

Terra em Foco

Conferência Nacional de Observação da Terra

17-18 Março 2026

Coimbra



Upscaling Sentinel-2 images for land cover mapping using Generative Adversarial Networks (GAN) trained on aerial orthoimages

João Catalão, Sara Pires, Ana Navarro

IDL, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

jcfernandes@ciencias.ulisboa.pt

Spatial Resolution as a Function of Wavelength

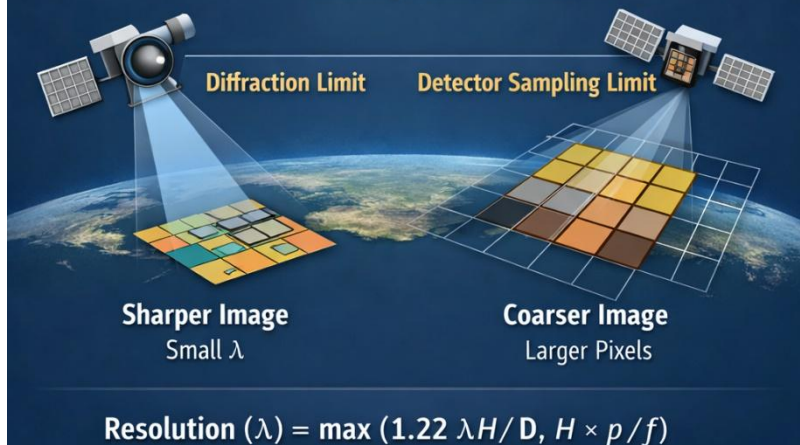
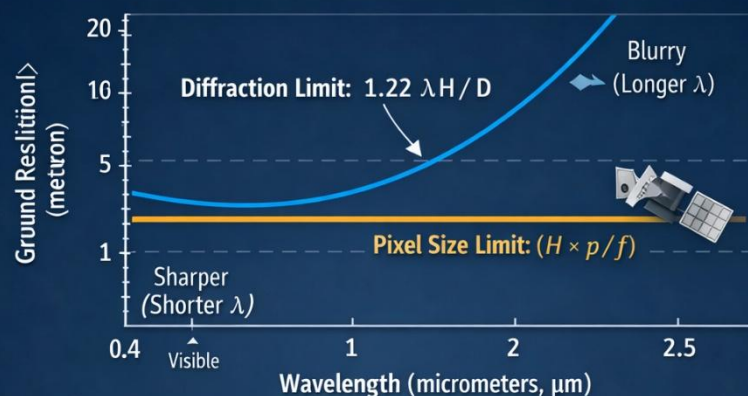
● Diffraction Limit:

Sharpness drops with longer wavelength (λ)



● Detector Sampling:

Pixel size limits the achieved resolution



Há um limite físico para o aumento da resolução espacial das imagens de satélite, que depende do comprimento de onda da radiação

Exemplo do Sentinel-2

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

$$\theta = H \frac{p}{f}$$





Using the Rayleigh criterion:

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

$$\text{Resolução espacial} = H \cdot \theta = 1.22 \frac{H\lambda}{D}$$

For **orbit altitude (H = 780,000) m**:

Blue band ($\lambda = 0.45 \mu\text{m}$)

