

PRINCIPIOS E APLICAÇÕES DA DETECÇÃO REMOTA



Princípios Físicos da Deteção Remota

Chapter 2 – Physical Principles of Remote Sensing

- Características da radiação eletromagnética
- Equações de Maxwell
- Quantidades radiométricas
- Interação da radiação com a matéria
- Radiação Térmica
- Fontes de radiação eletromagnética
- Radiação Solar
- Interação com a atmosfera
- Conversão DN para radiância
- Correção radiométrica e Geométrica de imagens



Electromagnetic radiation characteristics

In physics, radiation is the emission or transmission of energy in the form of waves or particles through space or through a material medium

We are going to address systems based on electromagnetic radiation

Modelo das Partículas (Planck)

A radiação é transportada por fotões, ou quanta, que viajam à velocidade da luz e cuja energia é proporcional à frequência de oscilação.

$$Q = hf$$

+

$$c = \lambda f$$

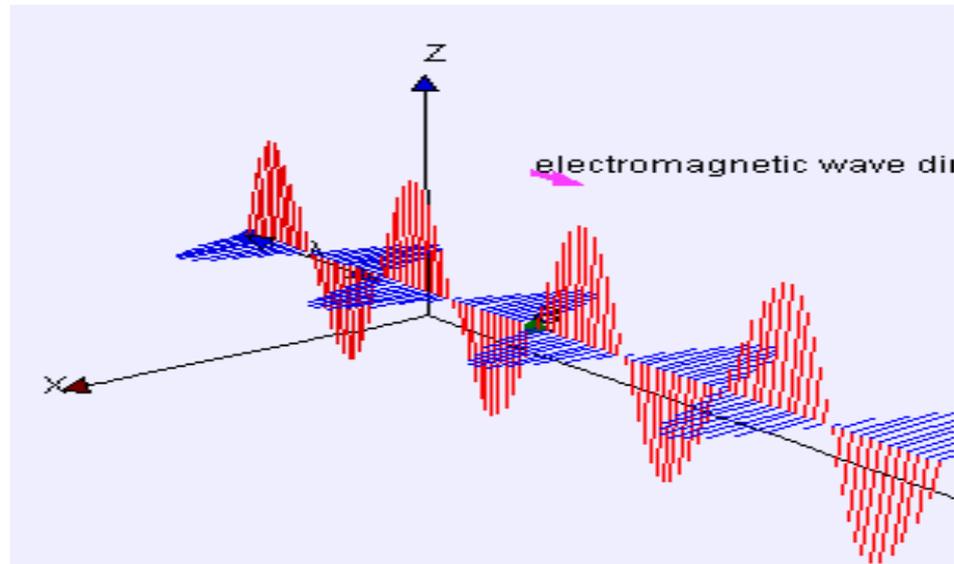


$$Q = \frac{hc}{\lambda}$$

Q é a energia de um quantum (em Joules), h a constante de Planck (6.626×10^{-34} J.s)
f a frequência em Hz (Hertz) e c a velocidade da luz.

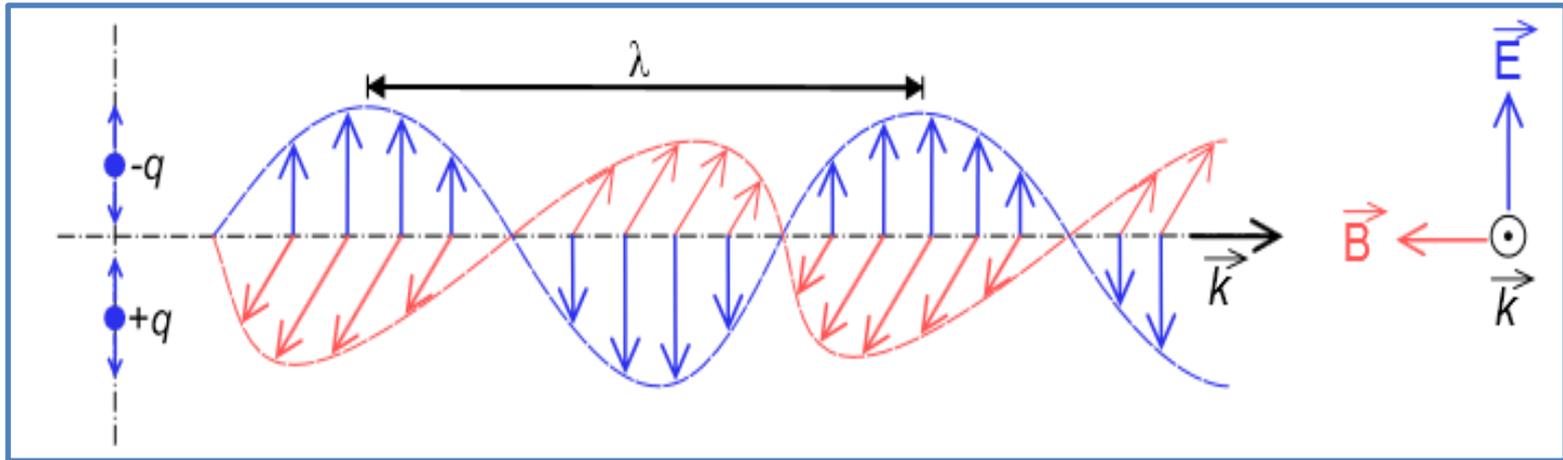
Modelo das Ondas

A teoria das ondas postula que a radiação electromagnética é um processo ondulatório composto por um campo eléctrico e um campo electromagnético perpendiculares entre si e à direcção de propagação.



Synchronized
oscillation of
two fields:
electric and
magnetic

Electromagnetic radiation characteristics



E : campo eléctrico; **B** : campo magnético; **k** : deslocamento

- Frequência (f): número de ondas completas que passam por um ponto por unidade de tempo (segundo)
- Período (T): tempo necessário para uma onda dar uma volta completa pelo mesmo ponto

Equações de Maxwell

Publicadas num artigo "On Physical Lines of Force" em 1861 (reescritas por Oliver Heaviside e Willard Gibbs , que em 1884).

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{j}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_e$$

D: deslocamento

E: campo elétrico

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

H: campo magnético

B: indução magnética

Em que: $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$ é o operador Nabla, usado

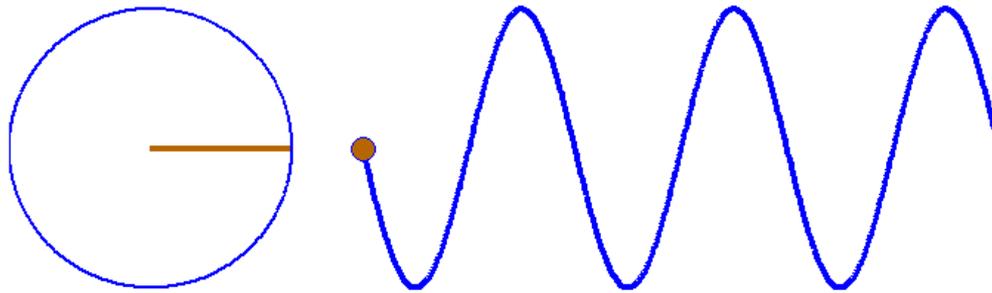
Como rotacional $\nabla \times$ e divergência $\nabla \cdot$,
 \mathbf{j} é a densidade da corrente elétrica e ρ_e a densidade da carga elétrica.

Definições e unidades

Símbolo	Significado (o primeiro termo é o mais comum)	Unidade SI de medida
E	Campo elétrico Também chamado de intensidade de campo elétrico	volt por metro newton por coulomb
B	Campo magnético Também chamado de indução magnética Densidade de campo magnético Densidade de fluxo magnético	tesla weber por metro quadrado, volt-segundo por metro quadrado
D	Campo de deslocamento elétrico Também chamado de indução elétrica Densidade de fluxo elétrico	coulomb por metro quadrado newton por volt-metro
H	Campo magnetizante Também chamado de campo magnético auxiliar Intensidade de campo magnético Campo magnético	ampère por metro
$\nabla \cdot$	Operador divergência	"por metro"
$\nabla \times$	Operador rotacional	"por metro"
$\frac{\partial}{\partial t}$	Derivada parcial com respeito ao tempo	"por segundo" hertz
dA	Elemento vetorial diferencial da superfície "A", com magnitude infinitesimalmente pequena e direção normal à superfície "S"	metro quadrado
dl	Elemento vetorial diferencial do comprimento tangencial à curva	metro
ϵ_0	Permissividade do vácuo , também chamada de constante elétrica , uma constante universal	farad por metro coulomb ao quadrado por newton metro quadrado
μ_0	Permeabilidade do vácuo , também chamada de constante magnética , uma constante universal	henry por metro newton por ampère ao quadrado
ρ_f	Densidade de carga livre (cargas ligadas)	coulomb por metro cúbico
ρ	Densidade de carga total (incluindo cargas livres e ligadas)	coulomb por metro cúbico
J_f	Densidade de corrente livre (não incluindo correntes ligadas)	ampère por metro quadrado
J	Densidade de corrente total (incluindo correntes livres e ligadas)	ampère por metro quadrado
$Q_f(V)$	Rede de cargas elétricas livres dentro de um volume tridimensional V (não incluindo cargas ligadas)	coulomb
$Q(V)$	Rede de cargas elétricas ligadas a um volume tridimensional V (incluindo cargas livres e ligadas)	coulomb

Plane electromagnetic waves

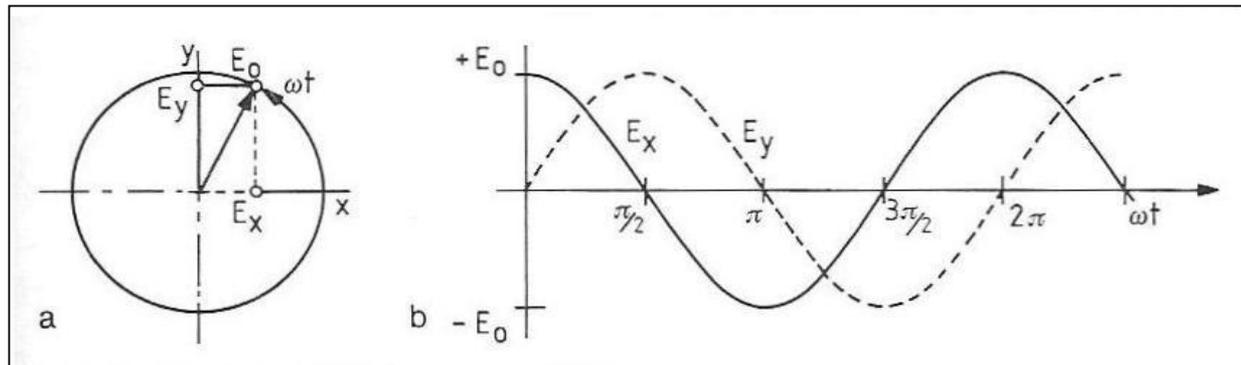
Começemos por considerar uma oscilação fixa no espaço (sem propagação no espaço).



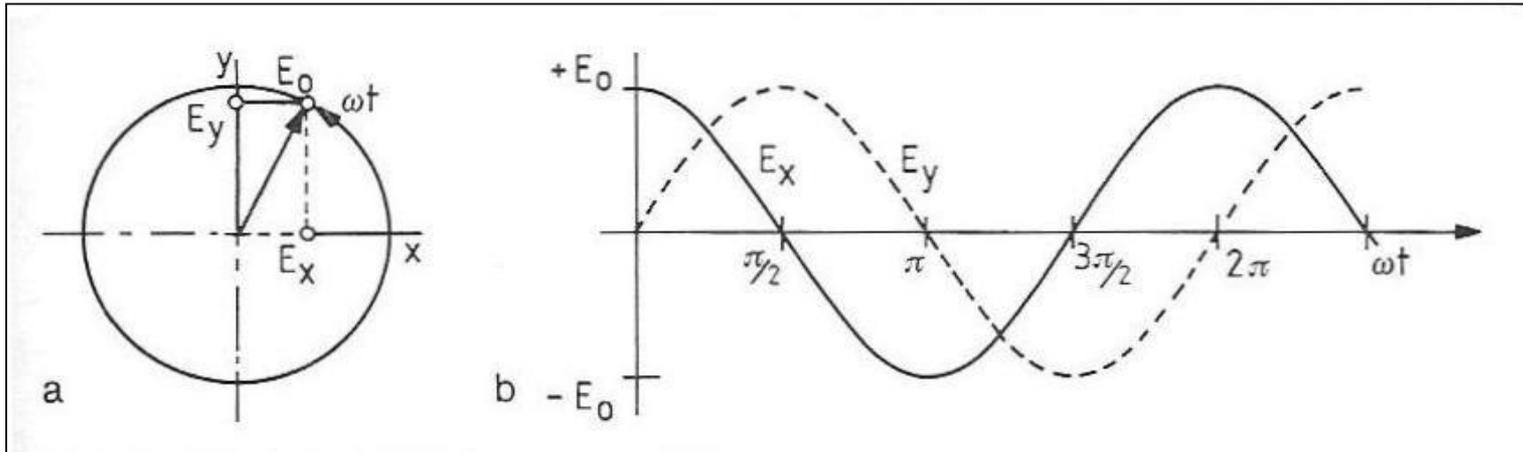
$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} - c_0^2 \nabla^2 \mathbf{E} = 0$$

$$c_0^2 = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}$$

$$\frac{d^2 \mathbf{E}}{dt^2} + \omega^2 \mathbf{E} = 0$$



Plane electromagnetic waves



$$\frac{d^2 \mathbf{E}}{dt^2} + \omega^2 \mathbf{E} = 0$$

Em que \mathbf{E} é o campo elétrico e ω é uma constante (frequência angular). Uma possível solução para esta equação é:

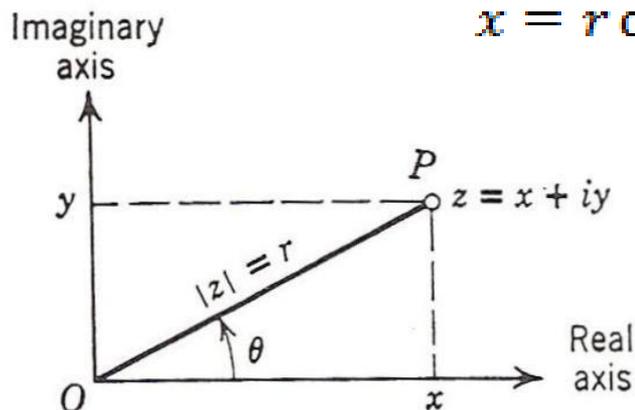
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \cos \omega t$$

Plane electromagnetic waves

Outra possível solução seria: $E = E_0 \sin \omega t$

Para englobar as duas possíveis soluções é usual representar o movimento no plano complexo com o eixo dos xx real e um eixo dos yy imaginário. A solução é:

$$E = E_0 (\cos \omega t + i \sin \omega t) = E_0 \exp (i\omega t)$$

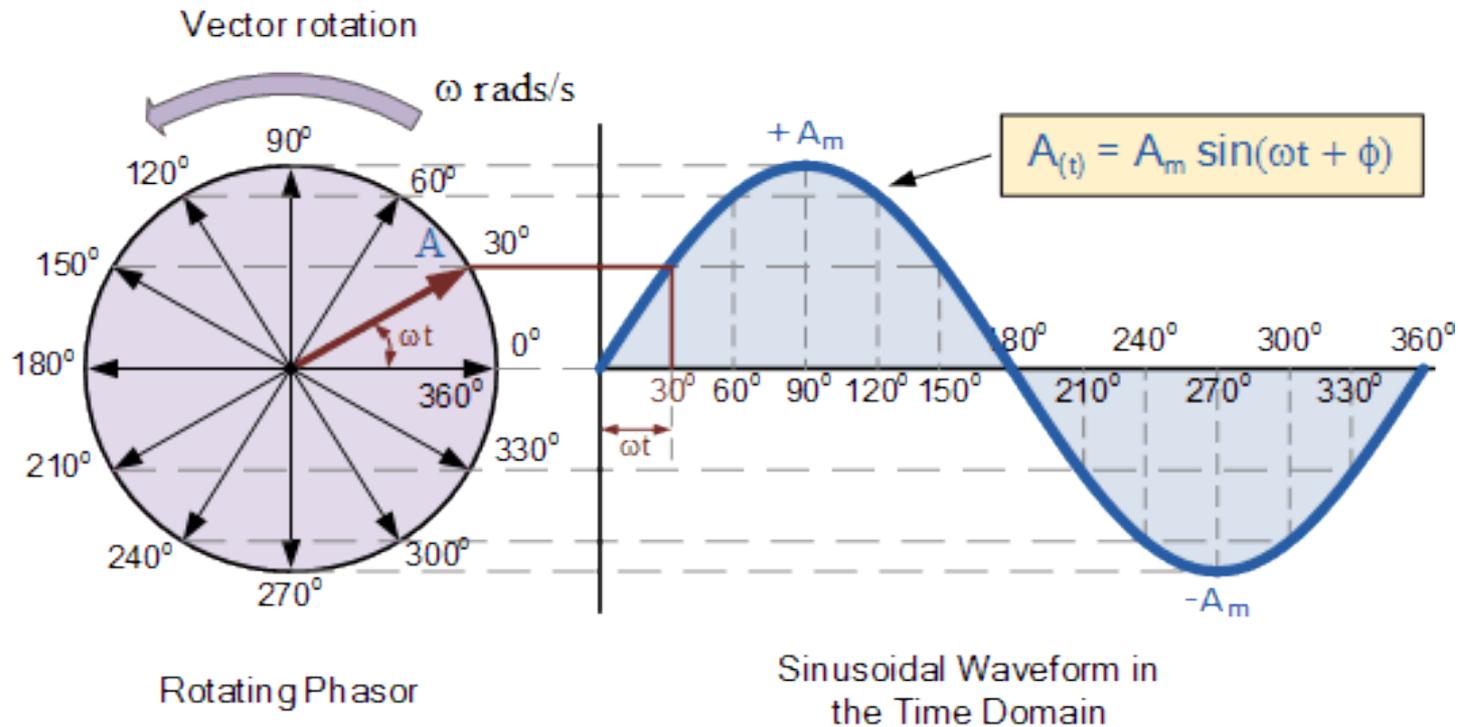


$$x = r \cos \theta; \quad y = r \sin \theta; \quad z = r (\cos \theta + i \sin \theta)$$

$$e^{iy} = \cos y + i \sin y$$

$$z = r e^{i\theta}$$

Plane electromagnetic waves



$$E(t) = E_0 \sin(\omega t + \phi) = E_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \phi\right)$$

A é amplitude; ω é frequência angular; T é o período; ϕ é fase

Radiometric Quantities

Energia Radiante (Q)

(Radiant Energy)

Energia Radiante é a quantidade de radiação eletromagnética recebida ou emitida por um corpo.

Unidades: Joule (J)

Fluxo Radiante (Φ)

$$\frac{dQ}{dt}$$

Radiant flux or
radiant power

O Fluxo radiante (Φ), ou Potencia radiante, é a energia total radiada em todas as direções por unidade de tempo.

Unidades : Watt (W)

(relativo a um elemento pontual, área nula)

Quantidades Radiométricas

Emitância (M)

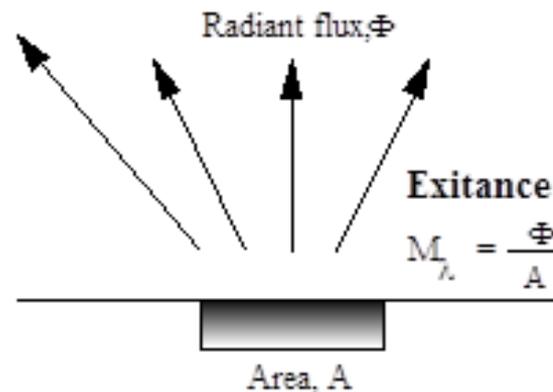
$$\frac{d\Phi}{dA} \text{ (out)}$$

(Emittance: radiant flux emitted by a surface per unit area)

Fluxo emitido por unidade de área

A Emitância (M), é o Fluxo radiante emitido por uma fonte extensa, por unidade de área projetada, **em todas as direções** (sem especificação da direccionalidade)

Unidades: W m⁻²
(Watt por metro quadrado)



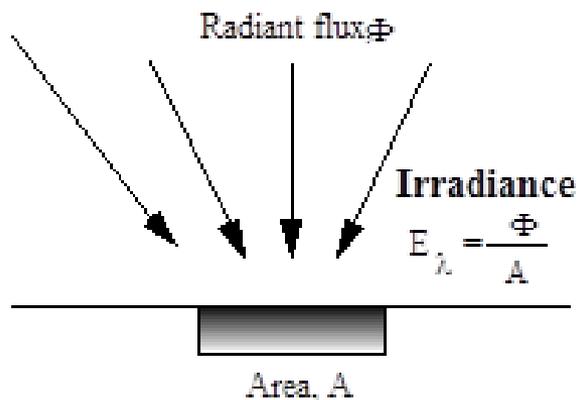
Quantidades Radiométricas

Irradiância (E)

$$\frac{d\Phi}{dA} \text{ (in)}$$

Irradiância (E) é a energia radiada numa unidade de área incidente numa superfície elementar. A potência recebida por unidade de área é fundamental para definir a SNR (relação sinal ruído) da imagem (muito mais do que saber a potência total recebida). Grandeza hemisférica.

