



# Deteção Remota e Processamento Imagem

Licenciatura em Engenharia GeoEspacial  
Licenciatura em Tecnologias da Informação  
João Catalão / Fernando Soares  
2025 / 2026

---

## Antes das aulas:

1. Instalação do software SNAP (Science Toolbox exploitation platform)  
<http://step.esa.int/main/download/snap-download/>
  
  2. Dowload dos dados de cada laboratório na plataforma CIRRUS  
Server address: cirrus.ciencias.ulisboa.pt
- 

## Laboratório 3: Temperatura da superfície

([http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/thematic\\_tutorial\\_temperature.html](http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/thematic_tutorial_temperature.html))

Imagen Landsat-9: (escolher apenas uma das imagens)

Verão: LC09\_L1TP\_204033\_20240914\_20240914\_02\_T1.tar

Inverno: LC09\_L1TP\_204033\_20240203\_20240203\_02\_T1.tar

Este tutorial é sobre a estimativa da temperatura da superfície com recurso a imagens Landsat-9. A temperatura da superfície é dependente da emissividade da superfície que por sua vez é dependente da ocupação do solo. Por isso, vamos numa primeira fase determinar a ocupação do solo para calcular a emissividade da superfície. A relação entre a emissividade e a ocupação do solo é apresentada na tabela 2.1.

**Tabela 3.1** Valores de emissividade para alguns tipos de ocupação do solo.

Ocupação do solo	Emissividade (e)
Água	0.98
Urbano	0.94
Vegetação	0.98
Solo nu	0.93

Será usada a banda do infravermelho térmico (B10, TIRS) para calcular a temperatura da superfície e avaliar a diferença de temperatura entre a cidade e as zonas rurais e estudar o fenómeno das ilhas de calor.

Neste laboratório iremos converter a temperatura de brilho ao nível do satélite (@ Satellite Brightness Temperature) em Temperatura da superfície.

Algoritmo:

1. Conversão para TOA refletância e temperatura de brilho
2. Classificação de imagem: Classes: água, construção, vegetação e solo nu.
3. Reclassificar a ocupação do solo em emissividade (ver valores da tabela)
4. Converter a temperatura ao nível do satélite para temperatura da superfície (equação 1). Para este efeito é usada a banda 10 do Landsat-9 (10.8 um)

### 1. Conversão para TOA refletância e temperatura de brilho

Para o satélite Landsat-9 a radiância espectral ( $L_\lambda$ ) ao nível da abertura do sensor é dada por:

$$L_\lambda \text{ (Watts m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}) = M_L * Q_{cal} + A_L$$

em que:

- $M_L$  = Fator multiplicativo específico de cada banda (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, em que x é o numero da banda)
- $A_L$  = Fator aditivo específico de cada banda (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x, em que x é o número da banda)
- $Q_{cal}$  = Valor do pixel calibrado (DN)

Exemplo:

$$\text{RADIANCE\_MULT\_BAND\_10} = 3.3420\text{E-04}$$

$$\text{RADIANCE\_MULT\_BAND\_11} = 3.3420\text{E-04}$$

$$\text{RADIANCE\_ADD\_BAND\_10} = 0.10000$$

$$\text{RADIANCE\_ADD\_BAND\_11} = 0.10000$$

No caso do Landsat, as imagens de radiância podem ainda ser convertidas para refletâncias TOA de modo a reduzir a variabilidade inter-imagem através de uma normalização da irradiância solar. A refletância TOA é calculada como:

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

em que:

- $L_\lambda$  é a radiância espectral ao nível do satélite
- $d$  = distância da terra ao Sol em unidades astronómicas (valor fornecido no ficheiro de metadados. É também disponibilizado um ficheiro excel com a distância para cada dia do ano: [http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/excel\\_docs/d.xls](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/excel_docs/d.xls))
- $ESUN\lambda$  = Irradiancia solar exo-atmosférica
- $\theta_s$  = Angulo zenital Solar em graus, que é igual a 90 graus menos o ângulo de elevação ( $\theta_s = 90^\circ - \theta_e$ , em que  $\theta_e$  é a elevação do Sol).

As imagens Landsat são disponibilizadas com um ficheiro de metadados que contem os parâmetros de escala para cada banda que permitem a conversão direta de radiâncias para refletâncias TOA.

Exemplo:

REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_1 = 2.0000E-05  
REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_1 = -0.100000

Para as bandas térmicas, a conversão de radiâncias para temperatura do brilho ( $T_B$ ) ao nível do satélite é dada por:

$$T_B = K_2 / \ln[(K_1 / L_\lambda) + 1] \quad (\text{eq. 1})$$

em que

- $K_1$  = Band-specific thermal conversion constant (in watts m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> μm<sup>-1</sup>)
- $K_2$  = Band-specific thermal conversion constant (in Kelvin)
- $L_\lambda$  é a radiância espectral ao nível do satélite (em watts.m<sup>-2</sup>.sr<sup>-1</sup>.μm<sup>-1</sup>).

