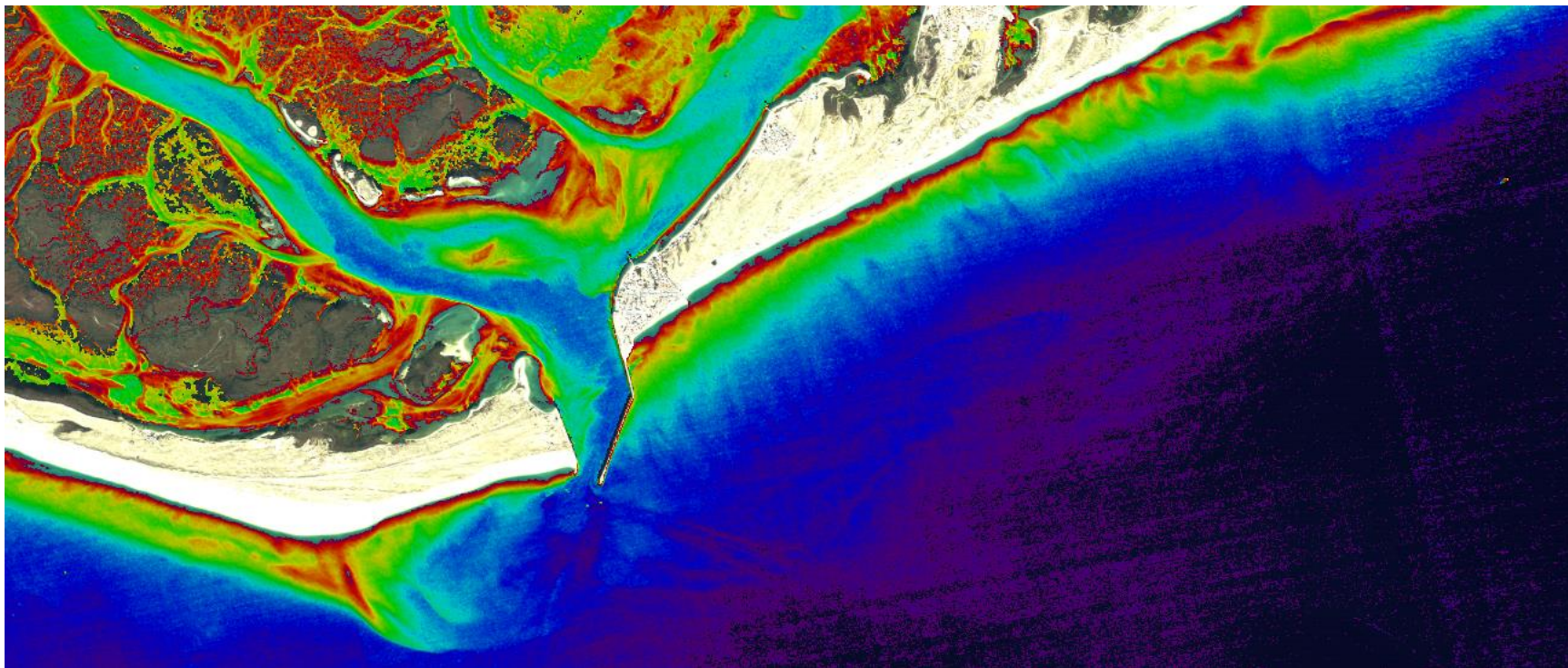




# A utilização de Imagens de Satélite Multiespectrais de Elevada Resolução Espacial para a Derivação de Batimetria

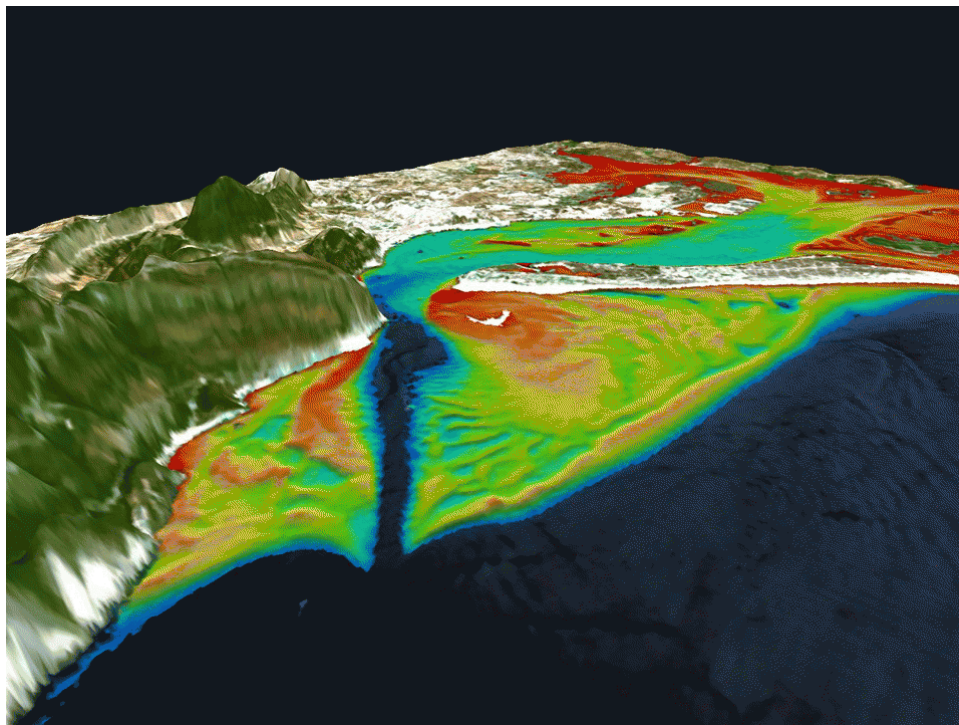