Unidades: $W m^{-2}$
(Watt por metro quadrado)



Fluxo incidente por
unidade de área

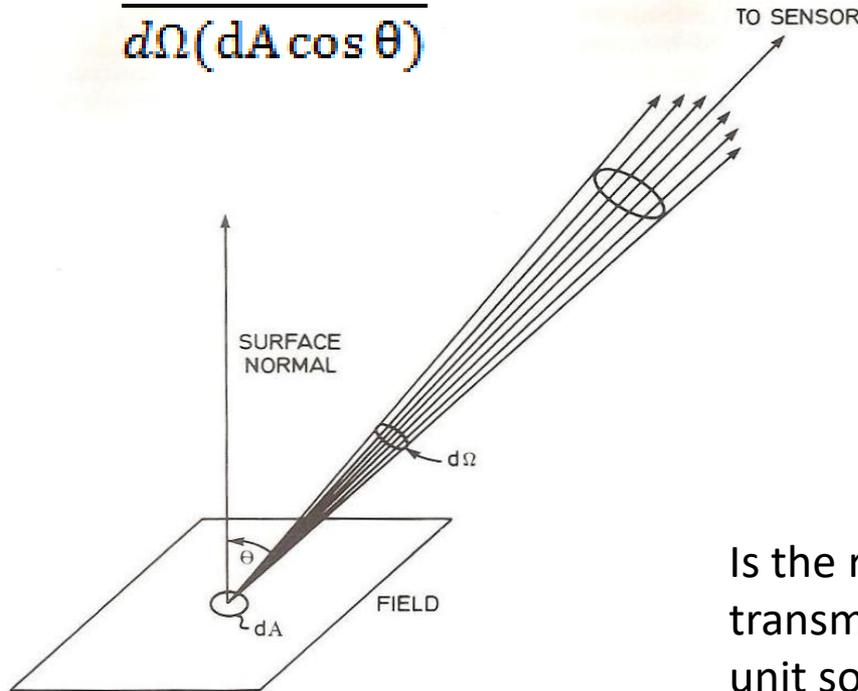
radiant flux *received* by a *surface* per unit area

Quantidades Radiométricas

Radiância (L)

Radiância (L) é o fluxo radiante por unidade de ângulo sólido que é emitido ou transmitido por unidade de área projetada. Grandeza cônica.

$$\frac{d\Phi}{d\Omega(dA \cos \theta)}$$



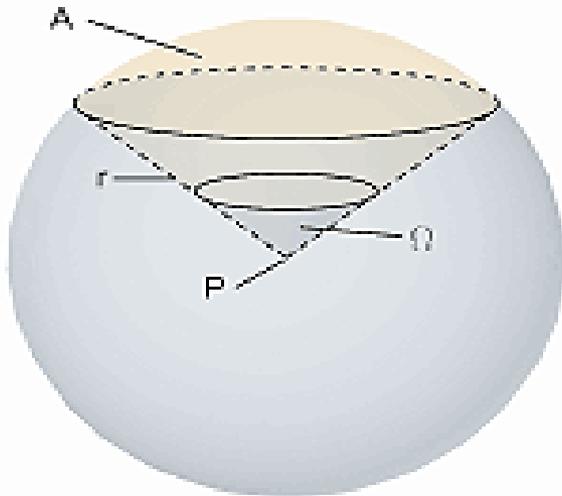
A Radiância é um dos termos mais importantes em Detecção Remota. É a energia que chega ao sensor.

Unidades : $W m^{-2} sr^{-1}$

Is the radiant flux emitted, reflected, transmitted or received by a given surface, per unit solid angle per unit projected area.

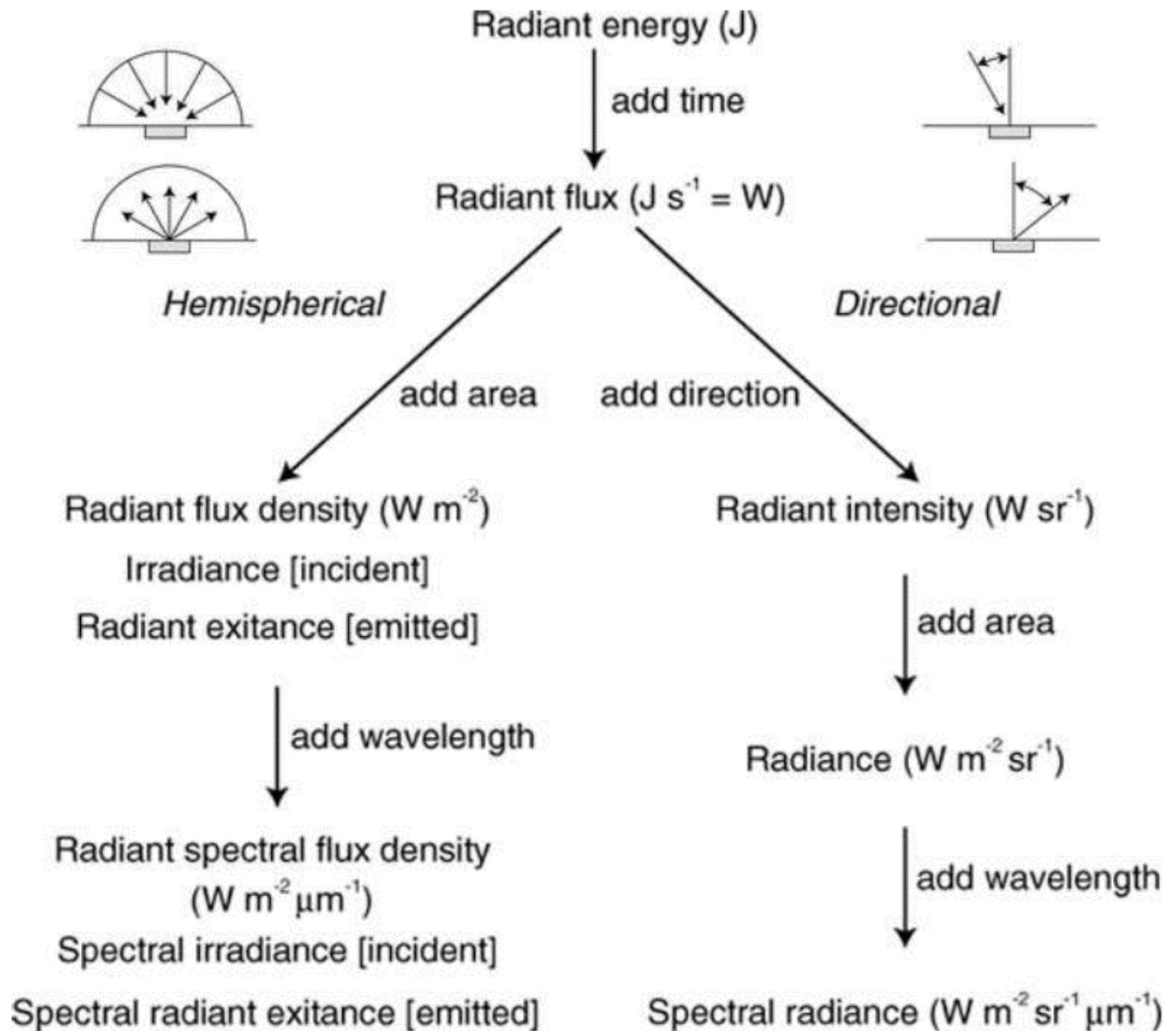
Angulo Sólido

O ângulo sólido Ω é definido como o ângulo (sólido) subjacente a uma área "A" na superfície de uma esfera dividida pelo quadrado do raio da esfera e é dado em unidades de esterradiano (sr).



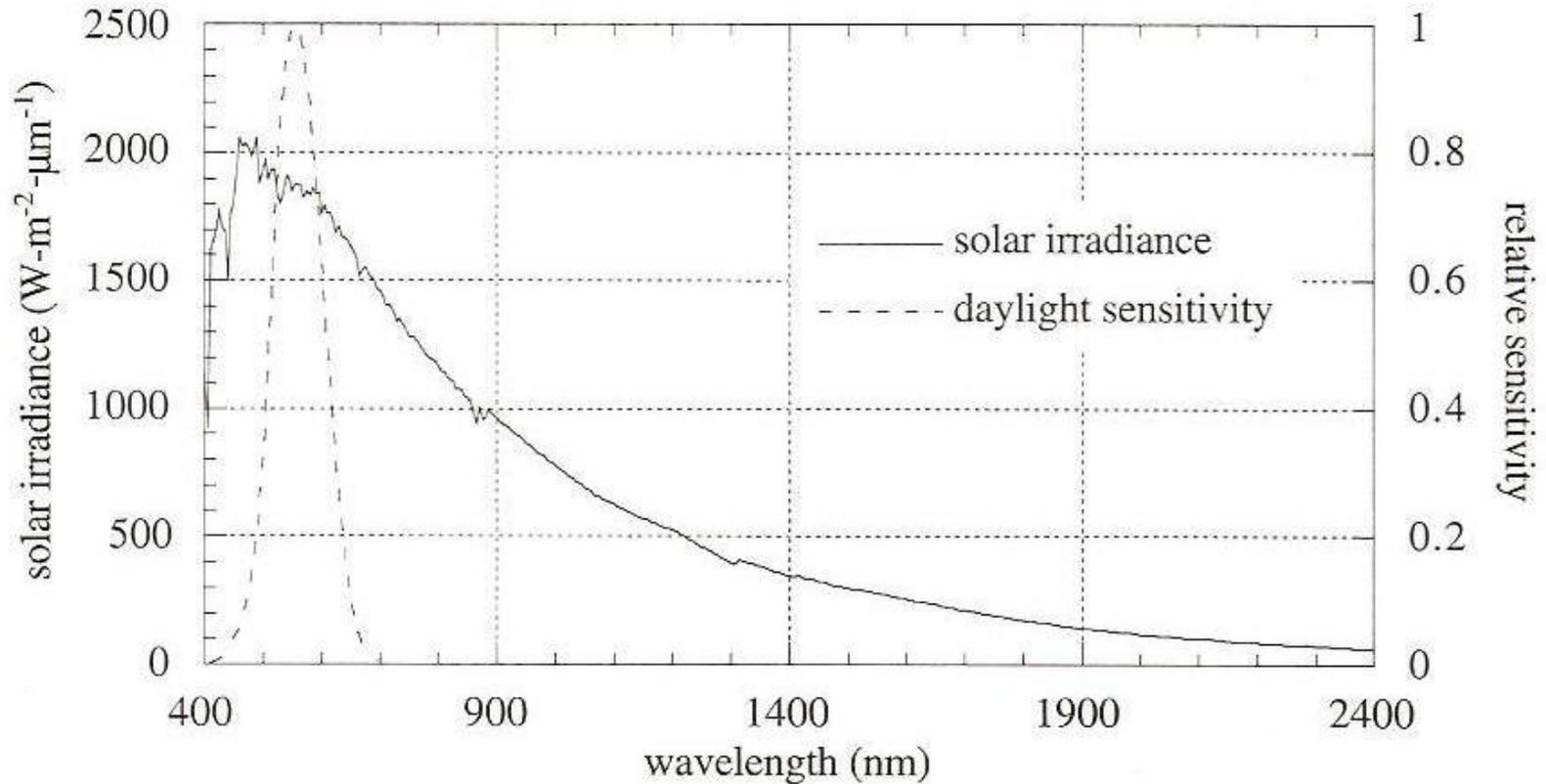
$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

A : área da superfície da esfera
r : raio da esfera
 Ω : ângulo sólido





Spectral Solar Irradiance



(Top of atmosphere)

Thermal Radiance

Todos os corpos com temperatura superior a 0°K emitem radiação com comprimento de onda λ variável no espectro eletromagnético.

A quantidade de energia (radiância) que um objeto radia é função da temperatura do corpo e é dada pela Lei de Planck do corpo negro:

$$L_\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Usualmente com
unidades:
 $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{Hz}^{-1}$

em que k é a constante de Boltzman, $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$, e h é a constante de Planck ($6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$), ν é a frequência.

Thermal Radiance

A equação de Planck pode ser expressa em termos de comprimento de onda em vez de frequência e neste caso a **Radiância Espectral** é dada por:

$$L_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad Wm^{-3}sr^{-1}$$

Desenvolvendo em série $e^{\frac{hc}{\lambda kT}} = 1 + \frac{hc}{\lambda kT}$

e substituindo na equação de Planck obtemos:

$$L_{\lambda} = \frac{2 \cdot c \cdot k \cdot T}{\lambda^4}$$

Aproximação de Rayleigh-Jeans

Sources of electromagnetic radiation

Integrando a função de Planck em todos os comprimentos de onda (ou frequências) obtemos a Lei de Stefan-Boltzman:

$$L = \int_0^{\infty} L_{\lambda} d\lambda = \frac{2k^4\pi^4}{15 c^2 h^3} T^4$$

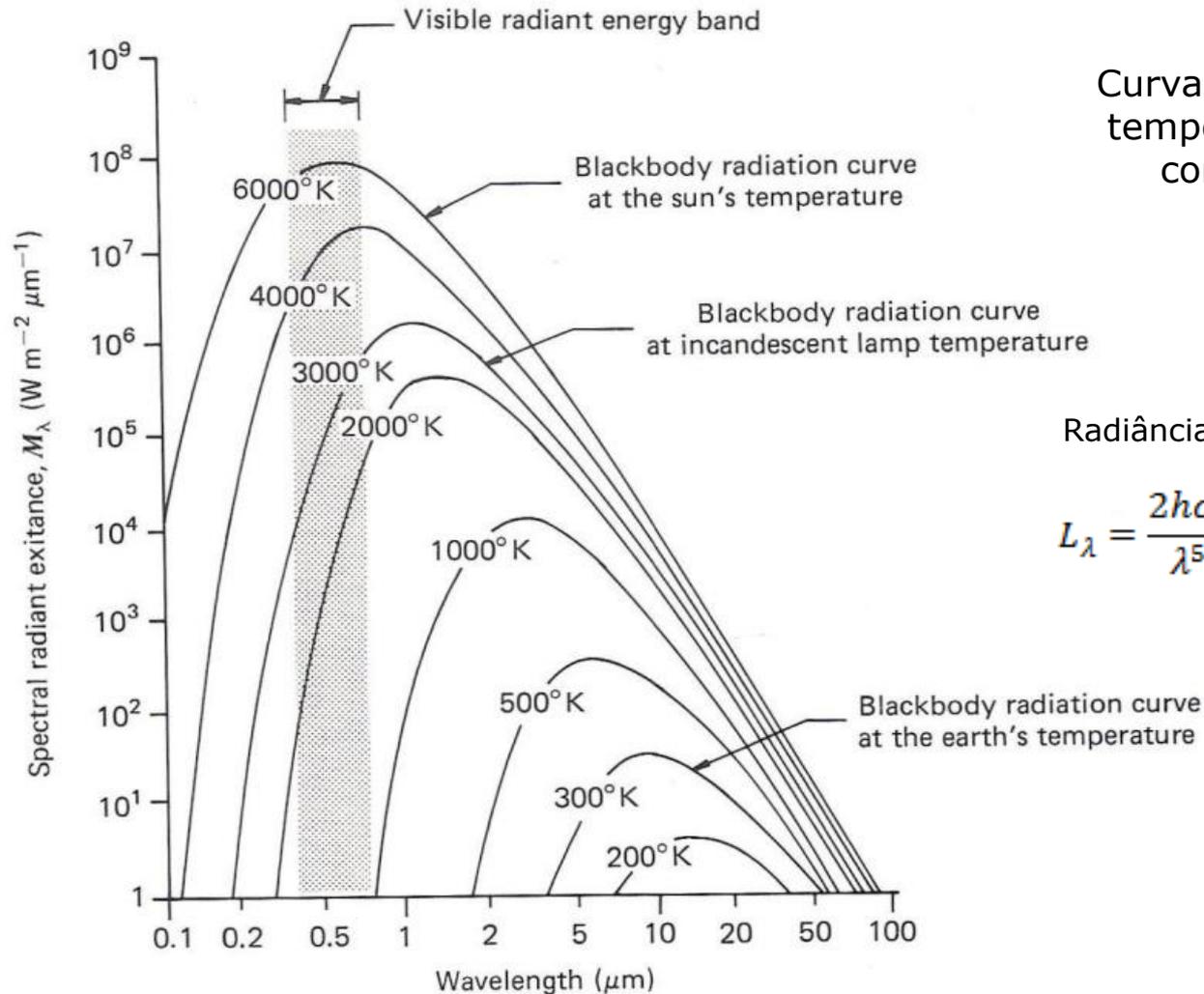
Integrando em todas as direções, obtemos:

$$\text{(Emittance)} \quad M = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta \cos \theta L d\theta = \sigma T^4 \quad W m^{-2}$$

Com $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ (W m}^{-2} \text{ K}^{-4}\text{)}$, constante de Stefan-Boltzman e T a temperatura em K.

$$(M_{\lambda} = \pi L_{\lambda})$$

Sources of electromagnetic radiance

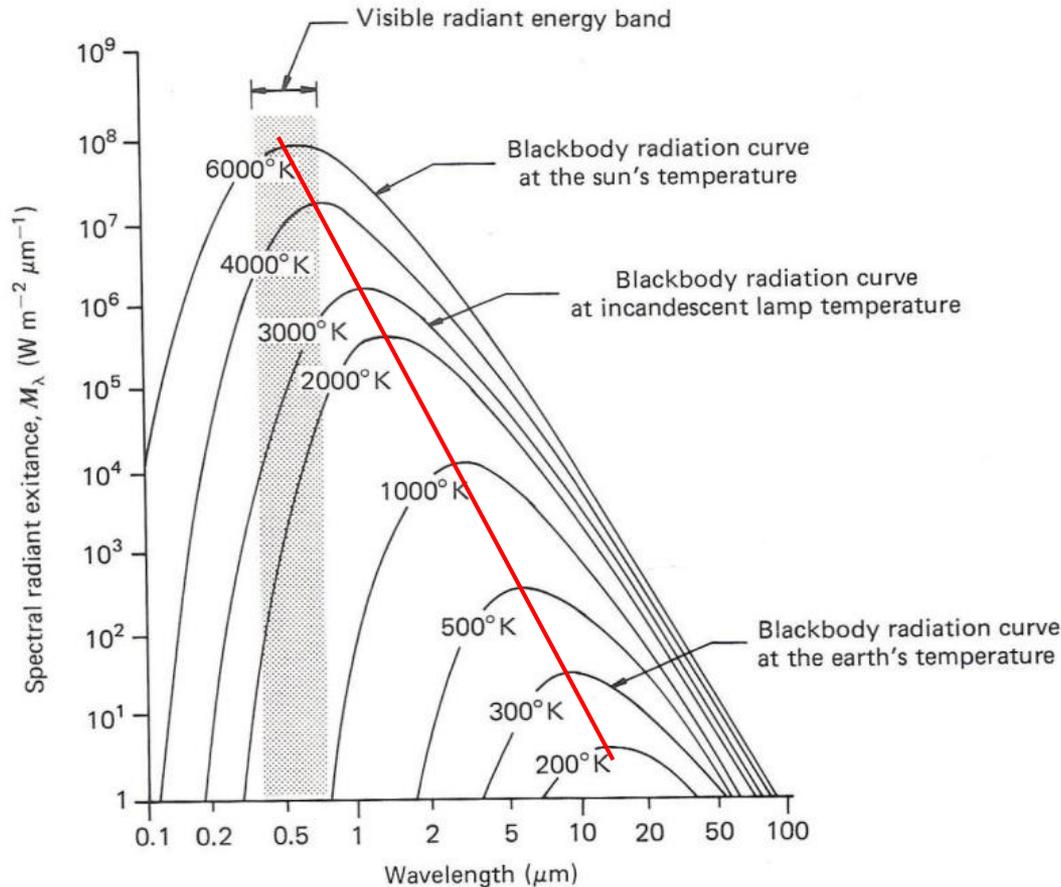


Curvas de Planck para várias temperaturas em função do comprimento de onda

Radiância espectral

$$L_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad \text{Wm}^{-3}\text{sr}^{-1}$$

Sources of electromagnetic radiance



O comprimento de onda para o qual a curva atinge o máximo está relacionada com a sua temperatura pela lei do deslocamento de Wien's.