Para o **Landsat 9**, os valores de  $K_1$  e  $K_2$  são fornecidos no ficheiro de metadados.

Exemplo:

K1\_CONSTANT\_BAND\_10 = 799.0284;  
K2\_CONSTANT\_BAND\_10 = 1329.2405

$K_1$  and  $K_2$  are calculated as (Jimenez-Munoz & Sobrino, 2010):

$$K1 = c1 / \lambda^5$$

$$K2 = c2 / \lambda$$

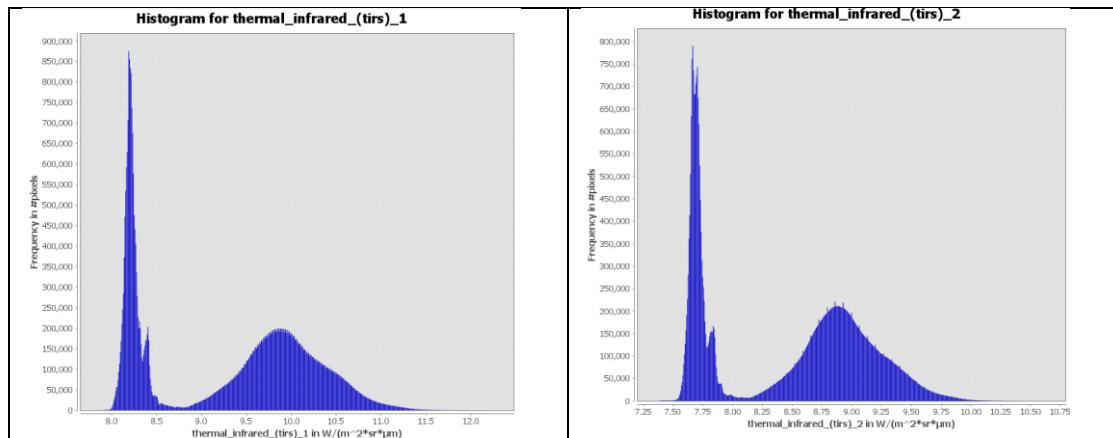
where (Mohr, Newell, & Taylor, 2015):

- $c_1 = \text{first radiation constant} = 1.191 \times 10^{-16} \text{ W m}^2 \text{ sr}^{-1}$
- $c_2 = \text{second radiation constant} = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ mK}$

### Início do laboratório

#### a) Cálculo da radiância ao nível do sensor

1. Abrir a ficheiro imagem Landsat-9 (cirrus Laboratorio 3)
2. Ver os metadados
3. Guardar a imagem em formato BEAM-DIMAP
4. Fazer Histograma da banda 10 e 11.



#### 5. Conversão em radiância

As imagens estão em radiâncias. Ver as unidades dos pixels no “Pixel Info”.  
Verificar também o header da imagem “thermal\_infrared\_(tirs)\_1.hdr”

#### b) Temperatura de Brilho ao nível do satélite

Landsat Metada (*MTL.txt)	<pre> GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS K1_CONSTANT_BAND_10 799.0284 K2_CONSTANT_BAND_10 1329.2405 K1_CONSTANT_BAND_11 475.6581 K2_CONSTANT_BAND_11 1198.3494 END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS </pre>
---------------------------------	--

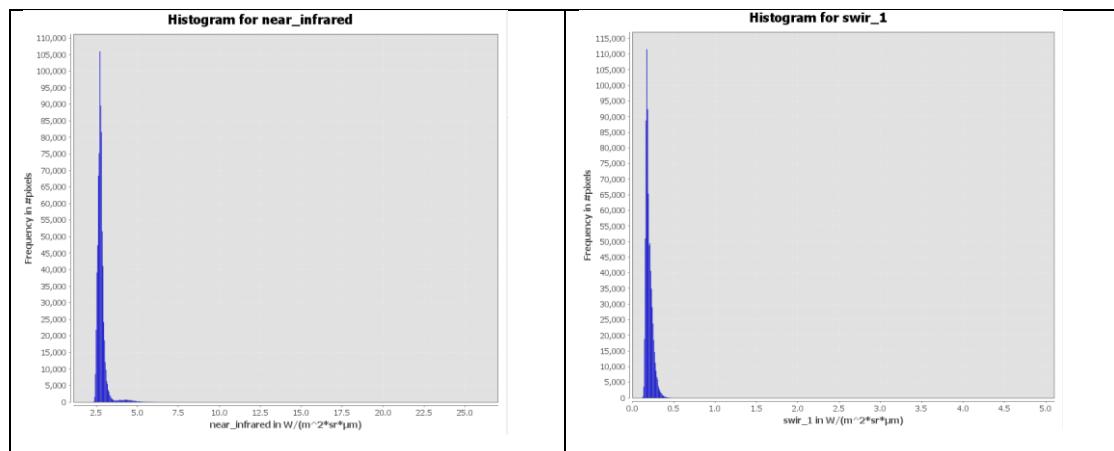
#### 1. bandMath:

