$2^6 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64.$$

Como os números digitais nas imagens começam no zero, quer dizer que o valor máximo representado é 63.



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

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