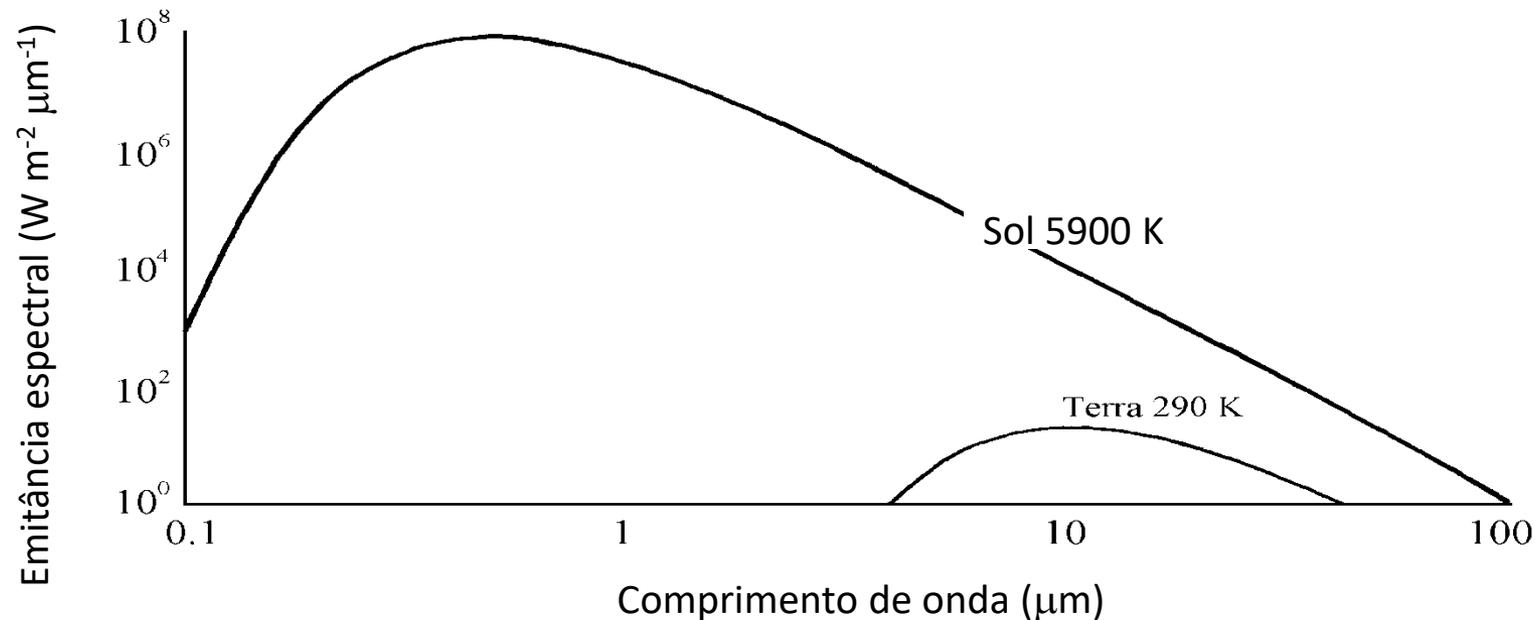
Esta lei é obtida calculando o máximo da curva de Planck é:

$$\lambda_{max} = \frac{2898 (\mu\text{m} \cdot \text{K})}{T (\text{K})}$$

Temperatura de cor

Sources of electromagnetic radiance

Curvas da emitância espectral de dois corpos com temperaturas próximas do Sol e da Terra

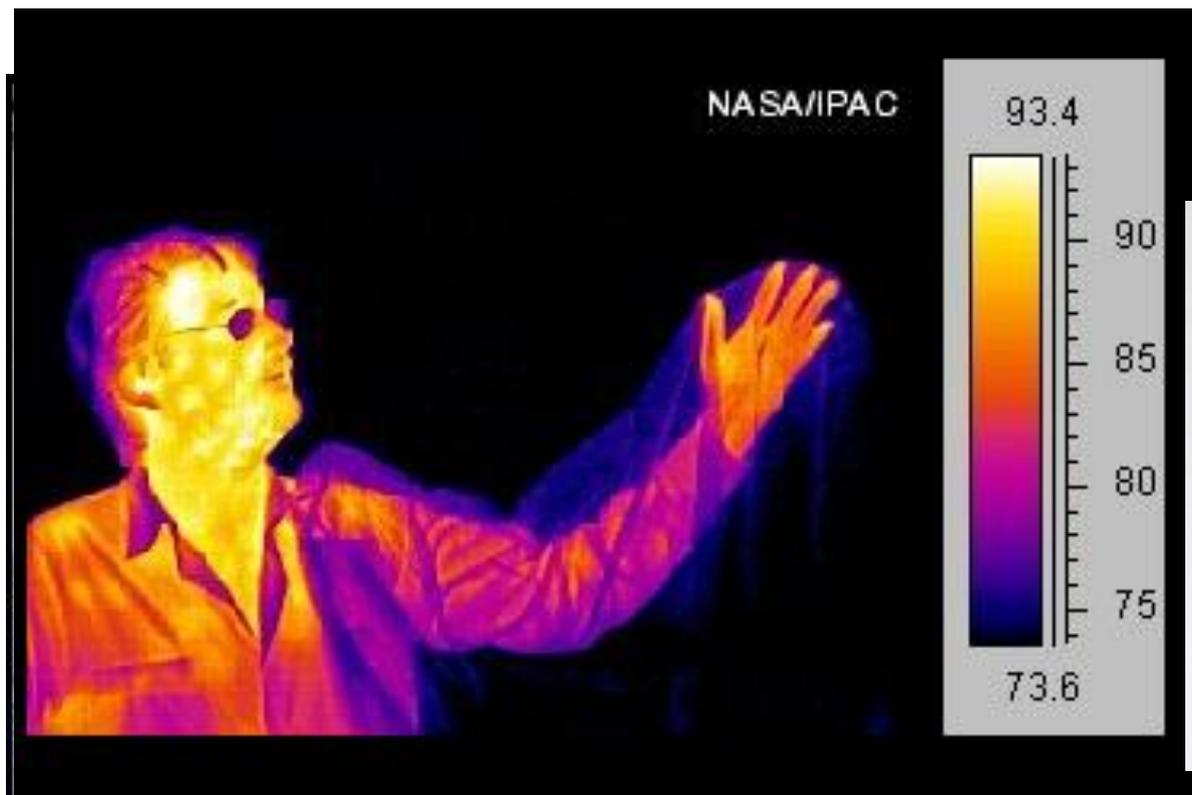


Para a Terra, $T=290\text{K} \rightarrow \lambda_{\text{max}} = 9.7 \mu\text{m}$ (infravermelho térmico).
Para o Sol o valor de comprimento de onda dominante é $0.480 \mu\text{m}$ (amarelo) .



1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10000 11000 12000

Color of a black body from 800 K to 12200 K. This range of colors approximates the range of colors of stars of different temperatures, as seen or photographed in the night sky.



Radiação dos materiais reais e emissividade

Os materiais reais não se comportam como o corpo negro.

Emitem apenas uma fração da radiação emitida por um corpo negro a uma temperatura equivalente. Este facto é tido em consideração pela quantidade EMISSIVIDADE, ou coeficiente de emissividade(ε)

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{\text{Emitancia radiante do objecto a uma dada temperatura}}{\text{Emitancia radiante do corpo negro à mesma temperatura}} = \frac{M_{\lambda}}{M_{\lambda}(\text{corpo negro})}$$

A emissividade (ε) é uma medida da capacidade de emissão de energia por radiação da sua superfície. A emissividade tem valores entre 0 e 1.



Emissividade

A emissividade depende do comprimento de onda, da temperatura e de algumas propriedades físicas do material como a concentração de água ou densidade

Material	Average Emissivity over 8-14 μm
Clear water	0.98 - 0.99
Healthy green vegetation	0.96 - 0.99
Dry vegetation	0.88 - 0.94
Asphaltic concrete	0.94 - 0.97
Basaltic rock	0.92 - 0.96
Granitic rock	0.83 - 0.87
Dry mineral soil	0.92 - 0.96
Polished metals	0.06 - 0.21

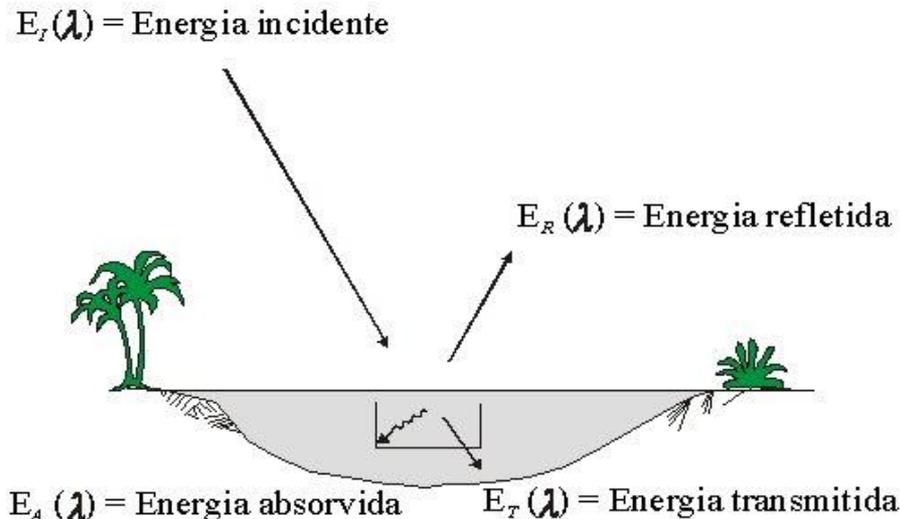
Source: Lillesand et al. (2008)

Interação da radiação com a matéria

Quando a radiação eletromagnética incide na superfície terrestre, podem ocorrer três tipos de interação : a energia é **refletida**, **absorvida** e/ou **transmitida**.

Aplicando o princípio da conservação da energia , podemos estabelecer a relação entre as três interações como:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (\text{Irradiância})$$



Dividindo por E_I obtemos:

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

ρ
Razão entre a energia refletida e a energia incidente

Interacção da radiação com a matéria

Refletância

reflectance

A reflectância (ρ) é a razão entre o fluxo radiante refletido e o incidente.

$$M_r = \rho E_i$$

Absorvidade

absorptance

A Absorvidade (α) é a razão entre o fluxo radiante absorvido e o incidente.

Transmissividade

transmittance

A Transmissividade (τ) é a razão entre o fluxo radiante transmitido e o incidente.

Interação da radiação com a matéria

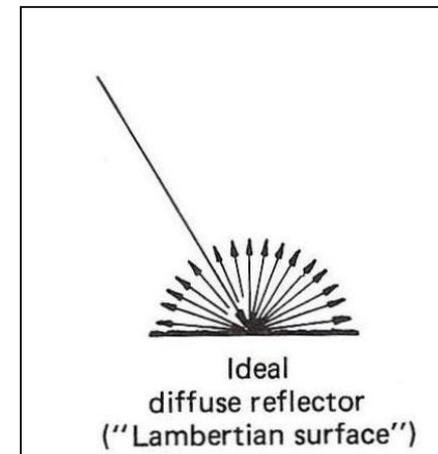
Para uma superfície Lambertiana a relação entre **radiância** espectral (grandeza “cónica”) e **emitância** espectral (grandeza “hemisférica”) é dada por

$$M_{\lambda} = \pi L_{\lambda}$$

e a reflectância espectral é dada por:

$$\rho_{\lambda} = \pi \frac{L_{\lambda}}{E_{\lambda}} \rightarrow \text{Irradiância (incidente)}$$

↓
Radiância (refletido)



Infravermelho Térmico

De acordo com a lei da radiação de Kirchhoff $\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$

A emissividade espectral de um corpo negro é igual à sua absorção espectral: “good absorbers are good emitters” .

De acordo com esta lei: $\epsilon_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$

Uma vez que a maioria dos corpos são opacos para a radiação do infravermelho térmico:

$$\epsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Quanto maior a reflectancia no infravermelho térmico menor é a emissividade do corpo.



Infravermelho Térmico

Se for conhecida a emissividade de um material, a sua temperatura absoluta (temperatura cinética, T_{kin}) pode ser obtida da radiação que emite.

Se a emissividade não é conhecida, só poderemos conhecer a temperatura de brilho do material.

Uma vez que é válida a relação

$$T_{rad} = \varepsilon T_{kin}$$

A temperatura radiante (temperatura de brilho) de um material real é sempre menor que a sua temperatura cinética. No entanto, para um corpo negro verifica-se:

$$T_{rad} = T_{kin}$$

Temperatura de brilho

A relação entre a emitância a temperatura é dada pela expressão:

$$M = \sigma T^4$$

$$T_{rad} = \left(\frac{\pi L_{\lambda}}{\sigma} \right)^{1/4}$$

$$T_{kin} = \frac{T_{rad}}{\varepsilon}$$

$$M_{\lambda} = \pi L_{\lambda}$$

$$L_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)}$$

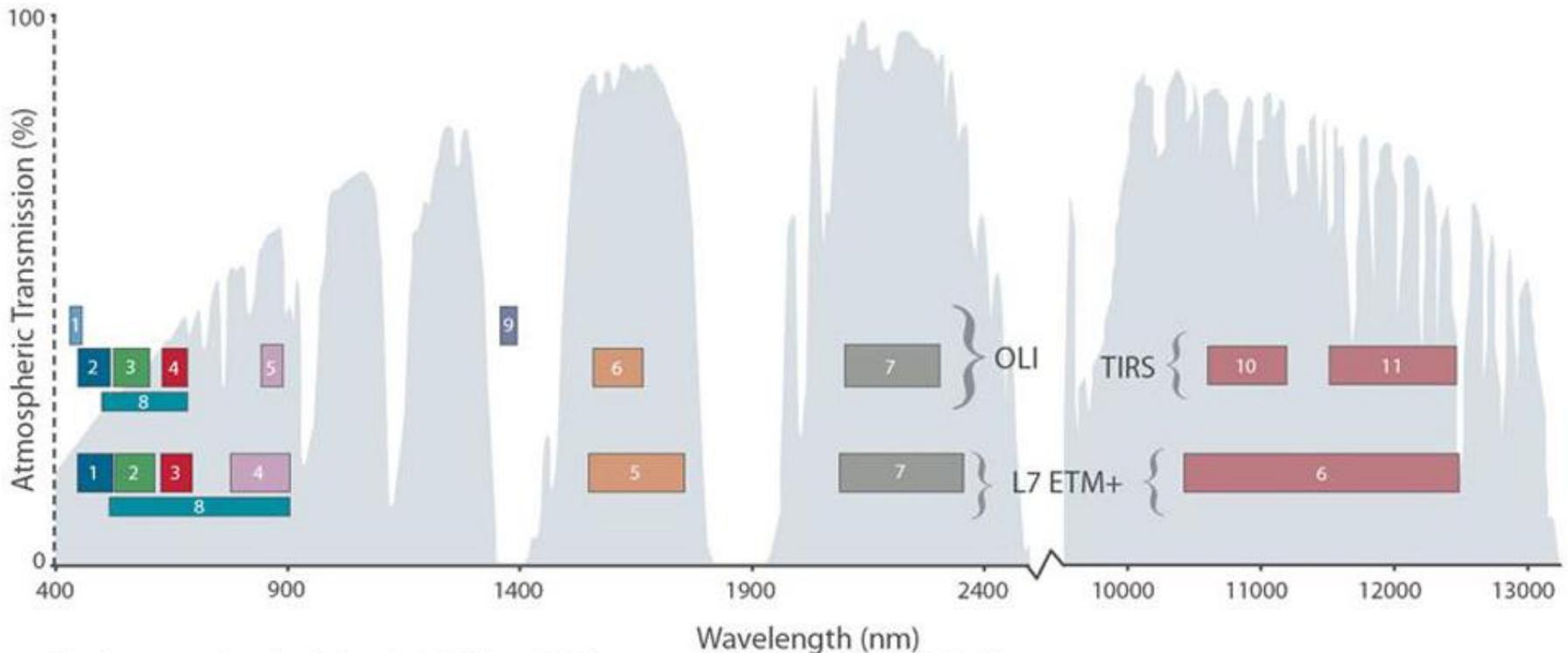
$$L_{\lambda} = \frac{2 \cdot k \cdot T}{\lambda^2}$$

A radiância espectral é dada pela formula de Planck



Infravermelho Térmico

Sensor Systems operating in the thermal IR Region



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).

wavelength [μm]

Banda 8,
Pancromático

N



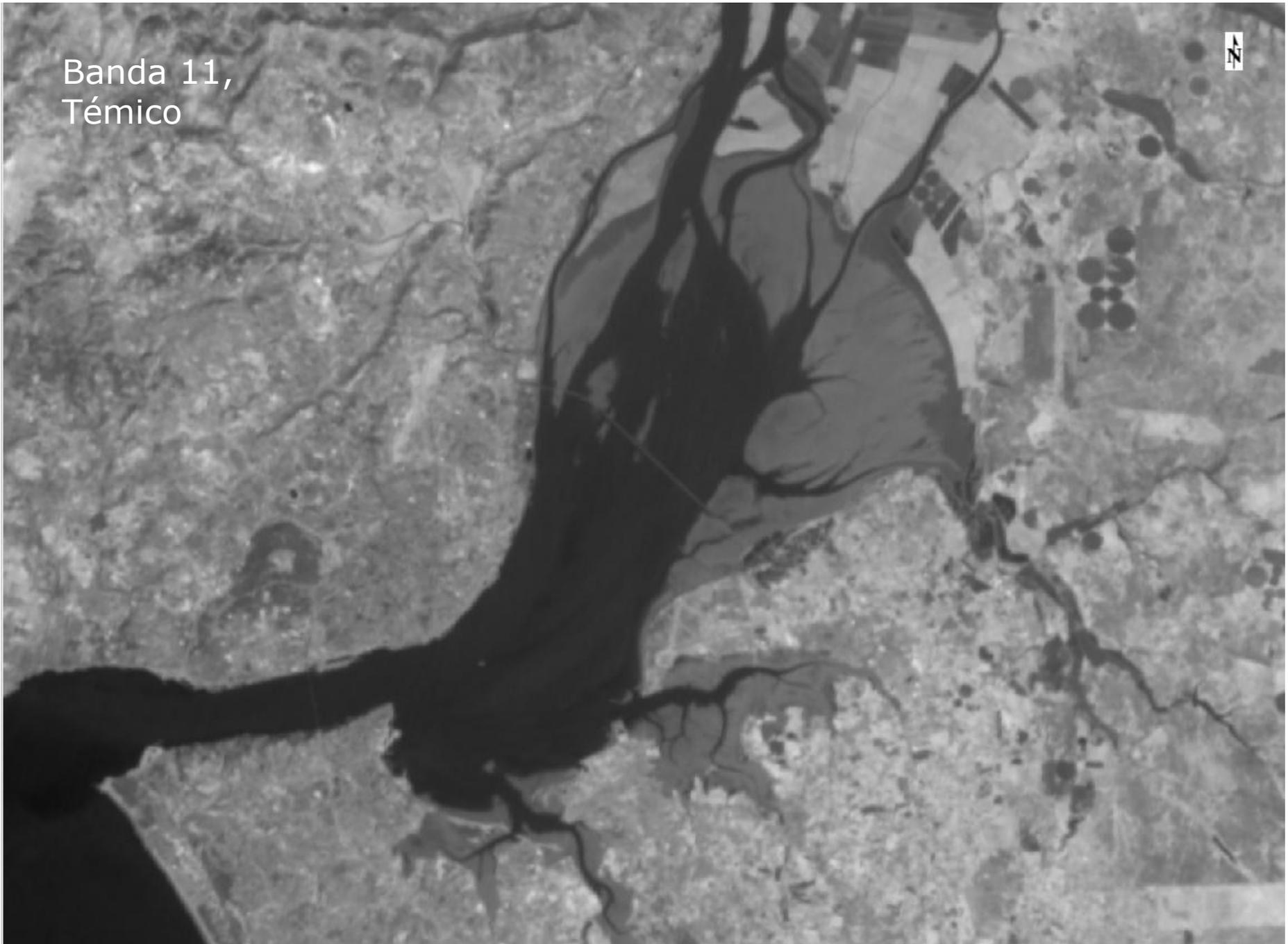
Banda 5,
Infra vermelho Próximo



Banda 6,
Infra vermelho



Banda 11,
Témico





Ciências
ULisboa

Infravermelho Térmico

Radiation of real Materials

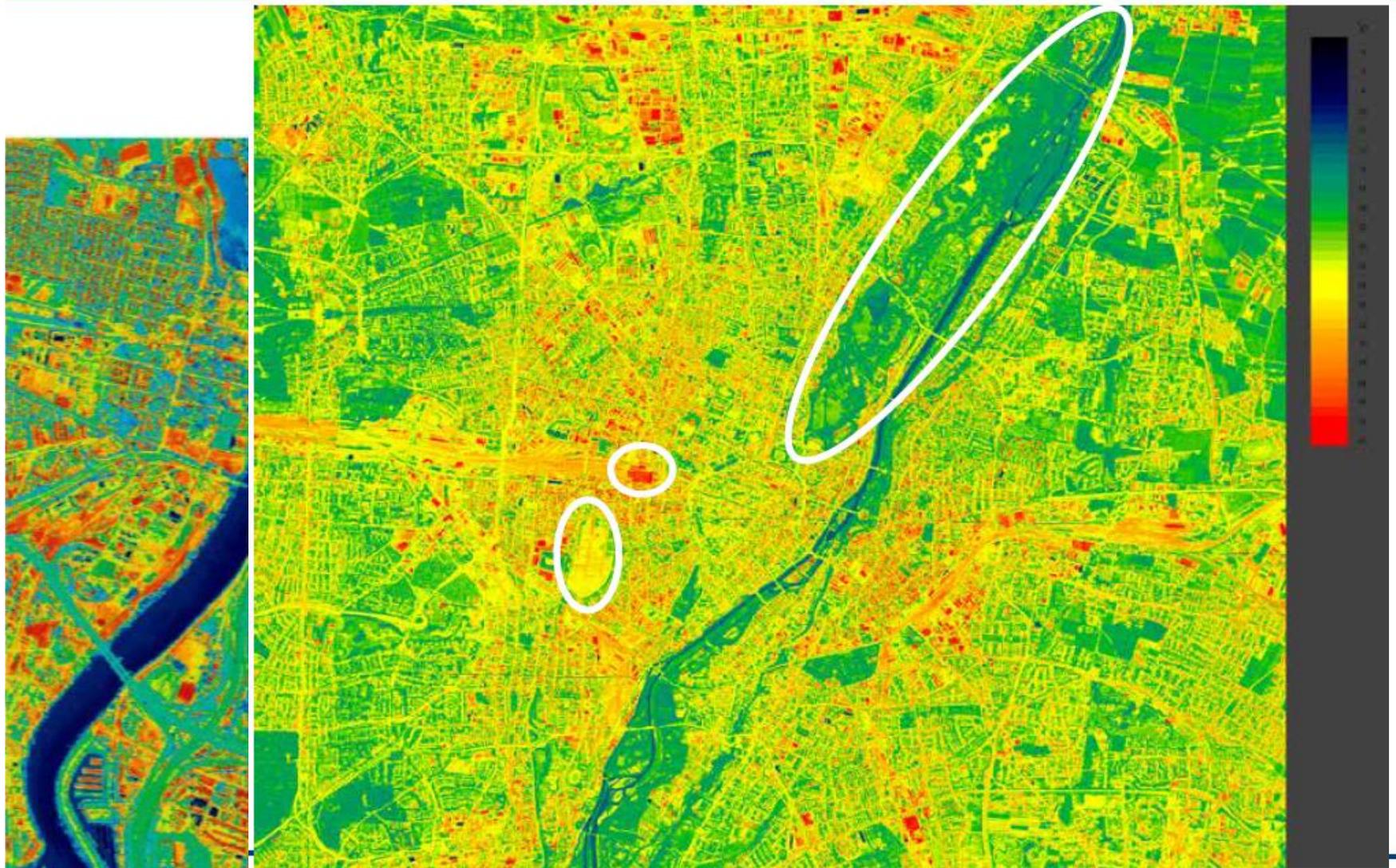
visible (left) vs. thermal IR (right), Sacramento, CAL, USA





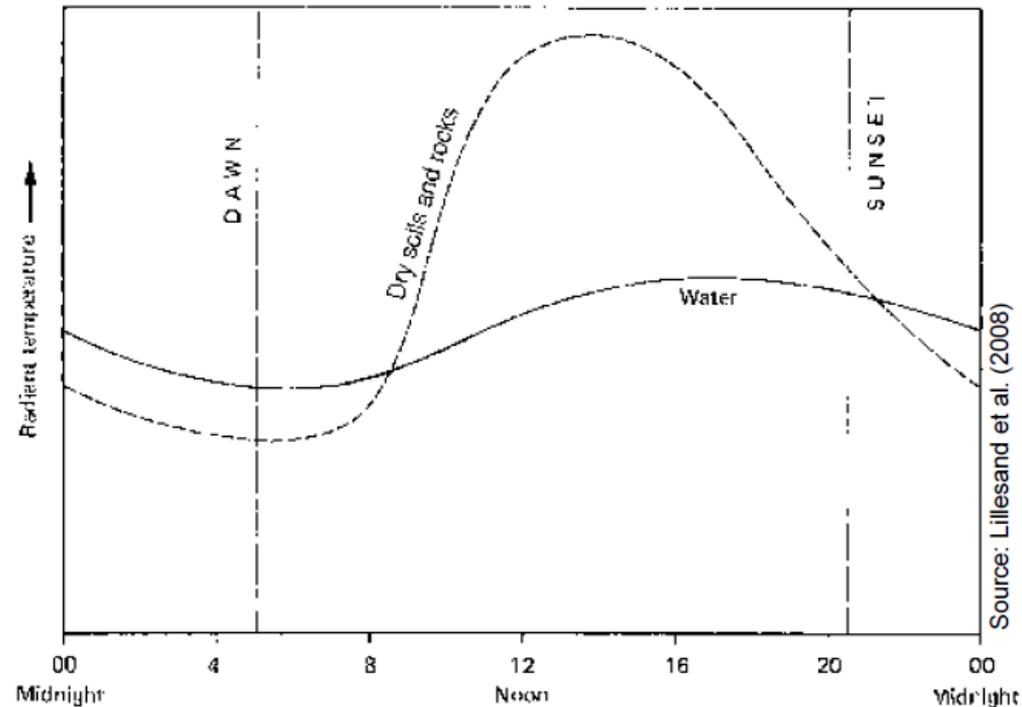
Ciências
ULisboa

Infravermelho Térmico



Diurnal Temperature Variation

Each terrain element shows a distinctive **diurnal temperature cycle** determined by the interaction between the **thermal inertia** of the object and the history of the **incoming radiation** from the sun.