$$TB_{TIRS1} = 1329.2405 / \log(799.0284 / L_{TIRS1} + 1)$$

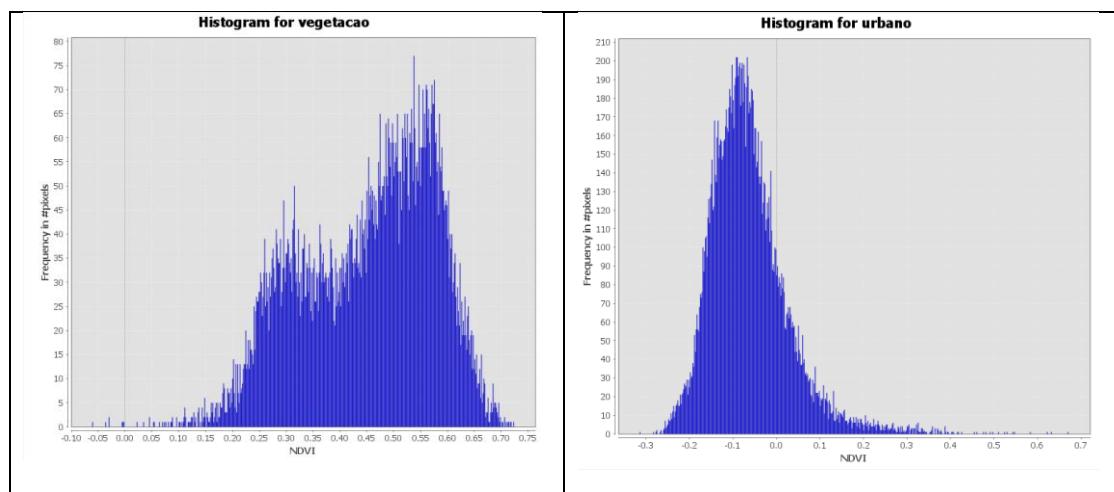
2. Efetuar o mesmo para a banda 11 (TIRS2)

c) **Classificação da cobertura do solo**

1. Reamostragem das bandas para 30 m (já estão a 30 m)
2. Cálculo do NDVI
3. Água: usar a banda do infravermelho ( $IV < 5 \text{ w/m}^2$ )



4. Vegetação: usar o NDVI ( $NDVI > 0.25$ )



5. Urbano :  $NDVI < 0.1$  & ~agua
6. Solo\_nu:  $NDVI > 0.1$  &  $NDVI < 0.25$
7. Aplicar filtro para eliminar píxeis isolados  
Filter > Convolution and morphology > median

8. Reclassificar os píxeis

BandMath:  $0.93 * (\text{urbano} == 1) + 0.98 * (\text{agua} == 1) + 0.98 * (\text{vegetacao} == 1) + 0.94 * (\text{solo_nu} == 1)$

Output image: Emissividade

**d) Temperatura da superfície**

A temperatura da superfície é calculada a partir da temperatura do brilho ao nível do satélite como:

$T = TB / [1 + (\lambda * TB / c^2) * \ln(e)]$	<b>Equação de Plank</b> $L_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad Wm^{-3}sr^{-1}$
--	---

Em que:

- $\lambda$  = wavelength of emitted radiance
- $c^2 = h * c / s = 1.4388 * 10^{-2} m K = 14388 \mu m K$
- $h$  = Planck's constant =  $6.626 * 10^{-34} J s$
- $s$  = Boltzmann constant =  $1.38 * 10^{-23} J/K$
- $c$  = velocity of light =  $2.998 * 10^8 m/s$

Para o Landsat-9 o comprimento de onda da banda 10 e 11 é : 10.8 e 12μm respetivamente.

1. Usar Bandmath para calcular a temperatura da superfície.

Temperatura=  $Tb / (1 + (10.8 * Tb / 14388) * \log(\text{emissividade})) - 273$  (para converter em Celsius)

Tb: imagem temperatura de brilho (TB\_TIRS1)

emissividade: imagem emissividade

2. Mudar a Color Table (derived 8 color)