Rui Guerreiro ([xavier.guerreiro@hidrografico.pt](mailto:xavier.guerreiro@hidrografico.pt))

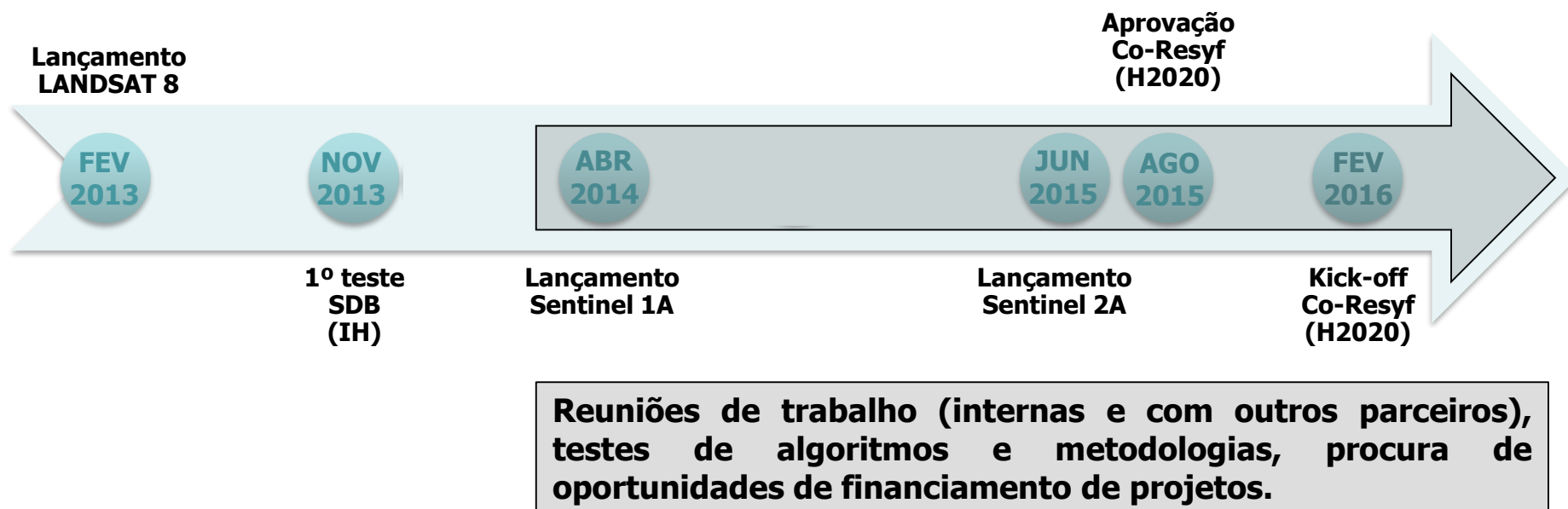
Ana Moura ([ana.moura@hidrografico.pt](mailto:ana.moura@hidrografico.pt))