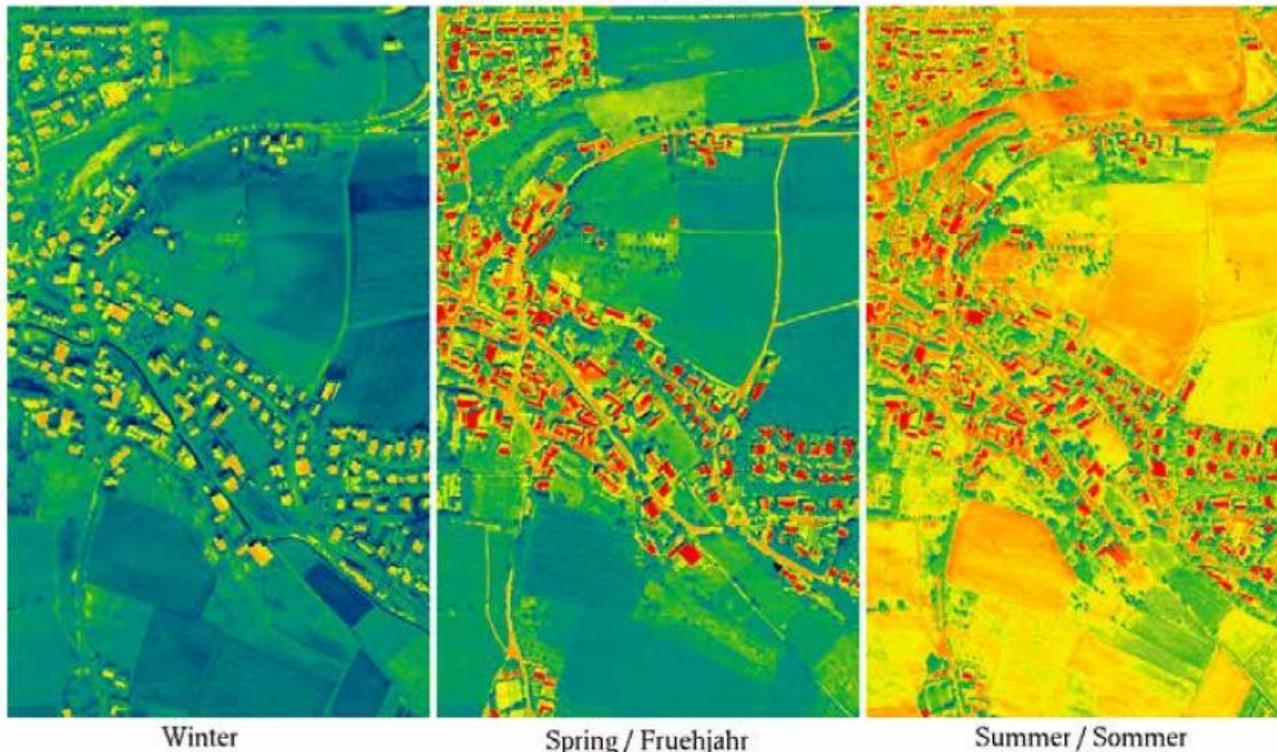
→ The effects of diurnal temperature variation has to be taken into consideration by mission planning and image interpretation.



Infravermelho Térmico

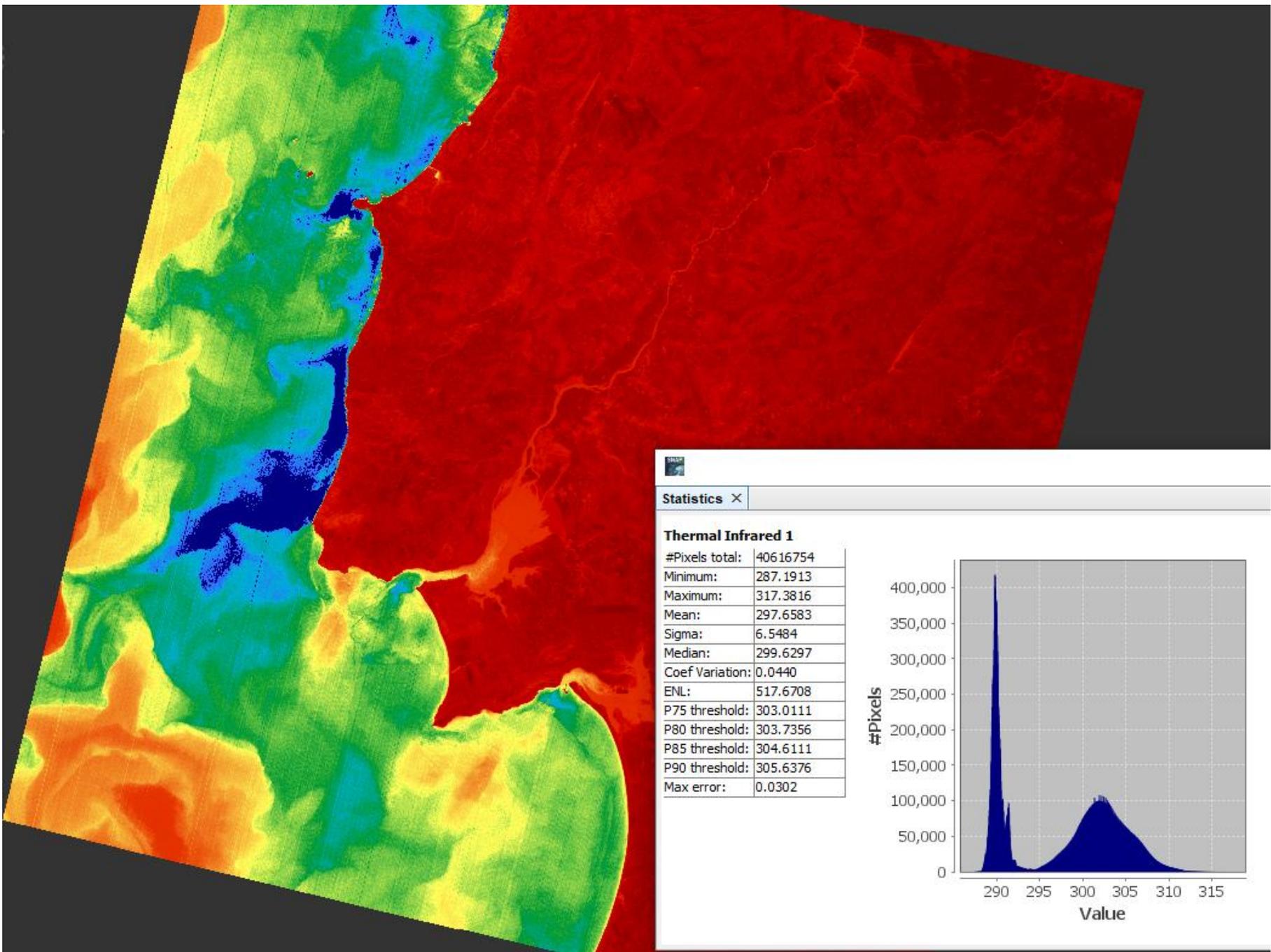
Intra-Annual Temperature Variation

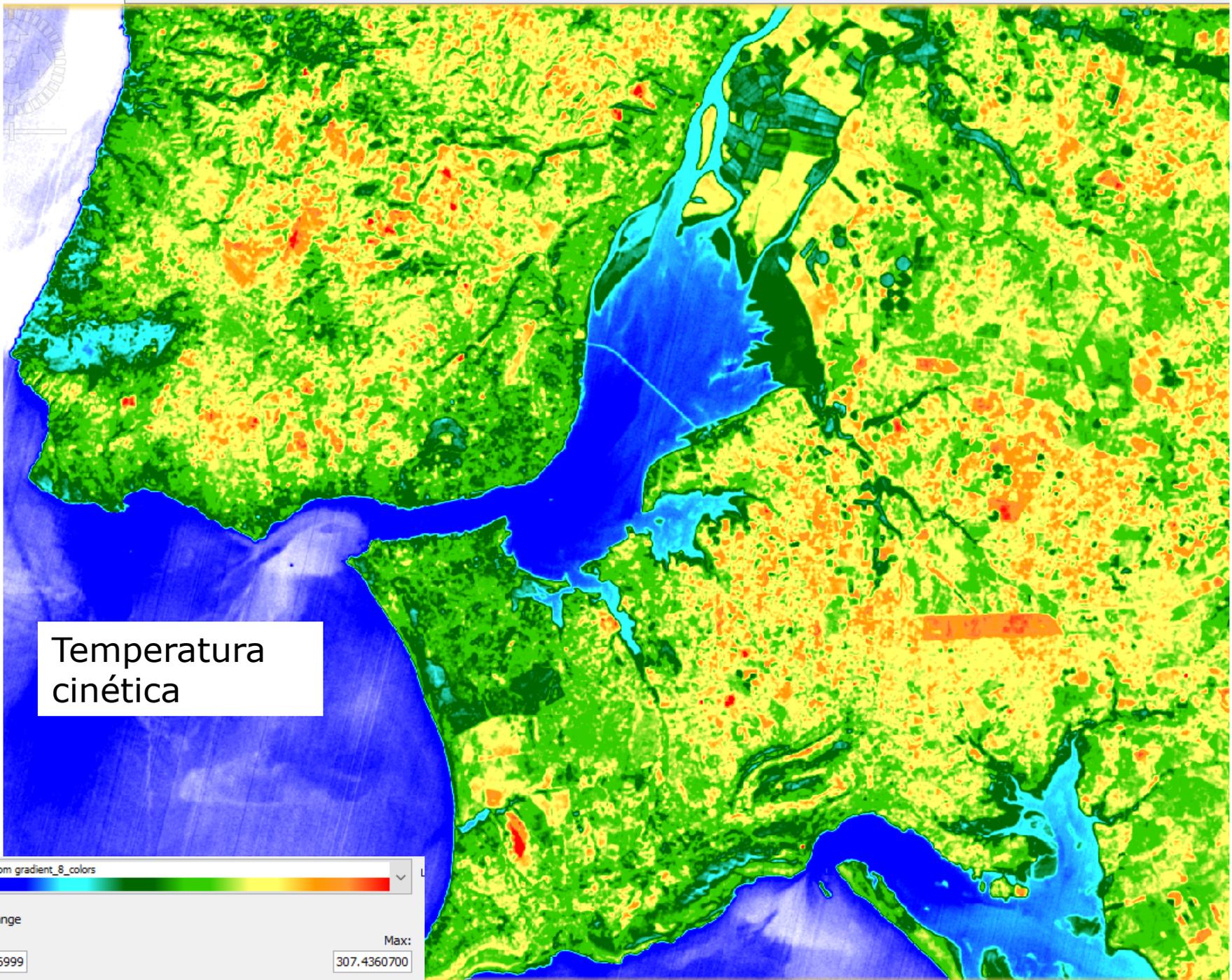
Thermal map at different seasons
Thermalkarte zu verschiedenen Jahreszeiten
Gemeinde DAHL, Kr. Paderborn



DAEDALUS –Scanneraufnahme aus 300m Flughoehe
Georeferenz: Gauss – Krueger
Pixelgrosse : 0.8m x 0.8m







Temperatura
cinética

derived from gradient_8_colors

Display range
Min: 288.8006999 Max: 307.4360700



Ciências
ULisboa



DETAILS

RELATED

Climate change exacerbates droughts by making them more frequent, longer, and more severe. This can have a wide range of impacts on the environment, agriculture, ecosystems and communities including water scarcity, crop failure and food shortages.

The upcoming Copernicus Land Surface Temperature Monitoring, LSTM, mission will improve sustainable agricultural productivity in a world of increasing water scarcity and variability.

The mission will carry a high spatial-temporal resolution thermal infrared sensor to provide observations of land-surface temperature.

These data are key to understand and respond to climate variability, manage water resources for agricultural production, predict droughts and also to address land degradation.

LSTM is one of six Copernicus Sentinel Expansion missions that ESA is developing on behalf of the EU. The missions will expand the current capabilities of the Copernicus Space Component – the world's biggest supplier of Earth observation data.

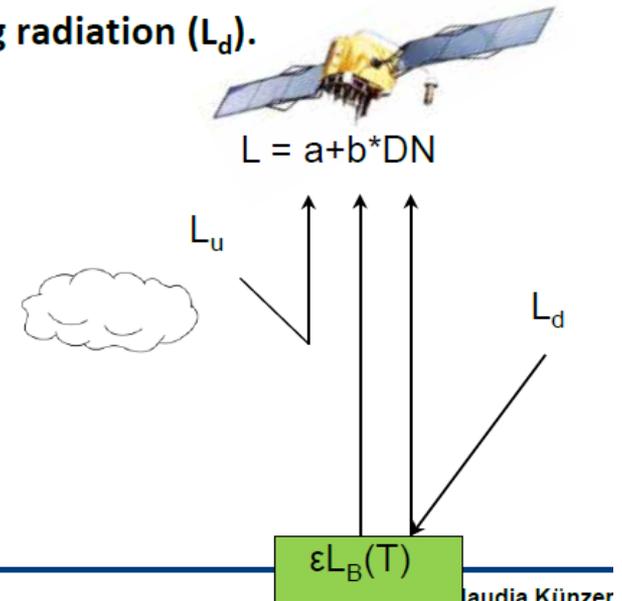
Infravermelho Térmico

Influence of the Atmosphere on the thermal IR Signal

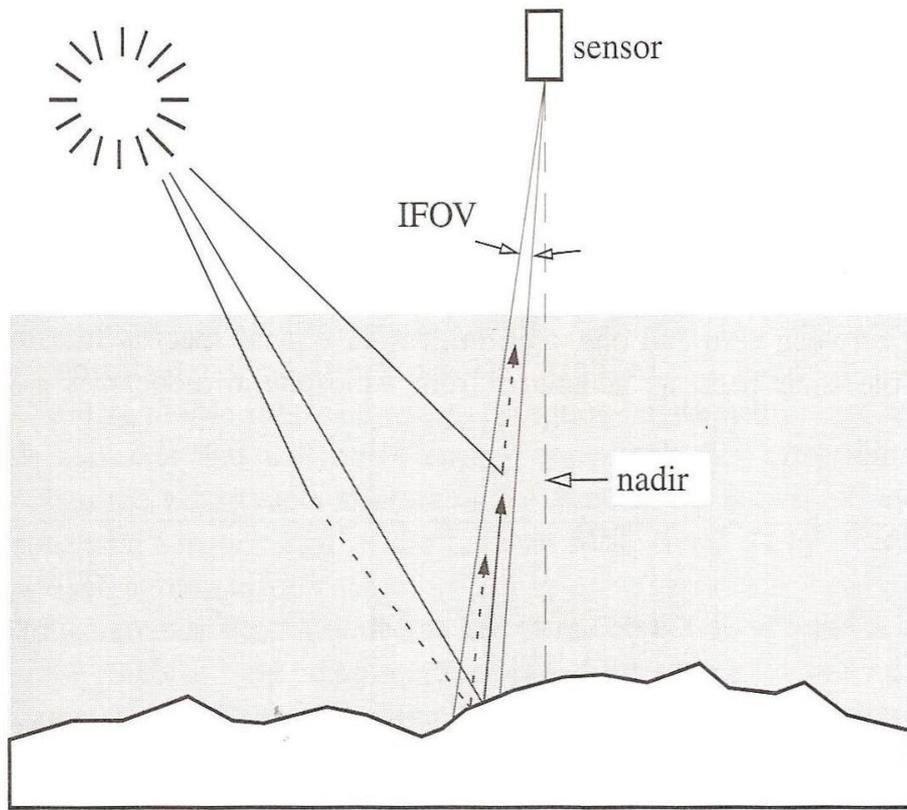
Scattering processes are negligible in the thermal IR region because of the long wavelength, but atmospheric absorption and emission by water vapor, CO₂ and O₃ are prevalent. Within atmospheric windows effects are less severe. However, signal recorded at the sensor (L) consist of the radiation emitted from the terrain element (ϵL_B) modified by the transmission of the atmosphere (τ), the atmospheric upwelling radiation (L_u) and the atmospheric reflected downwelling radiation (L_d).

Atmospheric correction methods:

- - Empirical line method (ELM)
- - Radiative transfer model (RTM)
-



Atmospheric interaction



unscattered, radiação refletida pela superfície

$$L_{\lambda}^{su}$$

down-scattered, luz do céu, refletida pela superfície

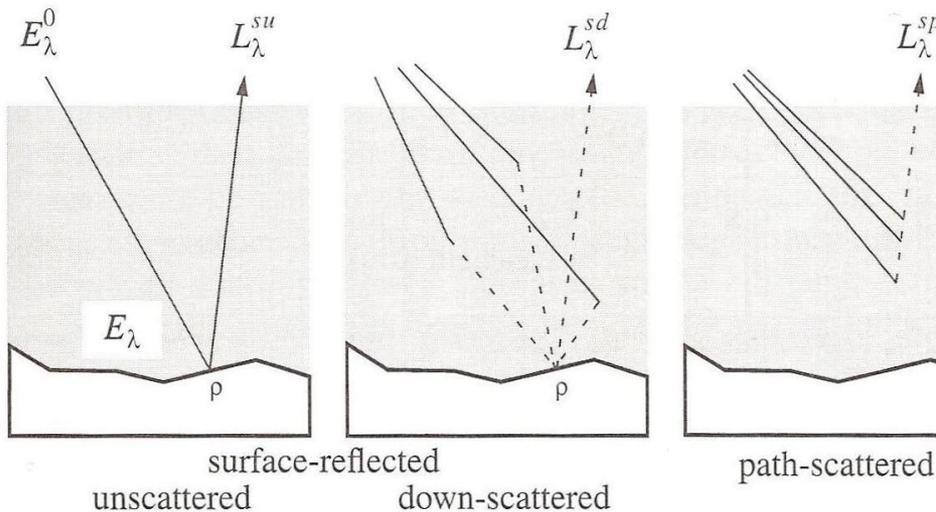
$$L_{\lambda}^{sd}$$

radiância up-scattered no percurso

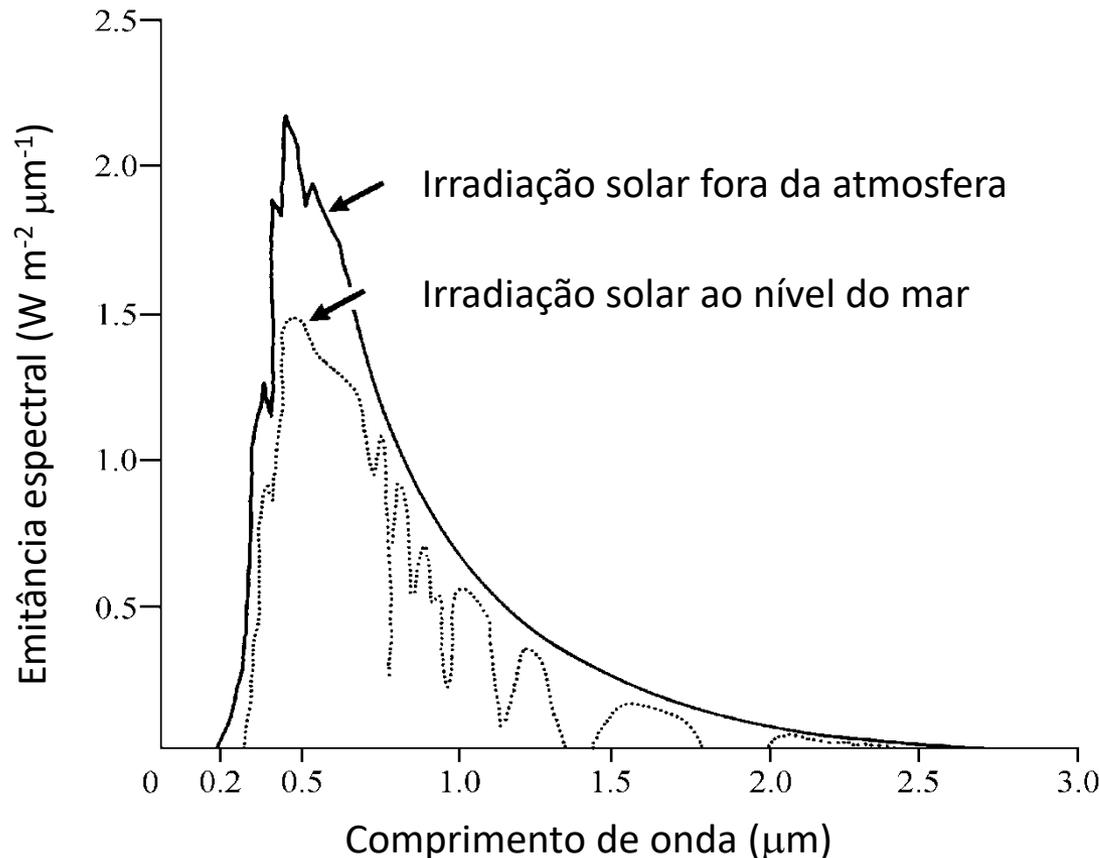
$$L_{\lambda}^{sp}$$

radiância no sensor:

$$L_{\lambda}^s = L_{\lambda}^{su} + L_{\lambda}^{sd} + L_{\lambda}^{sp}$$



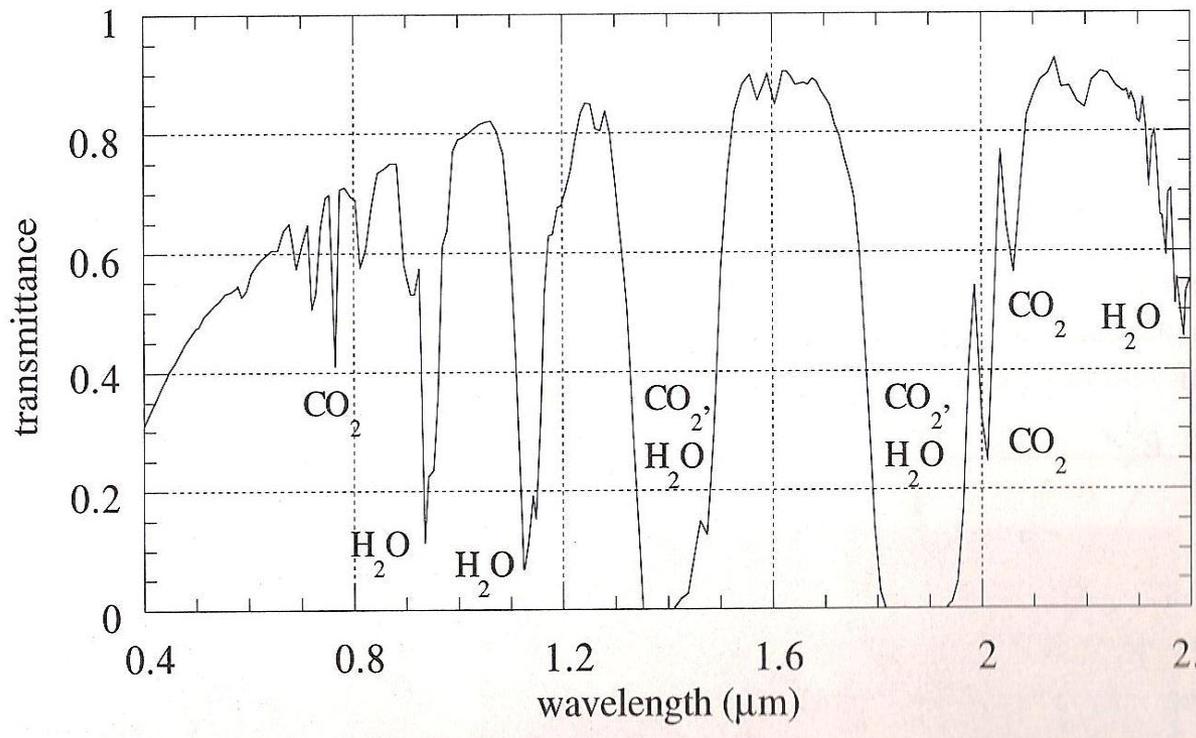
A componente não dispersa (L_{λ}^{su})



A razão entre estas curvas é a transmitância ou transmissividade da atmosfera.