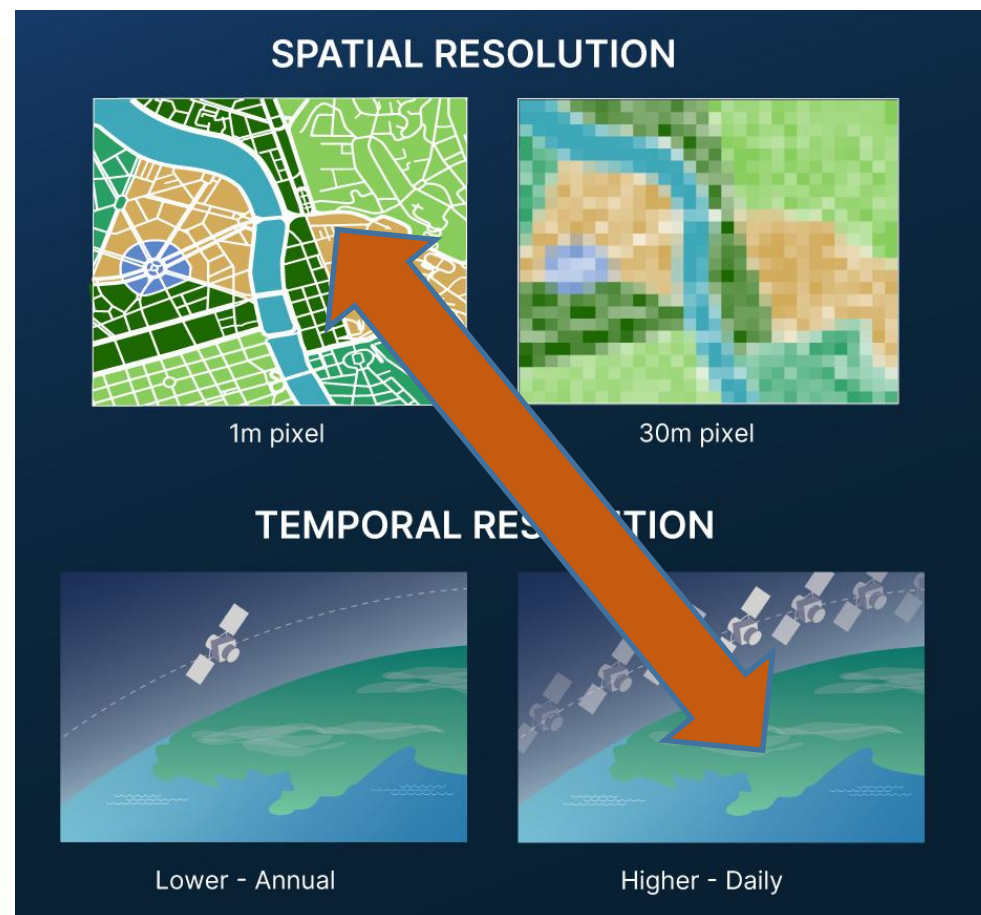
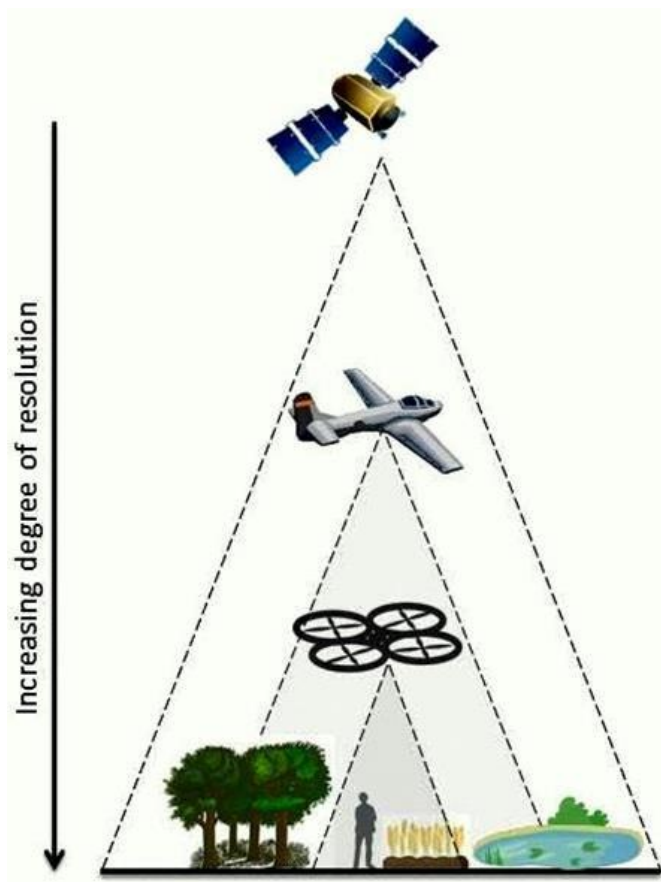
$$GSD = 1.22 \frac{0.45 \cdot 10^{-6} \cdot 780000}{D}$$

Example numbers (best-case) for common apertures

Aperture (D)	Blue (~0.45 μm)	10 μm (thermal IR)
0.20 m	~2.1 m	~47.6 m
0.30 m	~1.4 m	~31.7 m
1.00 m	~0.43 m	~9.5 m