## Agenda

- Introdução
- Objetivo
- Metodologia
- Casos de estudo
- Conclusões



## Introdução - Como chegamos até aqui?



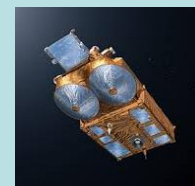


## Introdução - Técnicas de derivação de batimetria por satélite

### Radar

#### Altimetria da superfície do oceano

Grandes estruturas submersas como montes ou canhões submarinos provocam alterações no campo gravítico da terra.



CryoSat-2



Jason-2

#### Estudo do campo de ondas

Observação do comportamento de processos hidrodinâmicos que são influenciados por estruturas submersas.



TerraSAR-X



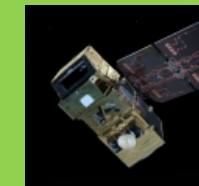
Sentinel 1A

#### Atenuação da luz solar na água

A luz solar é capaz de penetrar na água, percorrer a coluna de água até ao fundo marinho e voltar à superfície por reflexão.



Landsat 8

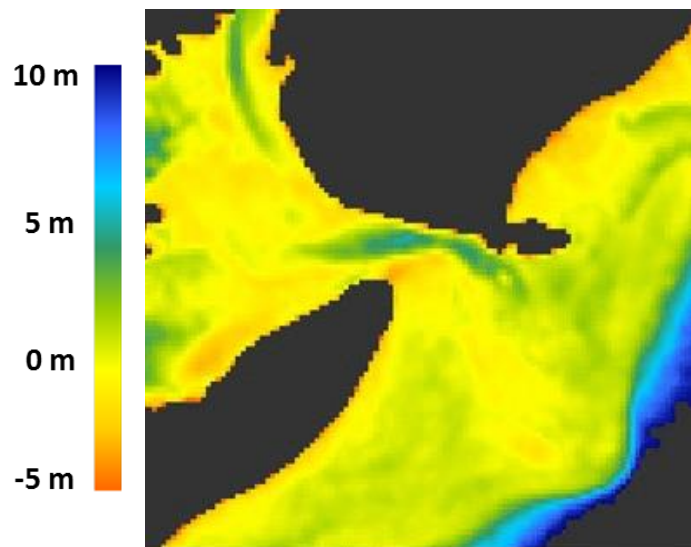


Sentinel 2A

### Imagens Multiespectrais

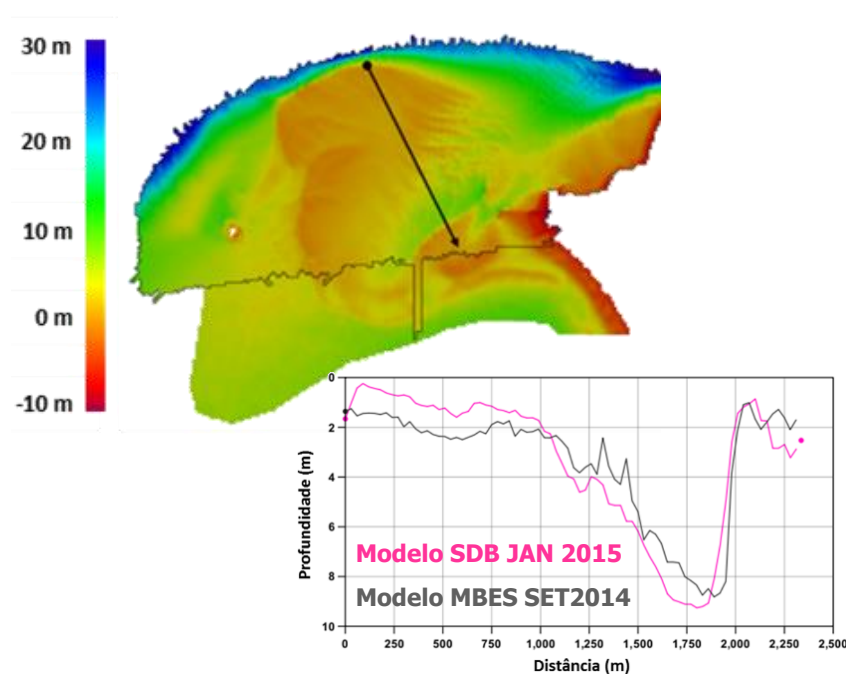
## Introdução - Experiência nas metodologias SDB com Imagens Multiespectrais Landsat 8