Sobre a superfície terrestre chega apenas uma fração da energia emitida pelo Sol; a atmosfera desempenha uma função de filtragem.

Unscattered component (L_{λ}^{SU})



Transmissividade ao longo do percurso solar, i.e, entre o Sol e a superfície da Terra, para um ângulo de elevação solar de 45°. As bandas de absorção estão essencialmente associadas ao vapor de água e ao dióxido de carbono.

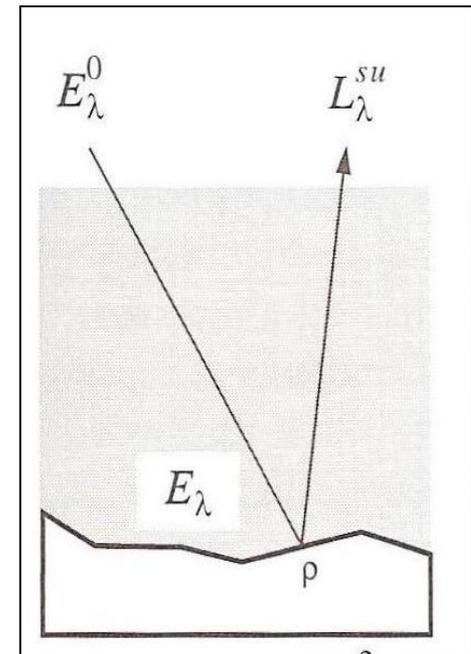
Unscattered component (L_{λ}^{su})

A atmosfera altera significativamente a irradiância espectral antes de chegar à superfície da Terra.

Matematicamente, a irradiância E_{λ} num plano perpendicular ao raio luminoso solar na superfície da Terra é dada por:

$$E_{\lambda} = \tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0$$

Em que τ_s é a transmissividade da atmosfera. De notar que por definição a irradiância E_{λ} deverá ser menor que E_{λ}^0 .



Unscattered component (L_{λ}^{su})

A irradiância na superfície depende do ângulo de incidência

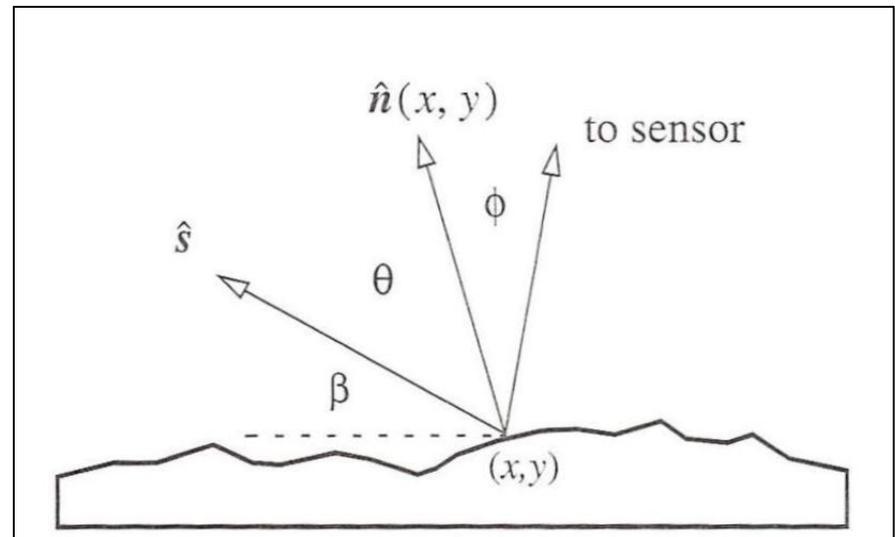
O vetor unitário \mathbf{s} está dirigido para o Sol e o vetor unitário $\mathbf{n}(x,y)$ é normal à superfície.

O ângulo de elevação solar é β e o ângulo zenital solar é $90-\beta$.

O ângulo de incidência na superfície é θ e o ângulo de emitância da superfície na direção do sensor é ϕ .

$$E_{\lambda}(x, y) = \tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0 \cdot \vec{n}(x, y) \cdot \vec{s}$$

$$E_{\lambda}(x, y) = \tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0 \cdot \cos(\theta(x, y))$$



Unscattered component (L_{λ}^{su})

A próxima transferência de energia ocorre sobre a refletividade na superfície da terra.

A **irradiância** que incide numa superfície Lambertiana é convertida na **radiância** refletida na superfície com a ajuda do factor π e da refletividade espectral difusa ρ :

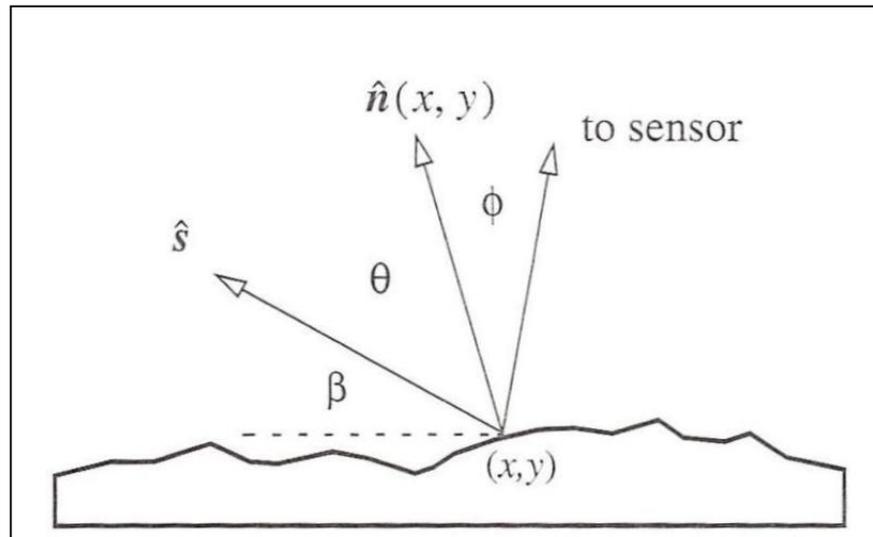
$$L_{\lambda}(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{E_{\lambda}(x, y)}{\pi}$$

$$\left| \begin{aligned} L &= \frac{E}{\Delta\Omega} \\ \Delta\Omega &= \frac{\pi \cdot r^2}{d^2} \end{aligned} \right.$$

$$L_{\lambda}(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0}{\pi} \cos(\theta(x, y))$$

O desvio de um modelo simples é expresso numa Função distribuição da refletividade bidirecional (BRDF).

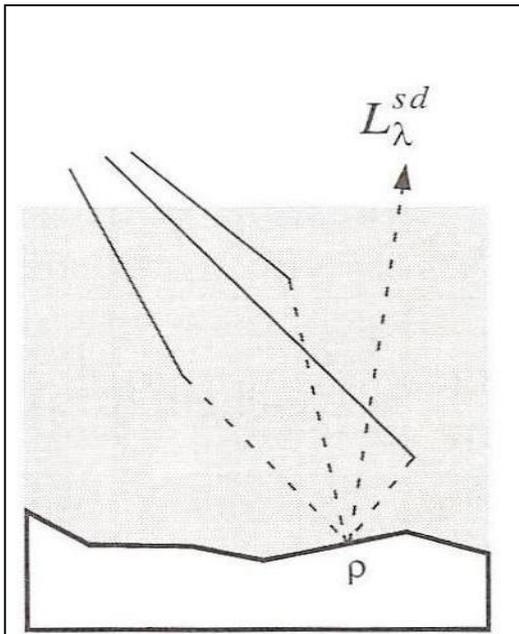
Unscattered component (L_{λ}^{su})



Devemos agora modificar a equação anterior para contemplar a transmissividade na vista do satélite ($\tau_v(\lambda)$) para obter a radiância no sensor:

$$L_{\lambda}^{su}(x, y) = \tau_v(\lambda) \cdot L_{\lambda} = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_s(\lambda) \cdot \tau_v(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0}{\pi} \cos(\theta(x, y))$$

Down-scattered component (L_{λ}^{sd})



$$L_{\lambda}^{sd}(x, y) = F(x, y) \cdot \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda) \cdot E_{\lambda}^d}{\pi}$$

Irradiância do céu: E_{λ}^d

Topografia
(modelo terreno): $F(x, y)$

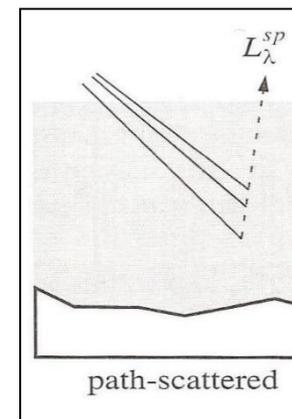
Transmissividade
na direção do
satélite $\tau_v(\lambda)$

Path-scattered component (L_{λ}^{SP})

O termo da radiância do percurso (path) é a combinação da dispersão de **Rayleigh**, que varia com o comprimento de onda como λ^{-4} , e a dispersão de **Mie**, que depende fracamente, ou mesmo não depende, do comprimento de onda.

O efeito combinado da dispersão de Rayleigh e Mie numa atmosfera limpa resulta numa dependência do comprimento de onda na ordem de λ^{-2} e $\lambda^{-0.7}$.

Para sensores com IFOV pequeno, a radiância do percurso é assumida como constante em toda a imagem e escrevemos o termo como $L_{\lambda}^{SP}(x,y)$.



A soma das três componentes resulta na equação:

$$L_{\lambda}^s(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \left\{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x, y)) + F(x, y) \cdot E_{\lambda}^d \right\} + L_{\lambda}^{sp}(x, y)$$

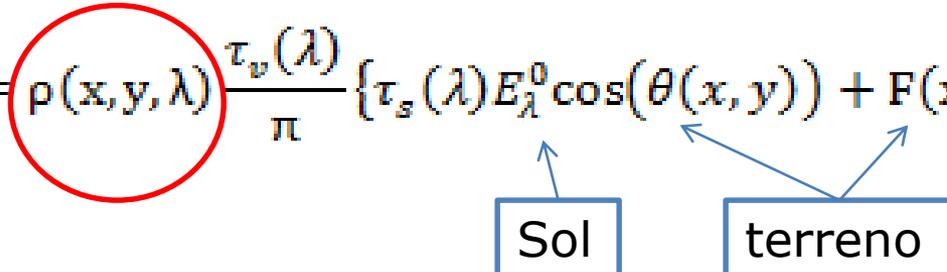
A radiância espectral total recebida pelo sensor é linearmente proporcional à refletividade difusa da superfície, modificada por:

um termo multiplicativo, fator variável espectralmente e espacialmente que depende da forma do terreno

um termo aditivo, espacialmente invariante e espectralmente dependente devido à dispersão do percurso da vista do sensor (view path scattering)

Solar radiance at sensor

Como podemos usar a Deteção Remota para reconhecer diferentes ocupações do solo?

$$L_{\lambda}^s(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \left\{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x, y)) + F(x, y) \cdot E_{\lambda}^d \right\} + L_{\lambda}^{sp}(x, y)$$


(Radiative transfer model, RTM)

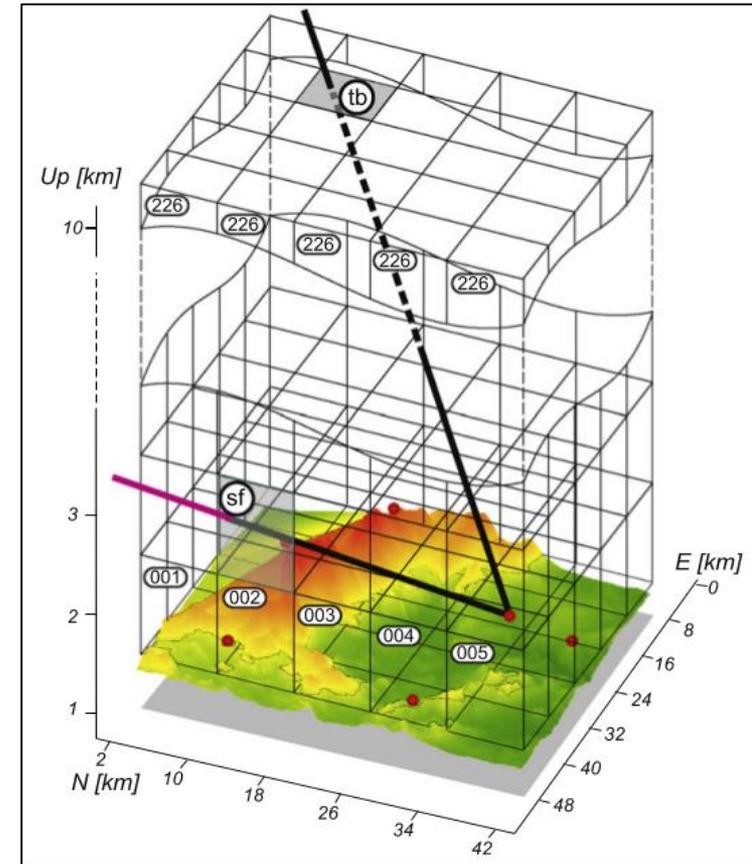
Os dados de Deteção Remota devem ser corrigidos dos efeitos atmosféricos e solares se o objetivo for a comparação com curvas de refletividade espectral medidas no terreno.

São necessárias correções atmosféricas relativas se as assinaturas espectrais de uma imagem numa data são para comparar com imagens adquiridas numa outra data, i.e se o objetivo é um estudo multitemporal.

Atmospheric correction

Os métodos mais exatos são os baseados em modelos que abrangem a coluna inteira da atmosfera e que precisam de dados sobre as condições atmosféricas à superfície para serem calibrados (temperatura do ar, humidade, visibilidade, etc.).

Estes modelos, os mais conhecidos *Lowtran* e *Modtran* (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) fornecem valores precisos da transmitância e da radiância atmosférica para calcular L_{sp} e E_d .



$$L_{\lambda}^s(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \left\{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x, y)) + F(x, y) \cdot E_{\lambda}^d \right\} + L_{\lambda}^{sp}(x, y)$$



Ciências
ULisboa

Radiative Transfer Model: MODTRAN

ctral
nces Inc.


MODTRAN®

[About MODTRAN®](#)

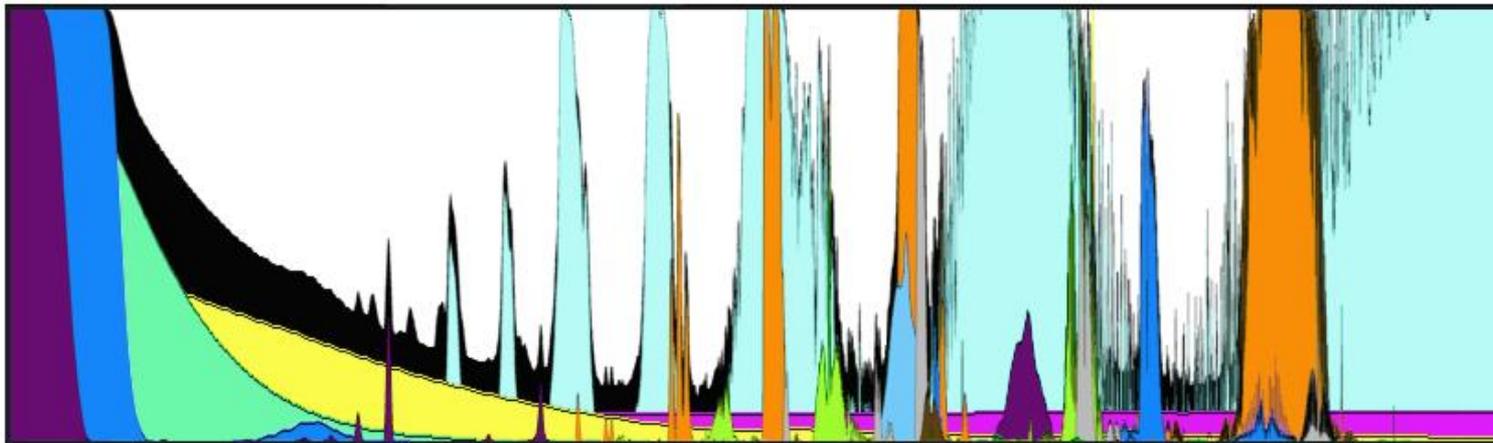
[Features ▾](#)

[FAQ](#)

[MODTRAN® Web App](#)

[Order](#)

[Add-ons ▾](#)



The MODTRAN® (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) computer code is used worldwide by research scientists in government agencies, commercial organizations, and educational institutions for the prediction and analysis of optical measurements through the atmosphere. MODTRAN was developed and continues to be maintained through a longstanding collaboration between Spectral Sciences, Inc. (SSI) and the Air Force Research Laboratory (AFRL). The code is embedded in many operational and research sensor and data processing systems, particularly those involving the removal of atmospheric effects, commonly referred to as atmospheric correction, in remotely sensed multi- and hyperspectral imaging (MSI and HSI). [Read More](#)

Moderate Spectral Atmospheric Radiance and Transmittance (MOSART)



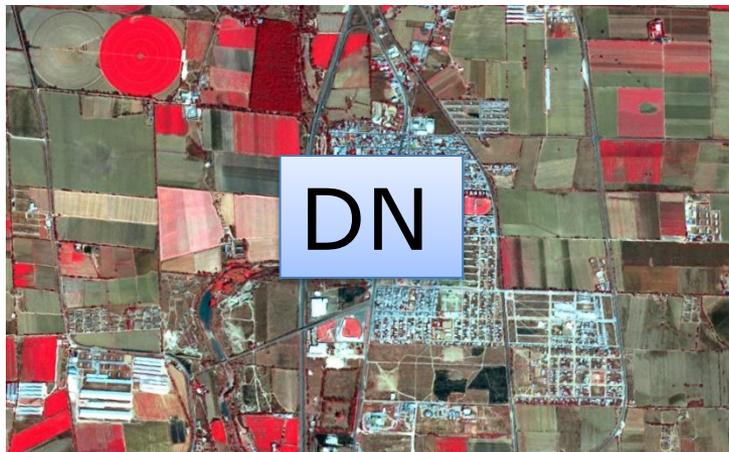
The Moderate Spectral Atmospheric Radiance and Transmittance (MOSART) computer program is a U.S. Department of Defense (DoD) standard code for calculating accurate and realistic atmospheric transmission and radiance along sensor-target line-of-sight paths and optical radiance backgrounds against which targets are detected by sensor systems. As such it has the capability to support both scene and signature

simulations.

The MOSART computer program calculates atmospheric transmission and radiation in the ultraviolet through the microwave spectral regions ($0.2 \mu\text{m}$ to infinity (∞) or $0 - 50,000 \text{ cm}^{-1}$). It contains features extracted from the MODTRAN[®] code developed by the Geophysics Division (PL/GPOS) of the Air Force's Phillips Laboratory [now Air Force Research Laboratory (AFRL)] and the APART code developed by Photon Research Associates, Inc. (PRA). MODTRAN[®] is widely used in many different atmospheric studies, both within and without DoD. Since APART was developed to provide atmospheric calculations for infrared (IR) signature studies of both targets and backgrounds, it has many features that are desirable for large simulation models. Because of the requirement that MOSART be compatible with various codes used in the Synthetic Scene Generation Model (SSGM), the overall structure of this version of MOSART closely follows that of APART. However, MOSART contains all the MODTRAN[®] atmospheric features and is easily used for that code's usual point-to-point calculations.

Conversão de números digitais (DNs) para radiância

O calculo do valor da **radiância espectral** no sensor é essencial para a conversão de dados imagem de múltiplos sensores e plataformas numa quantidade com significado físico numa escala radiométrica comum.