Reality check

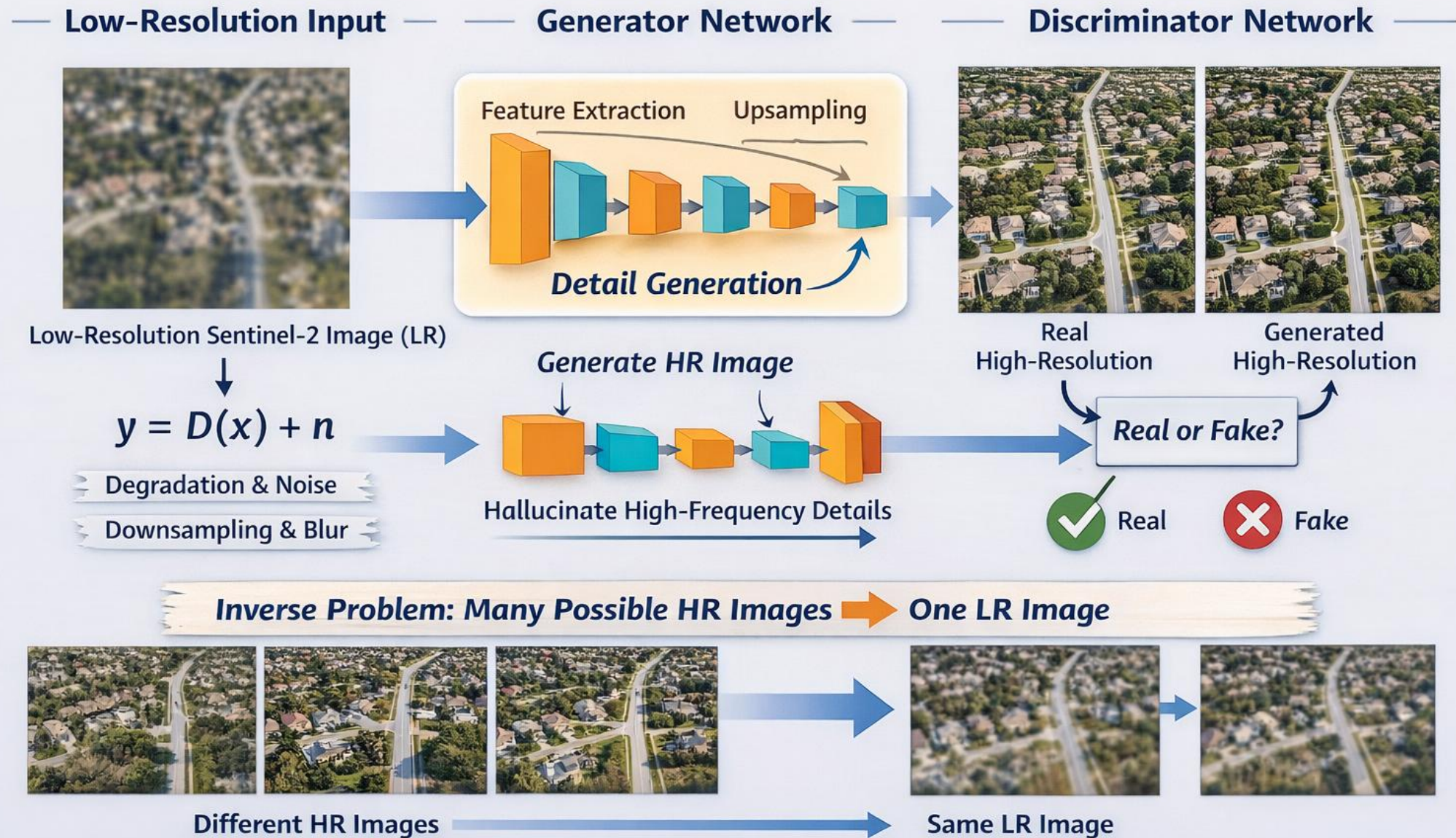
Actual delivered pixel size (GSD) is often **worse than the diffraction limit** because of sampling (Nyquist), optical aberrations, motion smear, and SNR constraints — especially in thermal IR.



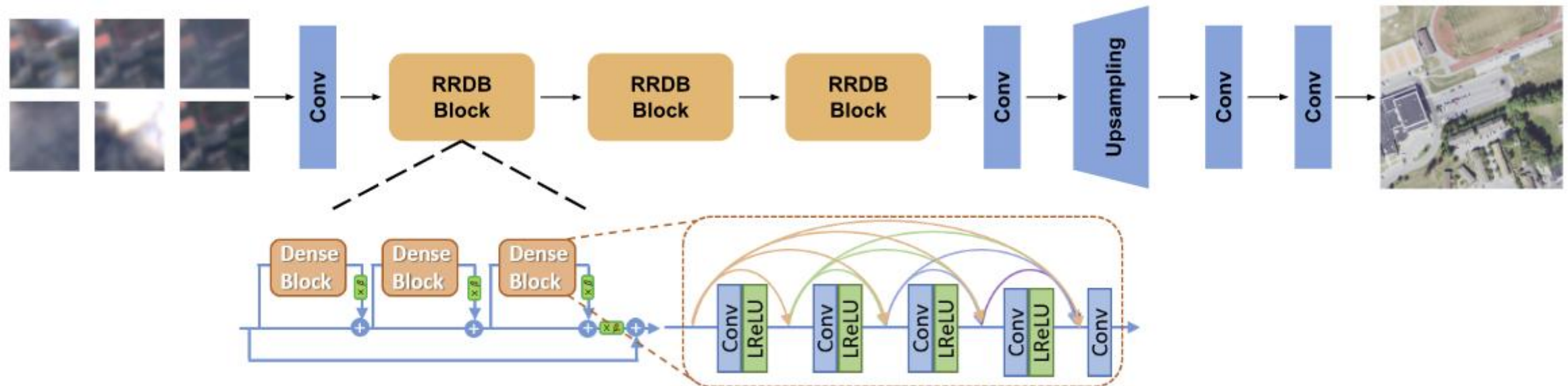
Disponibilizar, com frequência mensal, imagens de alta resolução espacial.