Séries Temporais  
Barra da Armona



2013/04/26

Comparação modelos batimétricos SDB - MBES  
Golada do Bugio



Guerreiro, R., e Moura A. (2015) Aplicação de uma Metodologia de Derivação de Batimetria a partir de Imagens de Satélite. VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Lisboa, 29-30 outubro.

## Objetivo do Estudo

Existindo no IH conhecimento adquirido na aplicação de uma metodologia SDB a imagens do satélite Landsat 8 (LS8), pretendeu-se adaptá-la:

- À utilização de imagens do satélite Sentinel 2A, disponibilizadas no âmbito do Programa Copernicus;
- À utilização de imagens do satélite Kompsat-3, cedidas (por oportunidade) pela SI Imaging Services.

Como objetivo final avaliaram-se:

- As mais-valias e constrangimentos resultantes da aplicação da metodologia já desenvolvida às novas imagens;
- Resultados por pares Sentinel 2A – Landsat 8 e Kompsat-3 – Landsat 8, confrontando-os com um Modelo Batimétrico obtido por um Levantamento Hidrográfico “tradicional” (MBES).

## Metodologia - Pressupostos para obter batimetria por imagens multiespectrais

- ✓ Capacidade da luz solar em penetrar na água, percorrer a coluna de água até ao fundo marinho e voltar à superfície por reflexão.
- ✓ Ocorre entre os 350 nm (ultra violeta) e os 700 nm (vermelho) em função das características e profundidade da coluna de água.
- ✓ Acima dos 550 nm (verde) é pouca a radiação solar que ultrapassa a dezena de metros.

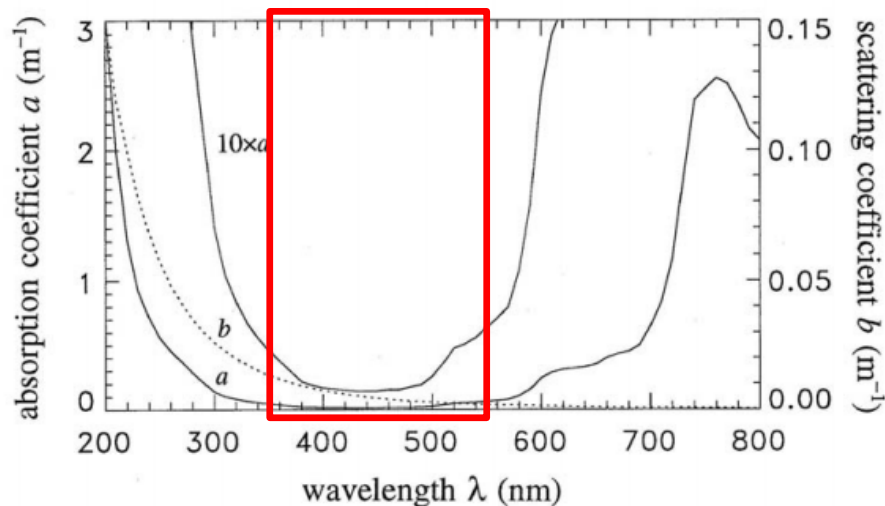


Fig. 3.6. Absorption (solid line) and scattering (dotted line) coefficients for pure sea water, as determined by Smith and Baker (1981).

Fonte - Mobley, C.D. (1994). Light and Water – Radiative transfer in Natural Waters. Academic Press.