Conversão para radiância dos produtos nível 0

Os valores dos píxeis nos produtos nível 0 (raw data) são representados por Q .

A relação entre estas imagens e o valor de radiância no sensor e L_λ é dada por:

$$Q = G \times L_\lambda + B$$

$$L_\lambda = \frac{Q - B}{G}$$

A letra G é o coeficiente de ganho em cada banda.

O valor de B é o “bias” que é baseado na resposta de cada linha do sensor ao obturador no escuro.

Conversão para radiância dos produtos nível 1

Os valores dos píxeis no nível 1 são representados como Q_{cal} .

A conversão dos produtos de nível 1 (Q_{cal}) em radiâncias espectrais ao nível do sensor (L_λ) requer o conhecimento dos valores mínimos e máximos dos fatores de escala originais.

$$L_\lambda = \left(\frac{L_{max,\lambda} - L_{min,\lambda}}{Q_{cal,max} - Q_{cal,min}} \right) \cdot (Q_{cal} - Q_{cal,min}) + L_{min,\lambda}$$

Dinâmica da imagem.
Tipicamente $255 = 2^8 - 1$

DN

= 1

Conversão em reflectância TOA (Top of Atmosphere)

Poderemos obter uma menor variabilidade entre imagens adquiridas em diferentes datas convertendo a reflectância ao nível do sensor na reflectância exo-atmosfera (no topo da atmosfera, TOA), também conhecido como albedo planetário

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{SUN_{\lambda}} \cos \theta_S}$$

Expressão obtida de (1)

ρ_{λ} é a reflectância planetária TOA

L_{λ} é a radiância ao nível do sensor ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)

d é a distância da Terra ao Sol em unidades astronómicas (1UA= 149 597 870 691km)

$$(1) L_{\lambda}^s(x,y) = \rho(x,y,\lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x,y)) + F(x,y) \cdot E_{\lambda}^d \} + L_{\lambda}^{sp}(x,y)$$

Conversão para radiância dos produtos nível 1

Parâmetros calibrados para o sensor ETM+ do Landat 7 e irradiância solar exo-atmosférica (ESUN).

L7 ETM+ Sensor ($Q_{calmin} = 1$ and $Q_{calmax} = 255$)							
Band	Spectral range	Center wavelength	$L_{MIN\lambda}$	$L_{MAX\lambda}$	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$	$ESUN_{\lambda}$
Units	μm		$W/(m^2 sr \mu m)$		$(W/m^2 sr \mu m)/DN$	$W/(m^2 sr \mu m)$	$W/(m^2 \mu m)$
<i>Low gain (LPGS)</i>							
1	0.452-0.514	0.483	-6.2	293.7	1.180709	-7.38	1997
2	0.519-0.601	0.560	-6.4	300.9	1.209843	-7.61	1812
3	0.631-0.692	0.662	-5.0	234.4	0.942520	-5.94	1533
4	0.772-0.898	0.835	-5.1	241.1	0.969291	-6.07	1039
5	1.547-1.748	1.648	-1.0	47.57	0.191220	-1.19	230.8
6	10.31-12.36	11.335	0.0	17.04	0.067087	-0.07	N/A
7	2.065-2.346	2.206	-0.35	16.54	0.066496	-0.42	84.90
PAN	0.515-0.896	0.706	-4.7	243.1	0.975591	-5.68	1362
<i>High Gain (LPGS)</i>							
1	0.452-0.514	0.483	-6.2	191.6	0.778740	-6.98	1997
2	0.519-0.601	0.560	-6.4	196.5	0.798819	-7.20	1812
3	0.631-0.692	0.662	-5.0	152.9	0.621654	-5.62	1533
4	0.772-0.898	0.835	-5.1	157.4	0.639764	-5.74	1039
5	1.547-1.748	1.648	-1.0	31.06	0.126220	-1.13	230.8
6	10.31-12.36	11.335	3.2	12.65	0.037205	3.16	N/A
7	2.065-2.346	2.206	-0.35	10.80	0.043898	-0.39	84.90
PAN	0.515-0.896	0.706	-4.7	158.3	0.641732	-5.34	1362



Conversion to TOA Radiance

OLI and TIRS band data can be converted to TOA spectral radiance using the radiance rescaling factors provided in the metadata file:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

where:

- L_{λ} = TOA spectral radiance (Watts/(m² * srad * μm))
- M_L = Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata (RADIANCE_MULT_BAND_x, where x is the band number)
- A_L = Band-specific additive rescaling factor from the metadata (RADIANCE_ADD_BAND_x, where x is the band number)
- Q_{cal} = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

Conversion to TOA Reflectance

OLI band data can also be converted to TOA planetary reflectance using reflectance rescaling coefficients provided in the product metadata file (MTL file). The following equation is used to convert DN values to TOA reflectance for OLI data as follows:

$$\rho_{\lambda}' = M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}$$

where:

- ρ_{λ}' = TOA planetary reflectance, without correction for solar angle. Note that ρ_{λ}' does not contain a correction for the sun angle.
- M_{ρ} = Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, where x is the band number)
- A_{ρ} = Band-specific additive rescaling factor from the metadata (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, where x is the band number)
- Q_{cal} = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)



LandSat 8

Ciências
ULisboa

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0501505116091_00442"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC82040332015001LGN00"
FILE_DATE = 2015-05-12T16:55:09Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.5.0"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
```

```
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 786.09534
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -64.91601
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 804.97119
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -66.47478
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 741.77411
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -61.25595
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 625.50568
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -51.65446
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 382.77829
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -31.60996
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 95.19348
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.86111
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 32.08530
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.64961
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 707.90033
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -58.45864
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 149.59843
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -12.35389
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
```

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{max,\lambda} - L_{min,\lambda}}{Q_{cal,max} - Q_{cal,min}} \right) \cdot (Q_{cal} - Q_{cal,min}) + L_{min,\lambda}$$

```
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2986E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3298E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2254E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0333E-02
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.3233E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5725E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.3003E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1694E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4713E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
```

```
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -64.92899
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -66.48808
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -61.26820
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -51.66480
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.61628
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.86268
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.65014
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -58.47033
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -12.35636
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
```



Question:

Where can I find the solar exoatmospheric spectral irradiances (ESUN) values for Landsat 8 OLI data?

Answer:

ESUN values are not provided for Landsat 8 data because they are not required for converting data to reflectance. Landsat 8's Operational Land Imager (OLI) adopted two independent National Institute for Standards and Technology (NIST) traceable radiance and reflectance calibration methods. The Landsat 8 metadata file provides coefficients necessary to convert to radiance and reflectance from the quantized and calibrated Digital Numbers (DNs) of the product

(see http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php). Thus, ESUN values are not required for reflectance conversion.

Relative Spectral Response (RSR) of the OLI spectral bands can be found on http://ldcm.gsfc.nasa.gov/spacecraft_instruments/oli_band_average.html and used along with the user's preferred solar spectrum to calculate ESUN values corresponding to Landsat 8 OLI bands. (NOTE: ESUN values calculated from RSRs were not used for OLI calibration).



LandSat 8

Ciências
ULisboa

TOA reflectance with a correction for the sun angle is then:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\sin(\theta_{SE})}$$

where:

ρ_{λ} = TOA planetary reflectance

θ_{SE} = Local sun elevation angle. The scene center sun elevation angle in degrees is provided in the metadata (SUN_ELEVATION).

θ_{SZ} = Local solar zenith angle; $\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$

For more accurate reflectance calculations, per pixel solar angles could be used instead of the scene center solar angle, but per pixel solar zenith angles are not currently provided with the Landsat 8 products.

REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000