Generative Adversarial Networks (GAN)

Problema não determinado



ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks



Super-Resolution Model Architecture

Ria Formosa

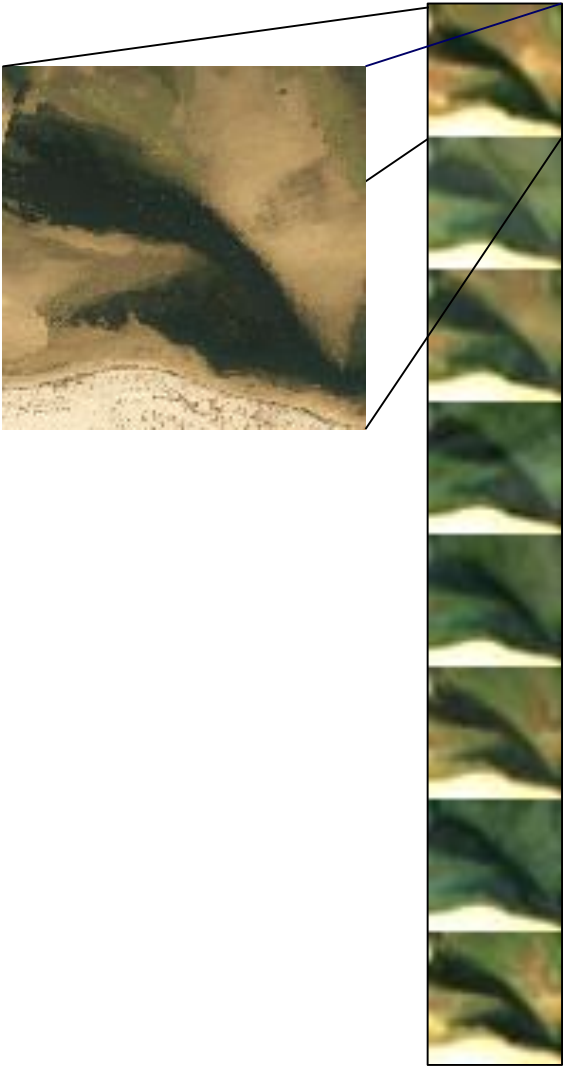