```
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 0.49
CLOUD_COVER_LAND = 0.75
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 158.52732765
SUN_ELEVATION = 25.19344132
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9833024
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 2
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 408
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 8.874
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 7.353
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.968
GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 111
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 4.466
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
```



Level-1C

Level-1C processing includes radiometric and geometric corrections including ortho-rectification and spatial registration on a global reference system with sub-pixel accuracy.

Level-1C processing is broken down into the following steps:

- Tiles association: selection of pre-defined tiles intersecting the footprint of the required image.
 - Resampling grid computation: enabling linking of the native geometry image to the target geometry image (ortho-rectified).
 - Resampling of each spectral band in the geometry of the ortho-image using the resampling grids and an interpolation filter. Calculation of the TOA reflectances also occurs in this step.
 - Masks computation: cloud and land/water masks are generated.
 - Imagery compression of the resultant Level-1C imagery via the JPEG2000 algorithm and a GML geographic imagery-encoded header.
-



▾ Level-2

The Level-2A processing includes a scene classification and an atmospheric correction applied to Top-Of-Atmosphere (TOA) Level-1C orthoimage products. Level-2A main output is an orthoimage Bottom-Of-Atmosphere (BOA) corrected reflectance product.

Additional outputs are an Aerosol Optical Thickness (AOT) map, a Water Vapour (WV) map and a Scene Classification Map (SCM) together with Quality Indicators (QI) for cloud and snow probabilities at 60 m resolution. Level-2A output image products will be resampled and generated with an equal spatial resolution for all bands, based on the requested resolution (10 m, 20 m or 60 m). A 10 m resolution product contains the spectral bands 2, 3, 4 and 8 and an AOT map resampled from 20 m. A 20 m product contains bands 2 - 7, the bands 8A, 11 and 12 and an AOT and WV map. A 60 m product contains all components of the 20 m product and additionally the 60 m bands 1 and 9. The cirrus band 10 will be omitted, as it does not contain surface information.

The processor algorithm is a combination of state-of-the-art techniques for performing atmospheric corrections (including cirrus clouds correction [R1]), which have been tailored to the SENTINEL-2 environment together with a scene classification module described in [R2]. The scene classification algorithm allows detection of clouds, snow and cloud shadows and generation of a classification map, which consists of four different classes for clouds (including cirrus), together with six different classifications for shadows, cloud shadows, vegetation, soils/deserts, water and snow. The algorithm is based on a series of threshold tests that use as input TOA reflectance as input from the SENTINEL-2 spectral bands. In addition, thresholds are applied on band ratios and indexes like Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalised Difference Snow and Ice Index (NDSI). For each of these threshold tests, a level of confidence is associated. It produces at the end of the processing chain a probabilistic cloud mask quality indicator and a snow mask quality indicator. The algorithm uses the reflective properties of scene features to establish the presence or absence of clouds in a scene. Cloud screening is applied to the data in order to retrieve accurate atmospheric and surface parameters, either as input for the further processing steps below or for being valuable input for processing steps of higher levels.

Sen2Cor is a Level-2A processor which main purpose is to correct single-date

Sentinel-2 Level-1C Top-Of-Atmosphere (TOA) products

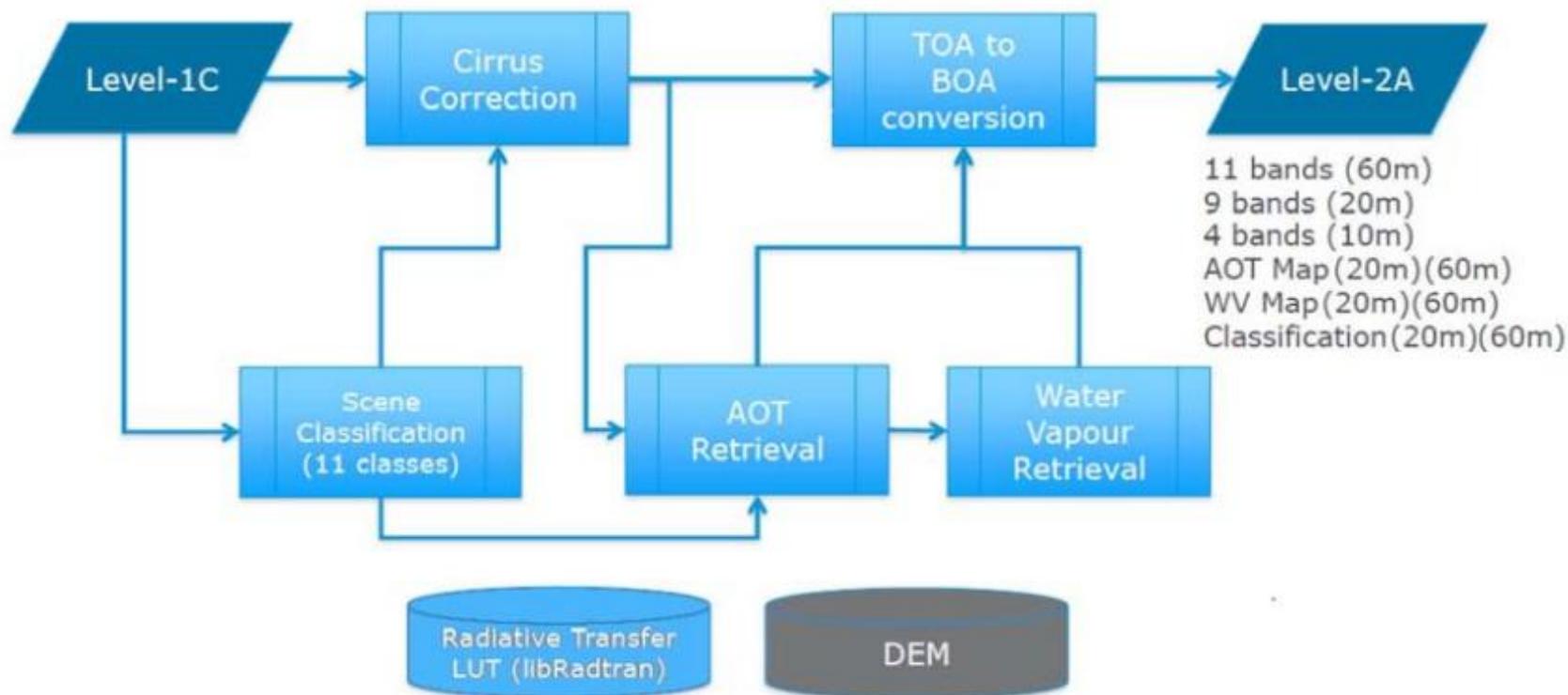
from the effects of the atmosphere in order to deliver a

Level-2A Bottom-Of-Atmosphere (BOA) reflectance product.

Additional outputs are an Aerosol Optical Thickness (AOT) map, a Water Vapour (WV) map and a Scene Classification (SCL) map with Quality Indicators for cloud and snow probabilities.



SEN2COR



Level-2A processing schema with Sen2Cor



Ciências
ULisboa

SEN2COR

libradtran

[Log In](#) [Recent Changes](#)

[Home](#)
[Download](#)
[Documentation](#)
[Publications](#)
[Basic usage](#)
[Newsletters](#)
[Contact](#)
[FAQ](#)
[Known Bugs](#)
[User Area](#)
[WiKi](#)
[Documentation](#)



libRadtran

libRadtran - library for radiative transfer - is a collection of C and Fortran functions and programs for calculation of solar and thermal radiation in the Earth's atmosphere. libRadtran is freely available under the GNU General Public License.

Authors: Bernhard Mayer, Claudia Emde, Josef Gasteiger, and Arve Kylling

Newest release: 2.0.4 from December 24, 2020.

libRadtran reference publications:

- » C. Emde, R. Buras-Schnell, A. Kylling, B. Mayer, J. Gasteiger, U. Hamann, J. Kylling, B. Richter, C. Pause, T. Dowling, and L. Bugliaro. **The libradtran software package for radiative transfer calculations (version 2.0.1)**. *Geoscientific Model Development*, 9(5):1647-1672, 2016, [link](#)
- » B. Mayer and A. Kylling. **Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use**. *Atmos. Chem. Phys.*, 5: 1855-1877, 2005, [link](#)

3.2 Cloud / Snow detection algorithm

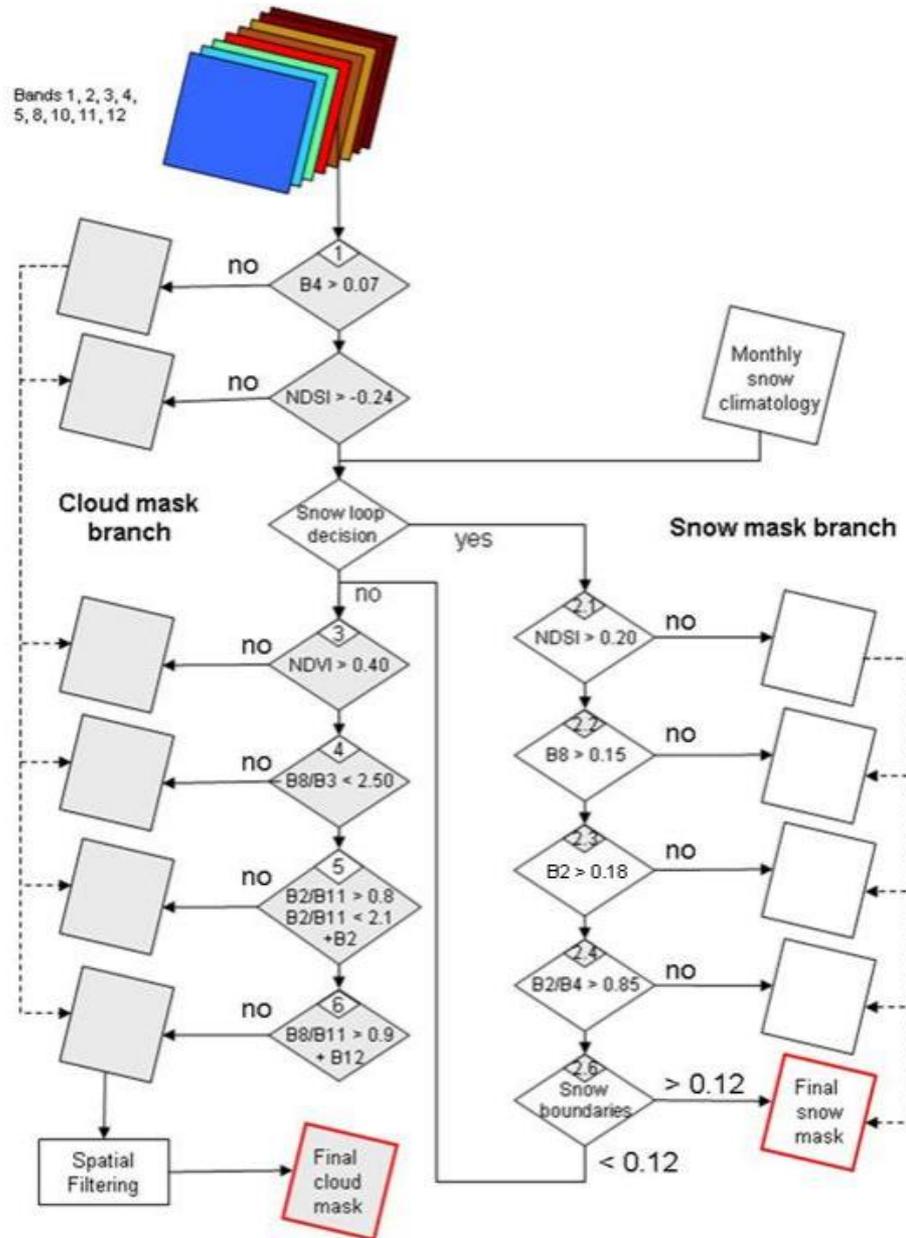


Table 3-I – Classification Map

Label	Classification
0	NO_DATA
1	SATURATED_OR_DEFECTIVE
2	DARK_AREA_PIXELS
3	CLOUD_SHADOWS
4	VEGETATION
5	BARE_SOILS
6	WATER
7	CLOUD_LOW_PROBABILITY
8	CLOUD_MEDIUM_PROBABILITY
9	CLOUD_HIGH_PROBABILITY
10	THIN_CIRRUS
11	SNOW

Product Explorer X Pixel Info

- Vector Data
- Bands
 - sun
 - view
 - quality
 - B1 (443 nm)
 - B2 (490 nm)
 - B3 (560 nm)
 - B4 (665 nm)
 - B5 (705 nm)
 - B6 (740 nm)
 - B7 (783 nm)
 - B8 (842 nm)
 - B8A (865 nm)
 - B9 (945 nm)
 - B11 (1610 nm)
 - B12 (2190 nm)
- Masks
 - nodata
 - partially_corrected_crosstalk
 - saturated_11a
 - saturated_11b
 - defective
 - ancillary_lost
 - ancillary_degraded
 - msi_lost
 - msi_degraded
 - opaque_clouds
 - cirrus_clouds
 - sd
 - detector_footprint-B01
 - detector_footprint-B02
 - detector_footprint-B03
 - detector_footprint-B04
 - detector_footprint-B05
 - detector_footprint-B06
 - detector_footprint-B07
 - detector_footprint-B08
 - detector_footprint-B08A
 - detector_footprint-B09
 - detector_footprint-B11
 - detector_footprint-B12

Product Explorer X Pixel Info

- B8 (842 nm)
- B8A (865 nm)
- B9 (945 nm)
- B11 (1610 nm)
- B12 (2190 nm)
- Masks
 - nodata
 - partially_corrected_crosstalk
 - saturated_11a
 - saturated_11b
 - defective
 - ancillary_lost
 - ancillary_degraded
 - msi_lost
 - msi_degraded
 - opaque_clouds
 - opaque_clouds_10m
 - opaque_clouds_20m
 - opaque_clouds_60m
 - cirrus_clouds
 - cirrus_clouds_10m
 - cirrus_clouds_20m
 - cirrus_clouds_60m
 - sd
 - detector_footprint-B01
 - detector_footprint-B02
 - detector_footprint-B03
 - detector_footprint-B04
 - detector_footprint-B05
 - detector_footprint-B06
 - detector_footprint-B07
 - detector_footprint-B08
 - detector_footprint-B8A
 - detector_footprint-B09
 - detector_footprint-B11
 - detector_footprint-B12

Product Explorer X Pixel Info

- saturated_11b
- defective
- ancillary_lost
- ancillary_degraded
- msi_lost
- msi_degraded
- opaque_clouds
- cirrus_clouds
- sd
 - sd_dark_feature_shadow
 - sd_cloud_shadow
 - sd_vegetation
 - sd_not_vegetated
 - sd_water
 - sd_unclassified
 - sd_cloud_medium_proba
 - sd_cloud_high_proba
 - sd_thin_cirrus
 - sd_snow_ice
- detector_footprint-B01
- detector_footprint-B02
- detector_footprint-B03
- detector_footprint-B04
- detector_footprint-B05

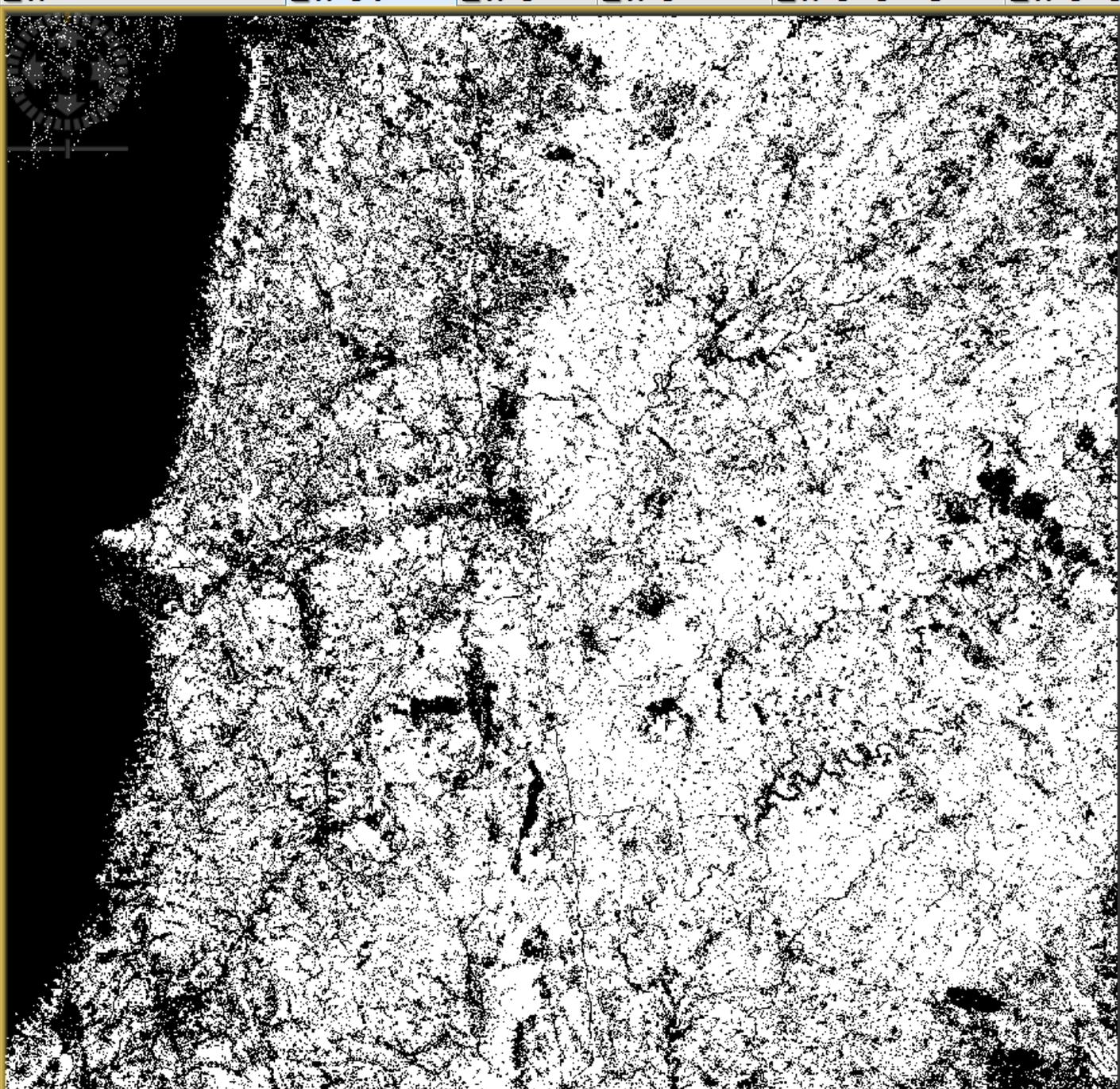


Sentinel-2, 20170614

- B8 (842 nm)
- B8A (865 nm)
- B9 (945 nm)
- B11 (1610 nm)
- B12 (2190 nm)
- Masks
 - nodata
 - partially_corrected_cross
 - saturated_1a
 - saturated_1b
 - defective
 - ancillary_lost
 - ancillary_degraded
 - msi_lost
 - msi_degraded
 - opaque_clouds
 - opaque_clouds_10m
 - opaque_clouds_20m
 - opaque_clouds_60m
 - cirrus_clouds
 - cirrus_clouds_10m
 - cirrus_clouds_20m
 - cirrus_clouds_60m
- scd
- detector_footprint-B01
- detector_footprint-B02
- detector_footprint-B03
- detector_footprint-B04
- detector_footprint-B05
- detector_footprint-B06
- detector_footprint-B07
- detector_footprint-B08
- detector_footprint-B8A
- detector_footprint-B09
- detector_footprint-B11
- detector_footprint-B12



- partially_corrected_crosstalk
- saturated_11a
- saturated_11b
- defective
- ancillary_lost
- ancillary_degraded
- msi_lost
- msi_degraded
- opaque_clouds
 - opaque_clouds_10m
 - opaque_clouds_20m
 - opaque_clouds_60m
- cirrus_clouds
 - cirrus_clouds_10m
 - cirrus_clouds_20m
 - cirrus_clouds_60m
- sd
 - sd_dark_feature_shadow
 - sd_cloud_shadow
 - sd_vegetation
 - sd_not_vegetated
 - sd_water
 - sd_undclassified
 - sd_cloud_medium_proba
 - sd_cloud_high_proba
 - sd_thin_cirrus
 - sd_snow_ice
- detector_footprint-B01
- detector_footprint-B02
- detector_footprint-B03
- detector_footprint-B04
- detector_footprint-B05
- detector_footprint-B06
- detector_footprint-B07
- detector_footprint-B08
- detector_footprint-B8A



Navi... Layer... x Worl... Unc... -

Editor: Basic Sliders Table

Name: sd_vegetation
Unit: null
Min: 0.0
Max: 255.0
Rough statistics!

95% 100%
Log10

More Options

Distorção Geométrica das imagens

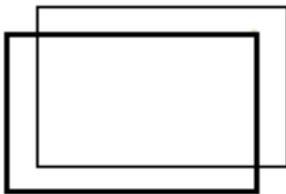
Qualquer sistema de DR terá distorções geométricas. Este é um problema inerente à DR uma vez que pretendemos representar a superfície da Terra 3D numa imagem bidimensional (matematicamente equivalente ao problema da cartografia matemática, acrescida de outras deformações).

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

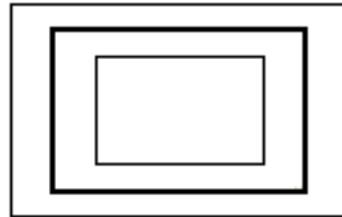
- a) O movimento do sistema de varrimento
- b) A instabilidade da plataforma.
- c) A atitude da plataforma
- d) O relevo do terreno
- e) Curvatura e rotação da Terra.

Distorção Geométrica das imagens

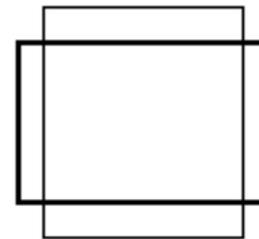
External Distortions



(a) Shift error



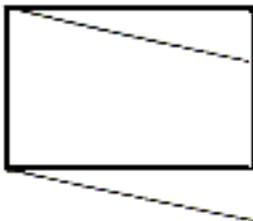
(b) Scale error



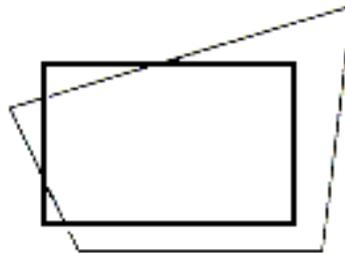
(c) V/H error



(d) Skew



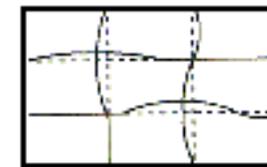
(e) Skew of scan line



(f) Projection distortion

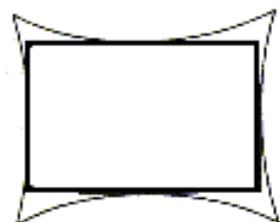


(g) Distortion due to
Earth curvature

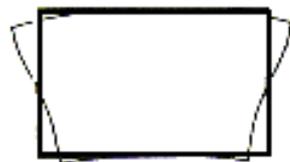


(h) Terrain relief
Displacement

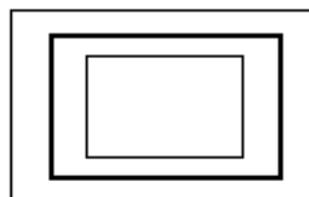
Internal Distortions



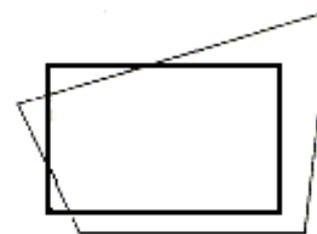
(a) Radial distortion



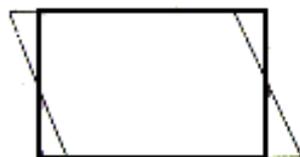
(b) Tegential distortion



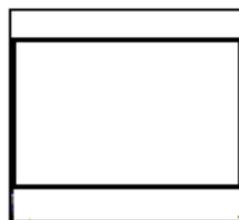
(c) Scale error



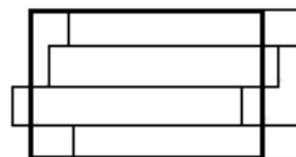
(d) Projection distortion



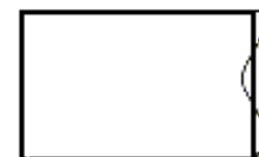
(e) Skew



(f) Along track scale error



(g) Step-wise distortion



(h) Scan-line scale error

Correcção das imagens

Os dados recolhidos pelos sensores de detecção remota precisam, antes de ser utilizados, de um conjunto de correcções para eliminar ou atenuar as distorções introduzidas pela aquisição e transmissão.

Esta fase de pré-tratamento pode ser dividido em dois tipos de correcções:

Correcções radiométricas

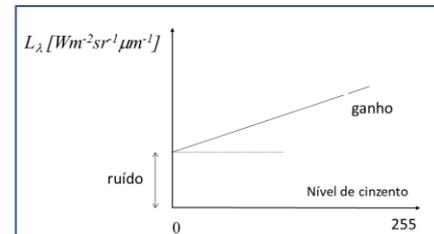
Correcções geométricas



Radiometric corrections

As correções radiométricas são usadas para calibrar os sensores, corrigir os erros devidos ao seu mau funcionamento e mitigar os efeitos devidos à propagação da radiação na camada atmosférica. Essas podem ser divididas em:

Calibração radiométrica



Equalização do sensor

Correcção atmosférica

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{E_{SUN_\lambda} \cos \theta_S}$$

Correcção da linhas e píxeis não gravados

Lines and pixels not registered

Pode acontecer que durante a scanerização de uma imagem, devido a quedas de tensão ou por perdas de sinal, ocorram erros nas imagens.

Este tipo de erros ocorre geralmente sob a forma de linhas escuras ou uniformemente cinzentas (*Drop Line*) ou de píxeis com valores anómalos.



Atmospheric correction– Dark pixel

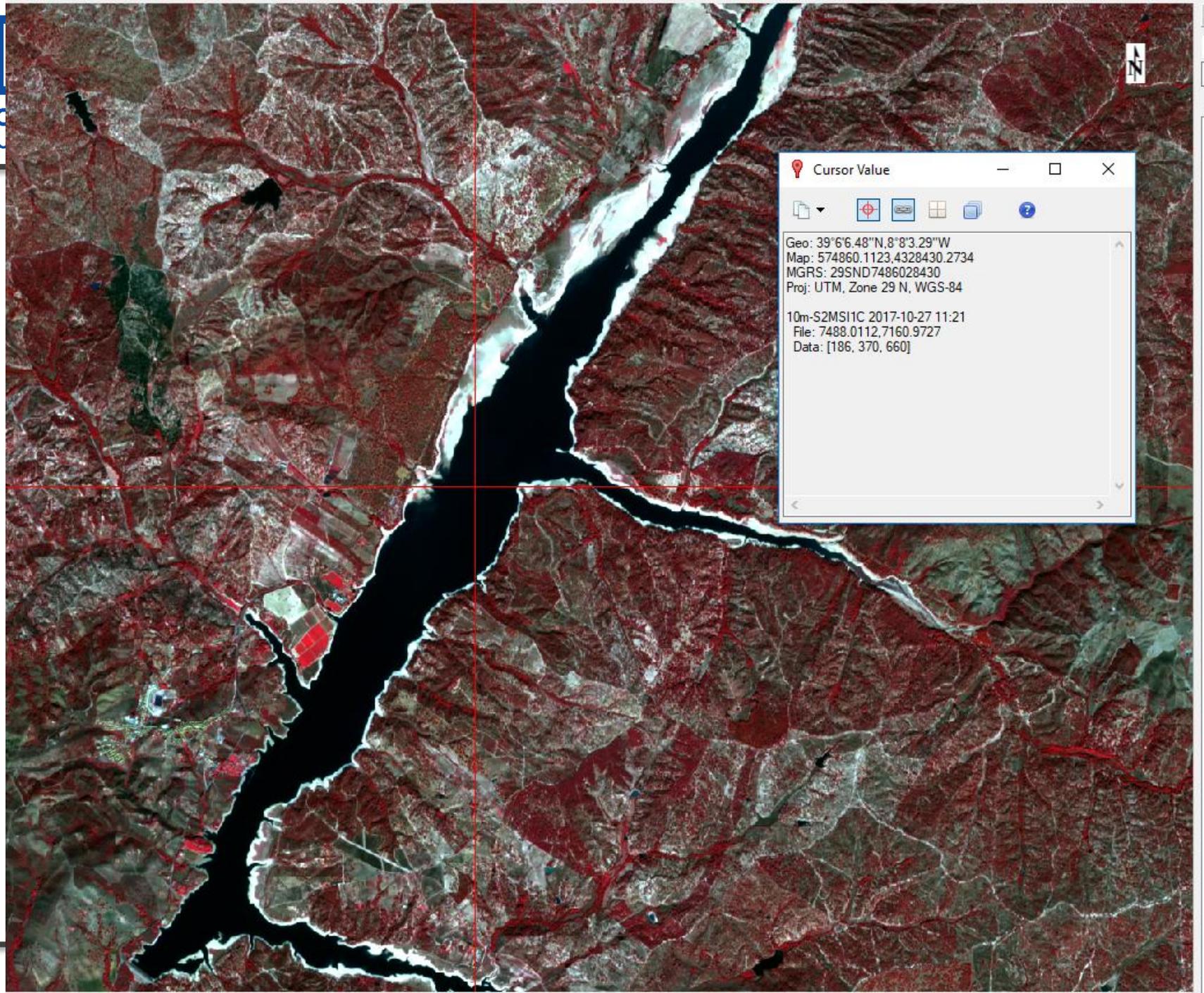
Método Dark-pixel

Não requer modelos atmosféricos.

Os píxeis escuros correspondem a tipos de solo que refletem pouco e para os quais o sensor deveria supostamente medir uma radiância bastante baixa (devida apenas aos efeitos atmosféricos).