ortolmagem



128 x 128 px

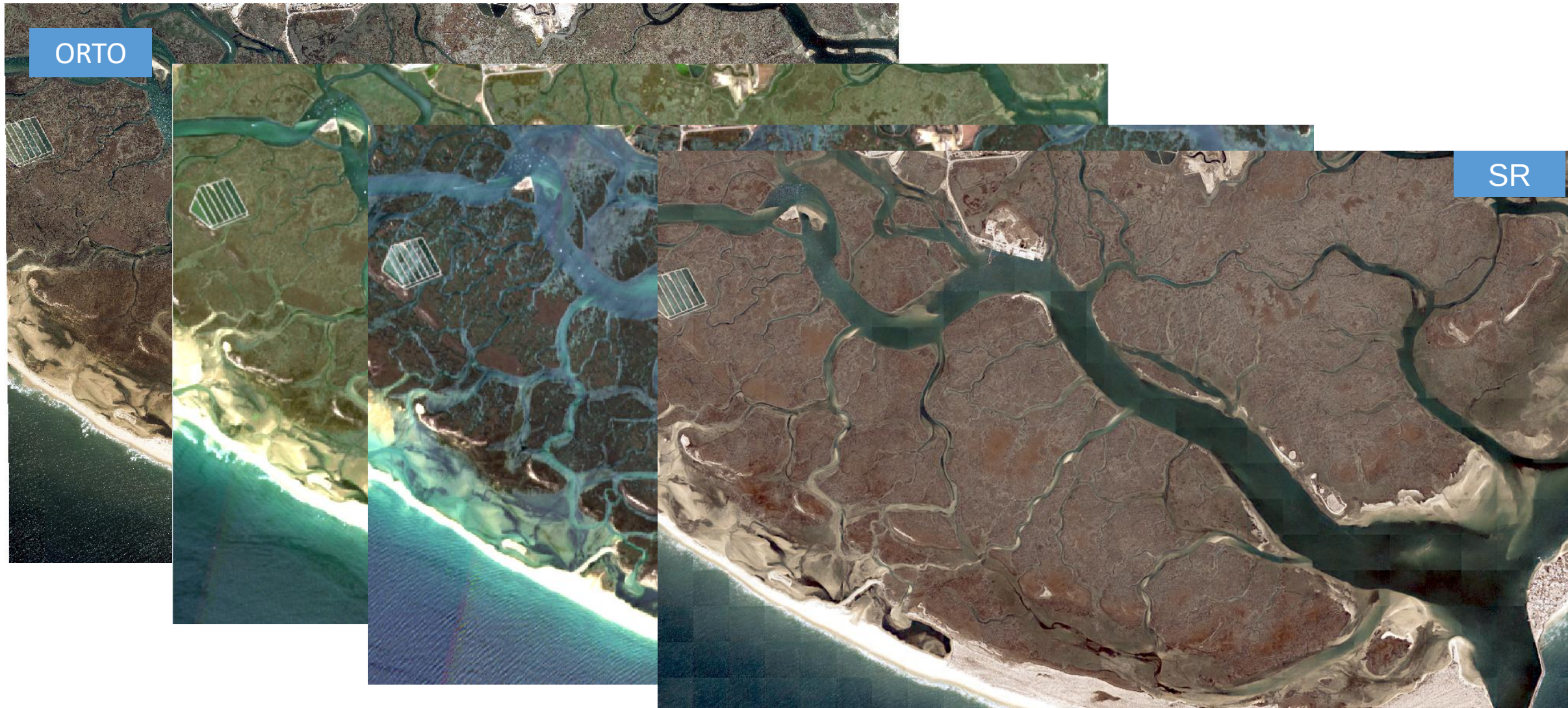
S2



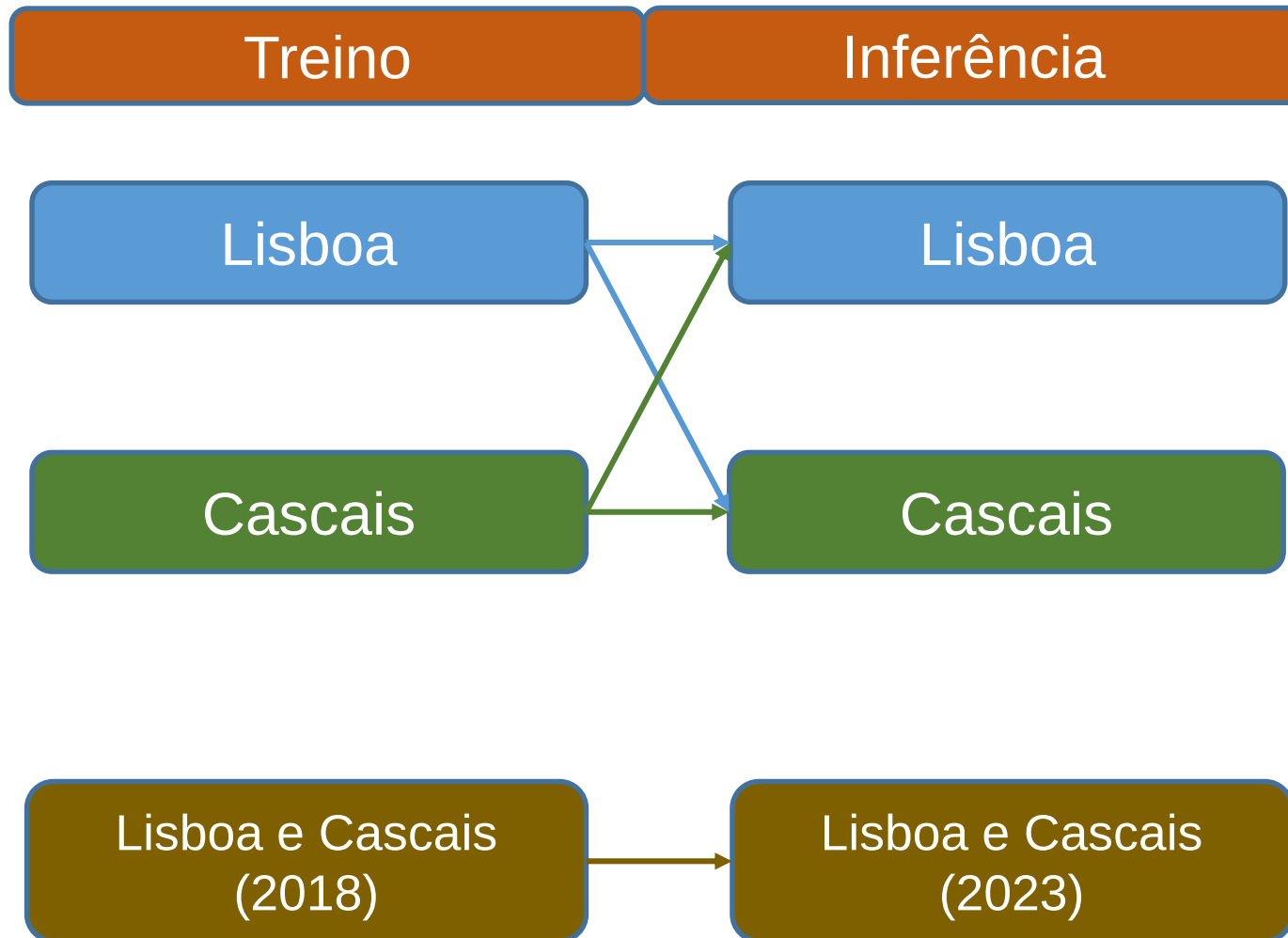
32 x 32 px

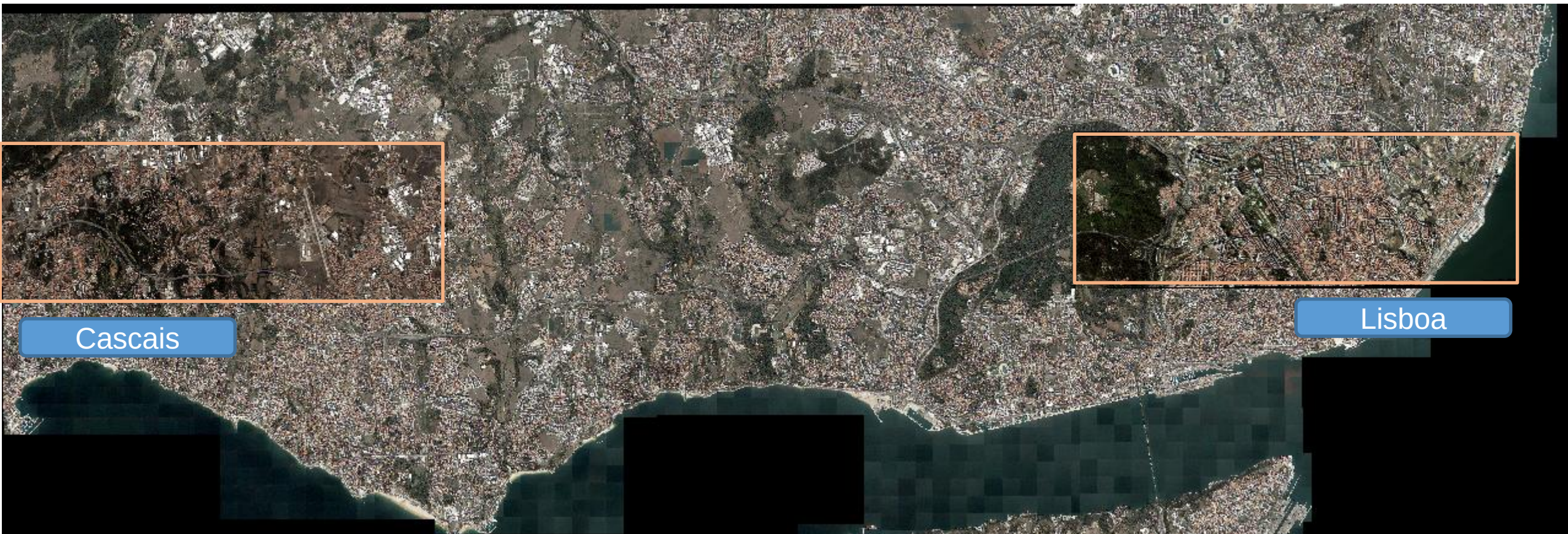
Lisboa Cascais











Cascais

Lisboa

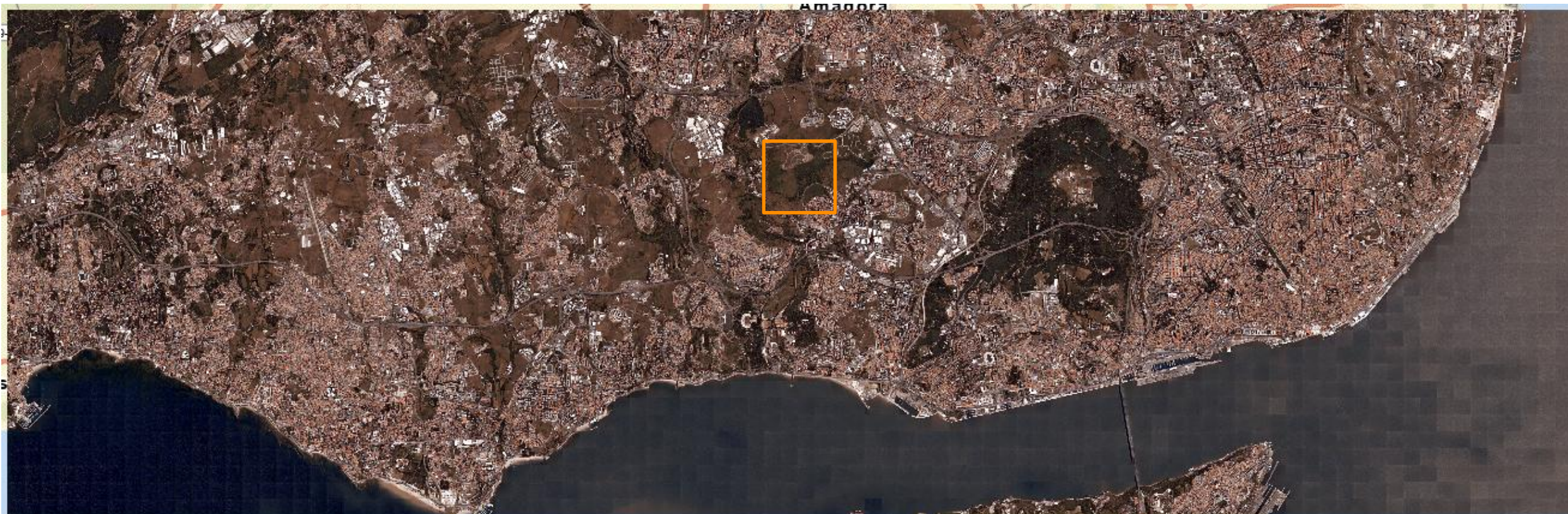


Treino	Inferência	PSRN (dB)	SSIM	SAM (graus)	MSE	R2
Lisboa	Lisboa	18.05	0.477	9.08	0.020	0.49
Lisboa	Cascais	17.29	0.428	9.69	0.019	0.35
Cascais	Cascais	18.51	0.495	8.04	0.017	0.34
Cascais	Lisboa	17.58	0.465	8.25	0.025	0.26
--	S2- Lisboa (2023)	12.76	0.378	13.71	0.094	-0.056
	S2- Cascais	13.20	0.370	16.06	0.085	-0.41

MSE (Mean Square Error)
PSRN (Peak Signal-to-Noise Ratio)
Fidelidade espacial
(40-50 db mt Bom; < 20 fraco)