Com base na radiância destes píxeis registada no sensor podemos determinar a transmitância e a radiância atmosféricas.

Em geral os “dark pixels” usados para corrigir os efeitos atmosféricos são as águas oligotróficas (baixa refletividade na região do infravermelho) e as florestas de coníferas (baixa refletividade nas banda do azul e do vermelho).



Cursor Value

Geo: 39°6'6.48"N, 8°8'3.29"W
Map: 574860.1123, 4328430.2734
MGRS: 29SND7486028430
Proj: UTM, Zone 29 N, WGS-84

10m-S2MSI1C 2017-10-27 11:21
File: 7488.0112, 7160.9727
Data: [186, 370, 660]



FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters

Input Radiance Image:

Output Reflectance File: C:\Users\JCFERN~1\AppData\Local\Temp\

Output Directory for FLAASH Files: C:\Users\JCFERN~1\AppData\Local\Temp\

Rootname for FLAASH Files:

Scene Center Location: DD <-> DMS Sensor Type: UNKNOWN-HSI Flight Date: Jan 1 2000

Lat: 0 0 0.00 Sensor Altitude (km): 0.000

Lon: 0 0 0.00 Ground Elevation (km): 0.000

Pixel Size (m): 0.000

Flight Time GMT (HH:MM:SS): 0 : 0 : 0

Atmospheric Model: Tropical Aerosol Model: Rural Spectral Polishing:

Water Retrieval: Yes Aerosol Retrieval: 2-Band (K-T) Width (number of):

Water Absorption Feature: 1135 nm Initial Visibility (km): 40.00 Wavelength Rec:

FLAASH Advanced Settings

Spectrograph Definition File:

For Non-nadir Looking Instruments: DD <-> DMS

Zenith Angle: 180 0 0.00

Azimuth Angle: 0 0 0.00

Use Tiled Processing: Yes Tile Size (Mb): 100

Radiance Image: Spatial Subset Full Scene

Re-define Scale Factors For Radiance Image: Choose

Output Reflectance Scale Factor: 10000

Automatically Save Template File: Yes

Output Diagnostic Files: No

Aerosol Scale Height (km): 1.50

CO2 Mixing Ratio (ppm): 390.00

Use Square Slit Function: No

Use Adjacency Correction: Yes

Reuse MODTRAN Calculations: No

Modtran Resolution: 5 cm-1

Modtran Multiscatter Model: Scaled DISORT

Number of DISORT Streams: 8

- Search the toolbar
- /Radiometric Correction/Atmospheric Correction
 - Favorites
 - Anomaly Detection
 - Band Algebra
 - Change Detection
 - Classification
 - Feature Extraction
 - Filter
 - Geometric Correction
 - Image Sharpening
 - LIDAR
 - Mosaicking
 - Radar
 - Radiometric Correction
 - Apply Gain and Offset
 - Atmospheric Correction Module
 - FLAASH Atmospheric Correction
 - Quick Atmospheric Correction (K)
 - Calibrate AVHRR
 - Calibrate TIMS
 - Cross-Track Illumination Correction
 - Dark Subtraction
 - EFFORT Polishing
 - Emissivity Alpha Residuals
 - Emissivity Normalization
 - Emissivity Reference Channel
 - Empirical Line Compute Factors and
 - Empirical Line Correct Using Existing
 - Flat Field Correction
 - IAR Reflectance Correction
 - Log Residuals Correction
 - Radiometric Calibration
 - Thermal Atmospheric Correction
 - Raster Management
 - Regions of Interest
 - Spatiotemporal Analysis
 - SPEAR
 - Spectral
 - Statistics
 - Target Detection
 - THOR
 - Terrain
 - Transform
 - Vector
 - Extensions

... in New View

... Grayscale



Geometric corrections

Como as imagens de detecção remota são usadas em conjunto com outra informação, sobretudo de origem cartográfica, é preciso corrigir geometricamente as imagens no sentido de usar a mesma referência cartográfica.

As imagens de detecção remota são caracterizadas por diferentes tipos de distorções geométricas que em geral são corrigidas usando dois tipos de técnicas de correcções:

Correcções sistemáticas

Ligadas ao sensor e plataforma e por isso constantes no tempo

Correcções de Posicionamento



Geometric & Positioning Correction

As correcções de Posicionamento, para além de corrigir geometricamente a imagem de maneira coerente com o sistema de referência escolhido (georreferenciação), podem corrigir também os efeitos devidos à topografia.

Os sistemas de transformação que são geralmente usados podem ser divididos em duas categorias:

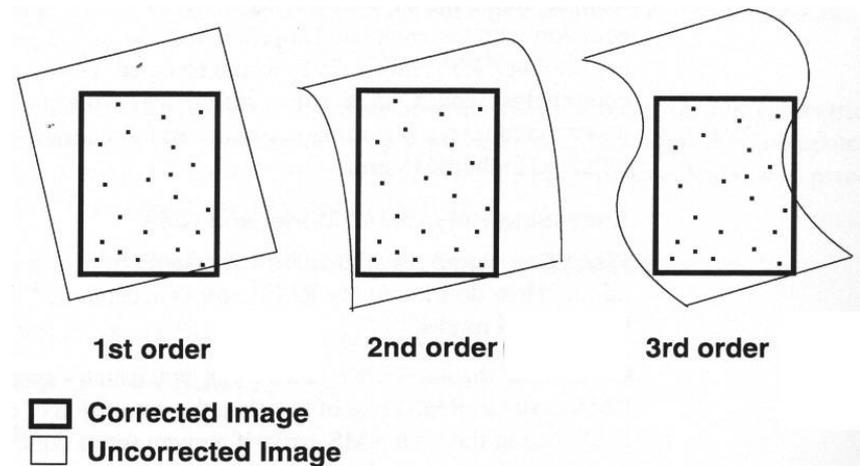
Polinomial

Orto-rectificação

Correcção pelo método polinomial

Identifica-se um conjunto de Pontos de Controlo no terreno e na imagem, chamados na literatura GCP (*Ground Control Points*).

Com base nesse conjunto de pontos, é definido um conjunto de equações de transformação que ligam as coordenadas imagem e as coordenadas cartográficas.



Essas equações podem ser polinómios de diferente ordem.

Transformação bilinear: $x = a u + b v + d$; $y = e u + f v + g$



Reamostragem / Resampling

No processo de correcção geométrica da imagem é necessário calcular o valor radiométrico de cada píxel na sua nova posição.

O procedimento de cálculo do valor do nível radiométrico de cada píxel na imagem final designa-se por reamostragem.

Os algoritmos mais usados são:

Vizinho mais próximo

Bilinear

Bicúbico

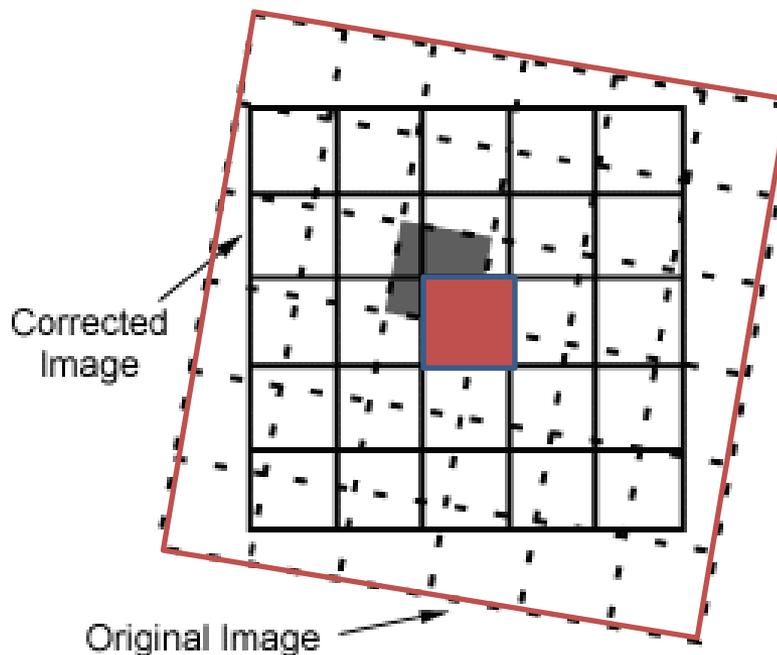
Nearest Neighbour

O valor de radiância DN (x,y) que vamos escrever no píxel de output é o valor correspondente ao píxel que tem coordenadas linha-coluna (l,c) mais perto das coordenadas (x,y) obtidas pela transformação.

Como resultado obtemos imagens com efeito de degrau.

Por outro lado mantêm-se inalterados os valores dos píxeis originais

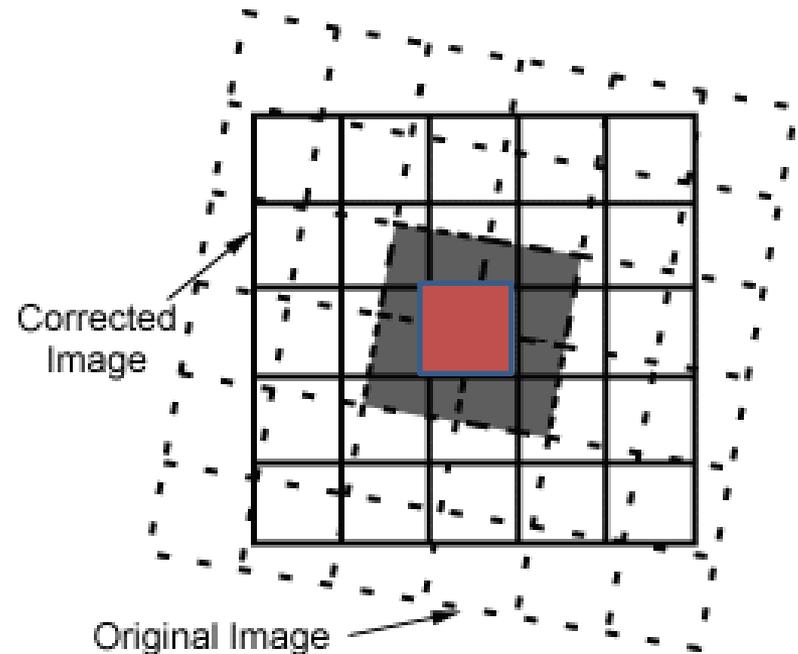
(isso é importante por exemplo na georreferenciação dos mapas de uso do solo)



Bilinear

O novo valor de radiância DN (x,y) é calculado por interpolação que abrange os quatros pixéis mais próximos ao ponto de coordenadas (x,y) obtidas pela transformação geométrica.

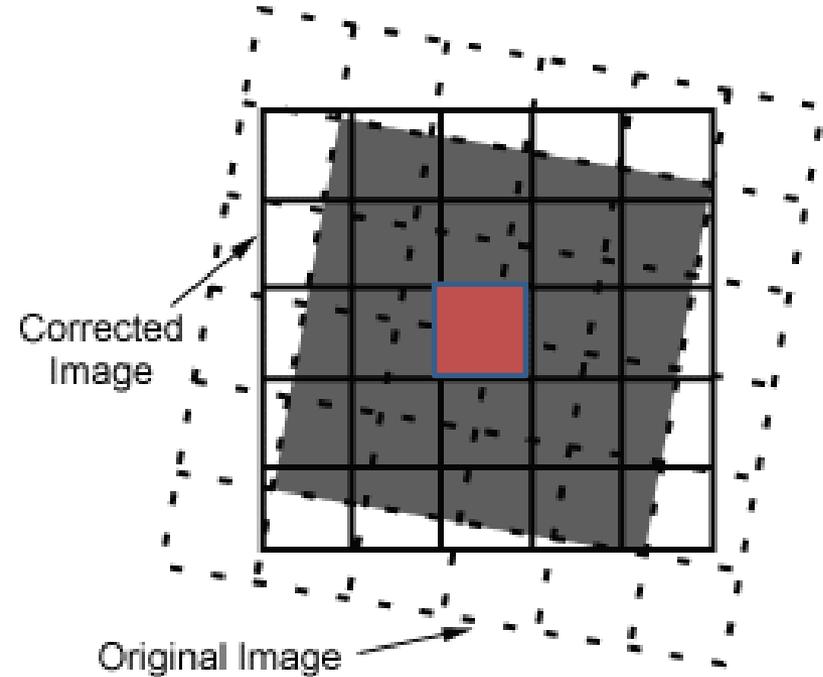
Os valores de radiância originais são alterados e a imagem obtida é caracterizada por menos contrastes e variações radiométricos mais suaves (efeito da filtragem !)



Bicubic

Neste caso a interpolação (de ordem superior) abrange os 16 píxeis mais próximos.

Do ponto de vista geométrico este método é mais fiável, mas o conteúdo radiométrico é mais alterado.



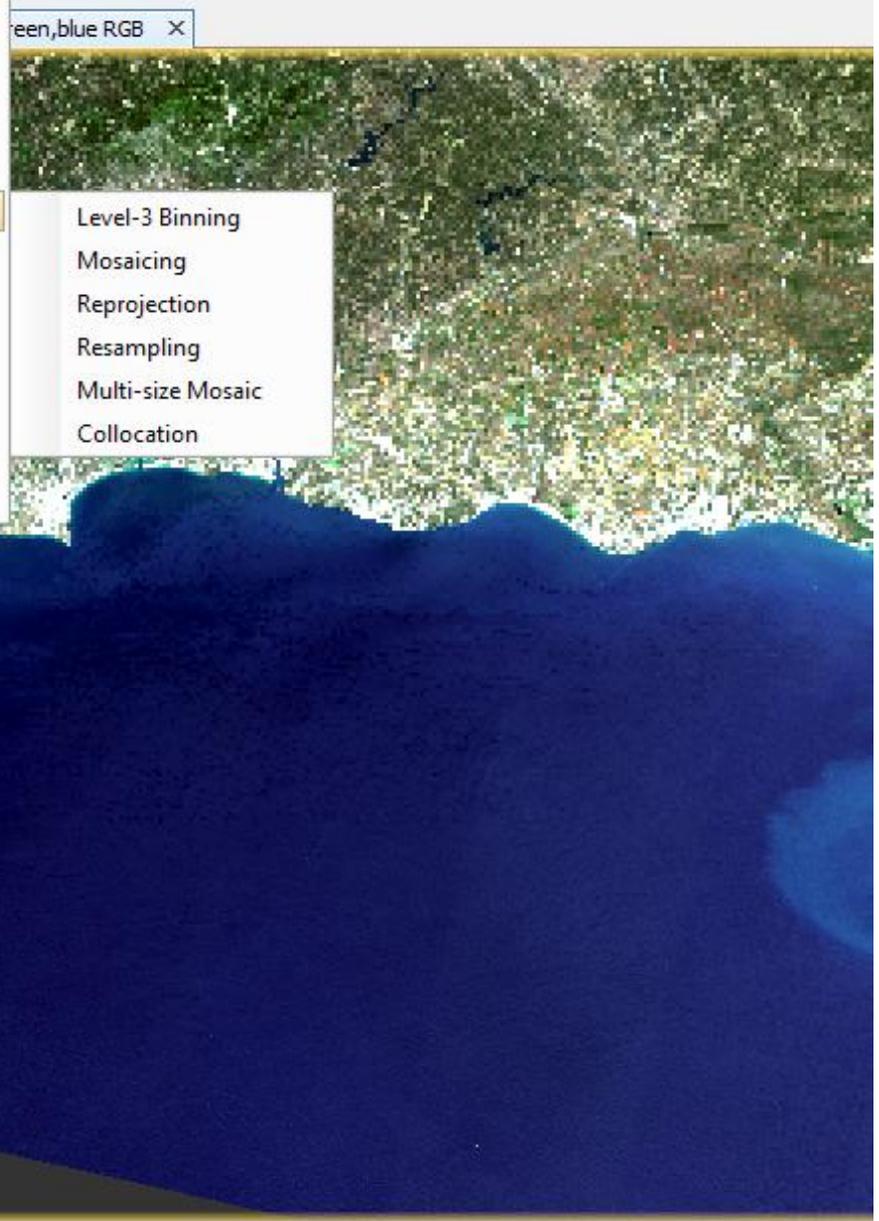
Esta técnica só faz muito sentido se o fim for a interpretação visual da imagem interpolada mas não deveria ser usada nos casos de análise numérica dos valores radiométricos.



Product Explorer × **Pixel Info**

- [1] LC08_L1TP_203034_20170523
- Metadata
- Flag Codings
- Vector Data
- Bands
- Masks

- Band Maths...
- Filtered Band...
- Convert Band
- Propagate Uncertainty...
- Geo-Coding Displacement Bands...
- Subset...
- Geometric Operations** >
- DEM Tools >
- Masks >
- Data Conversion >
- Image Analysis >
- Classification >
- Segmentation >
- Export >

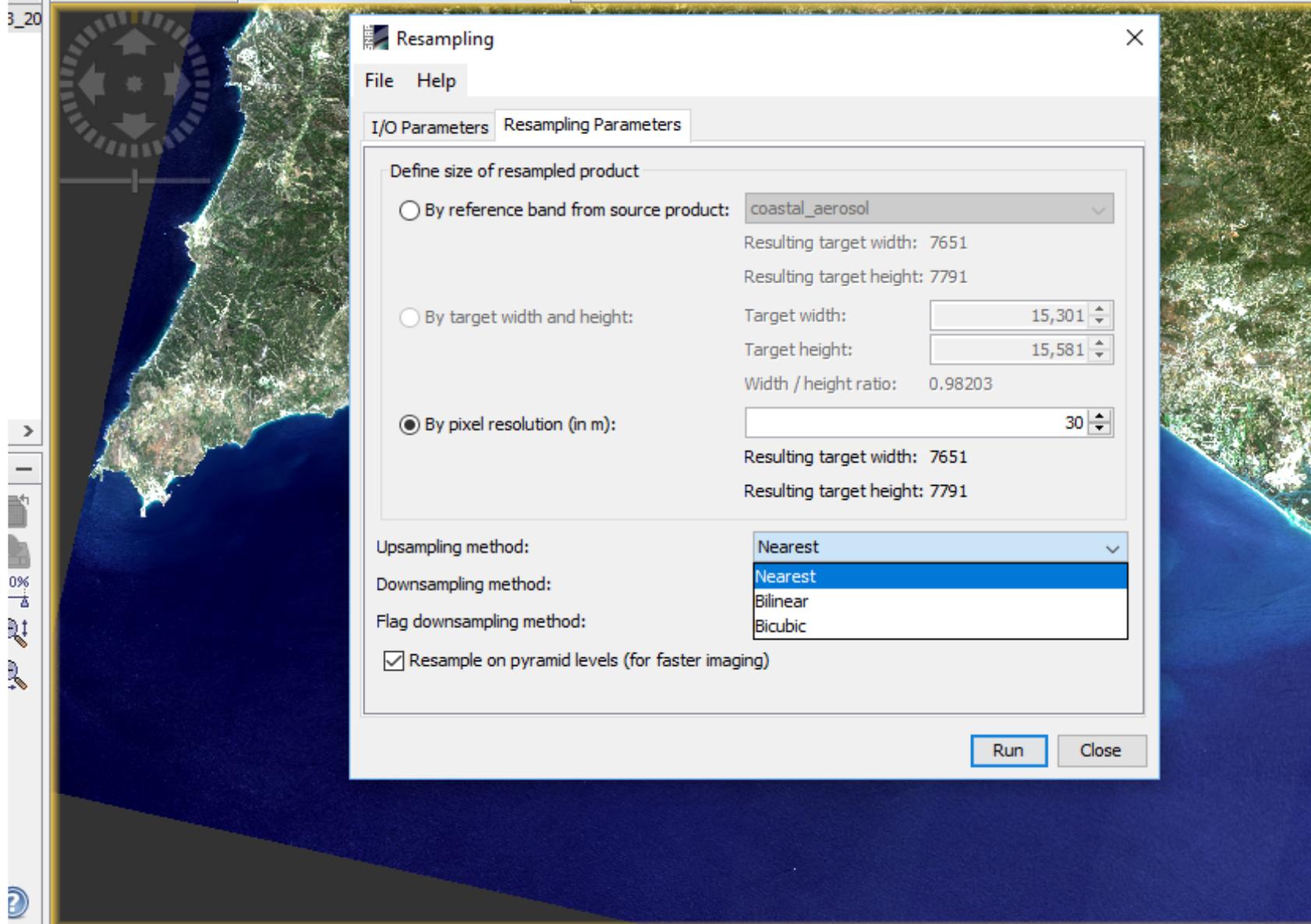


Red Green Blue

Name: red
Unit: $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
Min: 13.515
Max: 257.919
Rough statistics!

14.95 76.53

More Options ?



Resampling

File Help

I/O Parameters Resampling Parameters

Define size of resampled product

By reference band from source product: coastal_aerosol
Resulting target width: 7651
Resulting target height: 7791

By target width and height: Target width:
Target height:
Width / height ratio: 0.98203

By pixel resolution (in m):
Resulting target width: 7651
Resulting target height: 7791

Upsampling method: Nearest

Downsampling method: Nearest
Bilinear
Bicubic

Flag downsampling method:

Resample on pyramid levels (for faster imaging)

Run Close



Reprojection

File Help

I/O Parameters Reprojection Parameters

Coordinate Reference System (CRS)

Custom CRS

Geodetic datum: World Geodetic System 1984

Projection: Geographic Lat/Lon (WGS 84)

Projection Parameters...

Predefined CRS Select...

Use CRS of ...

Output Settings

Preserve resolution Reproject tie-point grids

Output Parameters... No-data value: NaN

Add delta lat/lon bands Resampling method: Nearest

Output Information

Scene width: 19228 pixel	Center longitude: 7°45'44" W
Scene height: 15582 pixel	Center latitude: 37°28'09" N
CRS: WGS84(DD)	Show WKT

Run Close

Exercícios

1. Calcule a irradiância solar no topo da atmosfera. Considere que a temperatura do Sol é de cerca 5800°K. O seu raio é $r = 6.96 \cdot 10^8$ m e a sua distancia à Terra $D = 1.50 \cdot 10^{11}$ m.

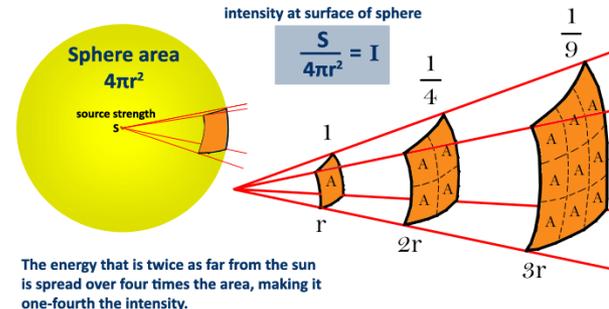
Podemos considerar que o Sol emite radiação no interior dum cone que tem como base o disco solar (r) e como altitude a distancia Sol-Terra (d). No topo da atmosfera a irradiância do Sol é dada por:

$$E_{\lambda}^0 = L_{\lambda} \times \frac{\text{área do disco solar}}{(\text{distancia à Terra})^2}$$

$$E_{\text{TOP}} = 1367 \text{ Wm}^{-2}$$

irradiância média exo-atmosférica (600-800 km)

Este valor médio, designado por **constante solar**, foi adotado como padrão pela Organização Meteorológica Mundial.



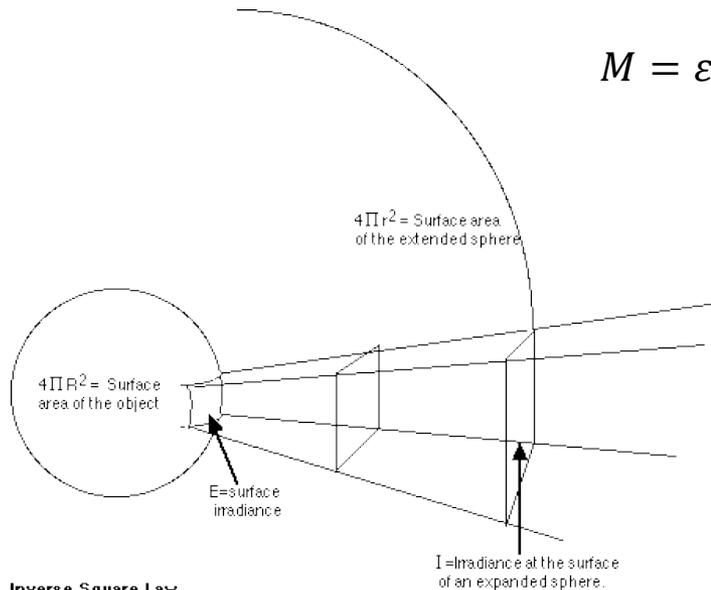


Exercícios

A emitância radiante M do Sol, integrada sobre todos os comprimentos de onda é

$$M = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 0.99 \times 5.67 \cdot 10^{-8} \times 5800^4 = 6.35 \cdot 10^7 \text{ Wm}^{-2}$$

$$E = \frac{M \text{ área do disco Solar}}{\pi (\text{distância à Terra})^2} = \frac{M \pi r^2}{\pi d^2}$$



Inverse Square Law

$$I = E(4\pi \times R^2)/(4\pi \times r^2)$$

I = irradiance at the surface of an expanded sphere.

E = irradiance at the surface of the object (sun).

$4\pi R^2$ = Surface area of the object

$4\pi r^2$ = Surface area of the extended sphere

$$E = \frac{6.35e7 \times (6.96e8)^2}{(1.5e11)^2} = 1367 \text{ W m}^{-2}$$

r é o raio do Sol

d é a distância do Sol à Terra

2. De acordo com a lei do deslocamento de Wiens qual é o comprimento de onda de máxima emitância do Sol? (considere a temperatura de 5800 K)

3. Considere um pixel com os valores (75, 36, 29, 123, 103) nas primeiras 5 bandas de uma imagem Landsat 7 ETM+. Quais os valores de radiância espectral para o pixel nas 5 bandas?

4. Considerando os dados do problema 3, determine o valor do índice de vegetação NDVI para esse pixel e interprete o valor. A imagem foi adquirida no dia 6 de Julho de 2007. O Sol tinha no momento da aquisição da imagem num azimute de 122.8° e uma elevação de 64.5° .



L7 ETM+ Sensor ($Q_{calmin} = 1$ and $Q_{calmax} = 255$)

Band	Spectral range	Center wavelength	$L_{MIN\lambda}$	$L_{MAX\lambda}$	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$	$ESUN_{\lambda}$
Units	μm		$W/(m^2 sr \mu m)$		$(W/m^2 sr \mu m)/DN$	$W/(m^2 sr \mu m)$	$W/(m^2 \mu m)$
<i>Low gain (LPGS)</i>							
1	0.452–0.514	0.483	–6.2	293.7	1.180709	–7.38	1997
2	0.519–0.601	0.560	–6.4	300.9	1.209843	–7.61	1812
3	0.631–0.692	0.662	–5.0	234.4	0.942520	–5.94	1533
4	0.772–0.898	0.835	–5.1	241.1	0.969291	–6.07	1039
5	1.547–1.748	1.648	–1.0	47.57	0.191220	–1.19	230.8
6	10.31–12.36	11.335	0.0	17.04	0.067087	–0.07	N/A
7	2.065–2.346	2.206	–0.35	16.54	0.066496	–0.42	84.90
PAN	0.515–0.896	0.706	–4.7	243.1	0.975591	–5.68	1362
<i>High Gain (LPGS)</i>							
1	0.452–0.514	0.483	–6.2	191.6	0.778740	–6.98	1997
2	0.519–0.601	0.560	–6.4	196.5	0.798819	–7.20	1812
3	0.631–0.692	0.662	–5.0	152.9	0.621654	–5.62	1533
4	0.772–0.898	0.835	–5.1	157.4	0.639764	–5.74	1039
5	1.547–1.748	1.648	–1.0	31.06	0.126220	–1.13	230.8
6	10.31–12.36	11.335	3.2	12.65	0.037205	3.16	N/A
7	2.065–2.346	2.206	–0.35	10.80	0.043898	–0.39	84.90
PAN	0.515–0.896	0.706	–4.7	158.3	0.641732	–5.34	1362



Exercício

5 Sabendo que a irradiância espectral no topo da atmosfera é em média $230.8 \text{ Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ para a banda 5 do Landsat ($1.547\text{-}1.748\mu\text{m}$), que a transmissividade atmosférica na direção do Sol é 0.91 e que a radiação difusa é nula para essa banda, estime a irradiância à superfície para essa banda.

$$L_{\lambda}^s(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x, y)) + F(x, y) \cdot E_{\lambda}^d \} + L_{\lambda}^{sp}(x, y)$$

6 Suponha que um determinado pixel na banda ($0.79\text{-}0.89 \mu\text{m}$) tem um valor de radiância de $90 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e que a irradiância à superfície nessa banda no instante da aquisição da imagem é de $900 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$. Suponha ainda que a transmissividade atmosférica na direção do sensor nessa banda do espectro é de 0.91. Com base na informação de que dispõe, estime a reflectância da parcela de terreno correspondente a esse pixel da imagem.



Exercícios

7. Suponha que dispõe de uma imagem de alta resolução de uma pequena área essencialmente plana que quer georreferenciar no Sistema ETRS89-PTTM06 usando três pontos de control com as seguinte sposições (coluna, linha) na imagem de alta resolução: $(1000,800)$, $(10000,20000)$, $(15000, 5000)$. Os mesmos pontos têm coordenadas (M,P) respectivamente $(-5, 15)$, $(29, 38)$ $(15,5)$ no Sistema PTTM06. Suponha que a transformação de coordenadas é uma transformação polinomial de primeiro grau. Escreve o sistema de equações que define a transformação de coordenadas