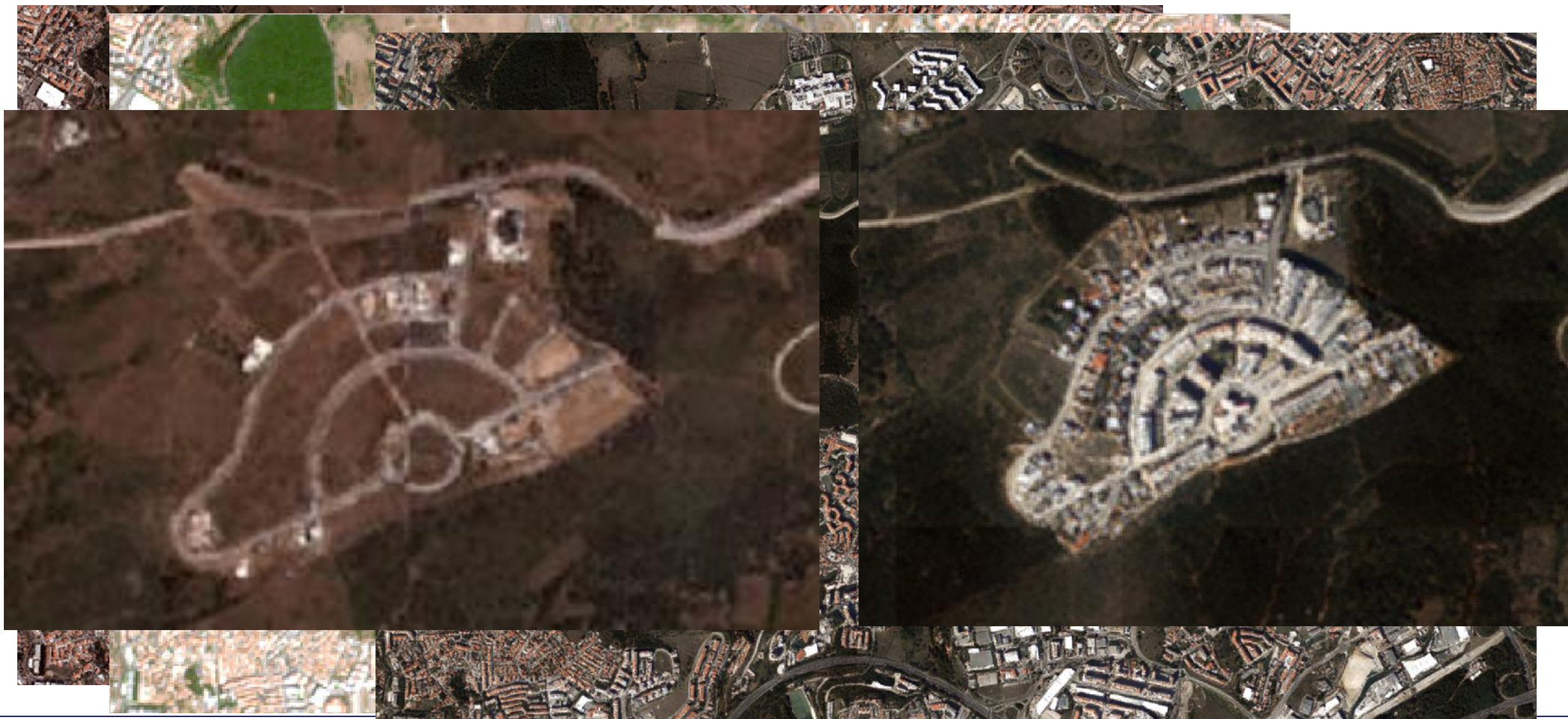
SAM (Spectral Angle Mapper):
menos sensível à escala de
iluminação.
(< 3 excelente; > 12 fraco)

SSIM (Structural Similarity Index Measure).
Capta a similaridade estrutural
entre píxeis.
(=1 imagens iguais; 0 diferentes)



2018 - 2023

Deteção de alterações

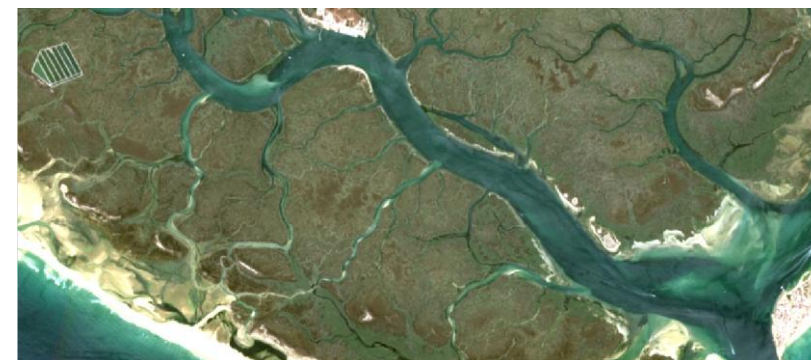






- As GANs mostram potencial para gerar produtos mensais com maior detalhe (aparente) a partir do Sentinel-2.
- Os resultados sugerem utilidade prática para a cartografia da ocupação do solo e para a deteção de alterações em meios urbanos ou artificializados.
- Desafio: aplicabilidade à classificação da ocupação do solo.
- O resultado é mais adequado ao apoio à interpretação e à monitorização do que ao uso como substituto direto de imagem de alta resolução.

A super-resolução não cria informação nova, mas pode tornar o Sentinel-2 mais útil para interpretar e monitorizar o território.



Ria Formosa — maior definição dos canais e limites água/solo



Lisboa/Cascais — melhor leitura do tecido urbano e dos padrões espaciais