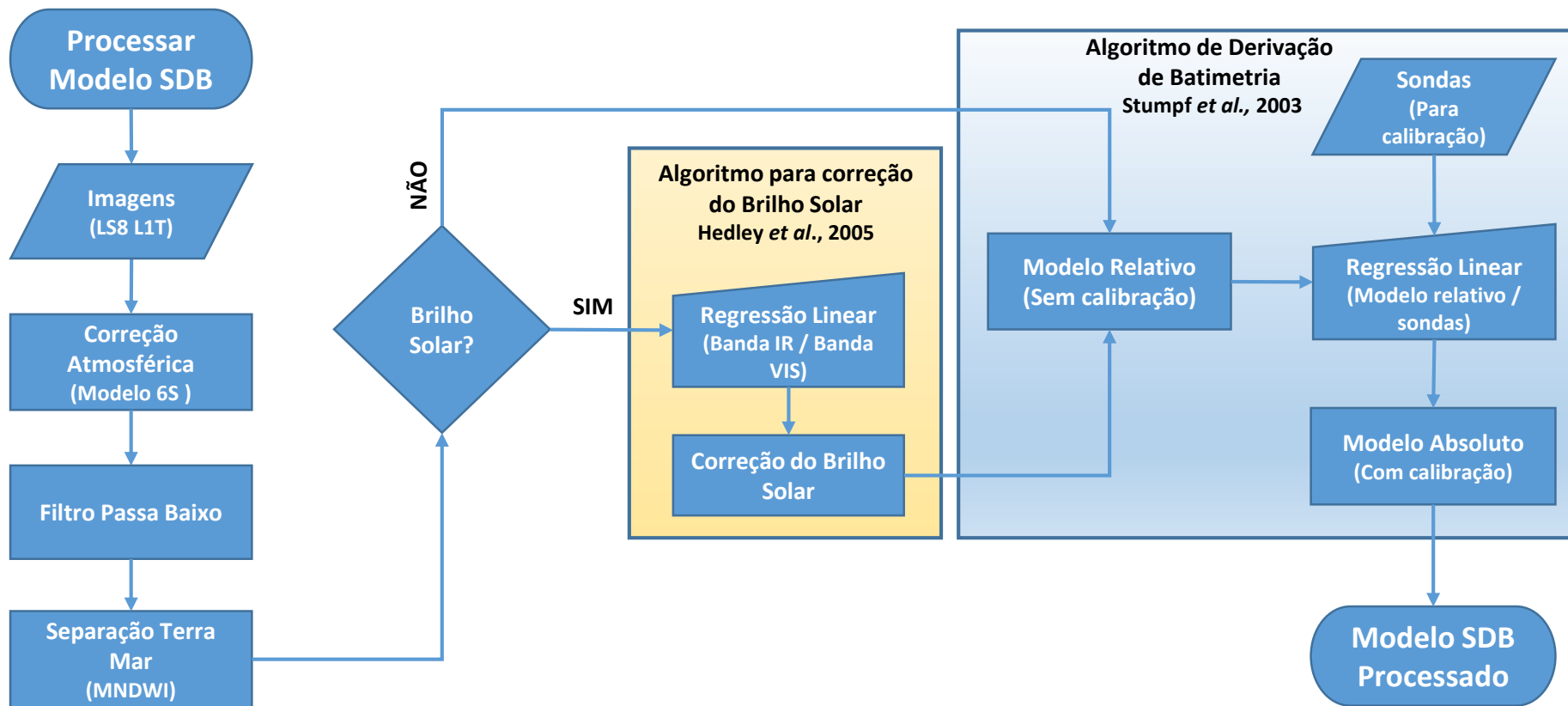


## Metodologia - Características das Imagens Utilizadas

Satélite (sensor)	Bandas	Resolução Espectral (nm)	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica
<b>Landsat 8 (OLI)</b>	2 - Blue	450 - 510	30 m	16 dias	16 bits
	3 - Green	530 - 590			
	5 - NIR	850 - 880			
<b>Sentinel 2A (MSI)</b>	2 - Blue	490 (65)	10 m	10 dias (5 dias com Sentinel 2B)	12 bits
	3 - Green	560 (35)			
	8 - NIR	842 (115)			
<b>Kompsat 3 (AEISS)</b>	1 - Blue	450 - 520	2,8 m	28 dias (1,4 dias revisita a 45º off-nadir)	14 bits
	2 - Green	520 - 600	(8,44 m a 45º off-nadir)		
	4 - NIR	760 - 900			

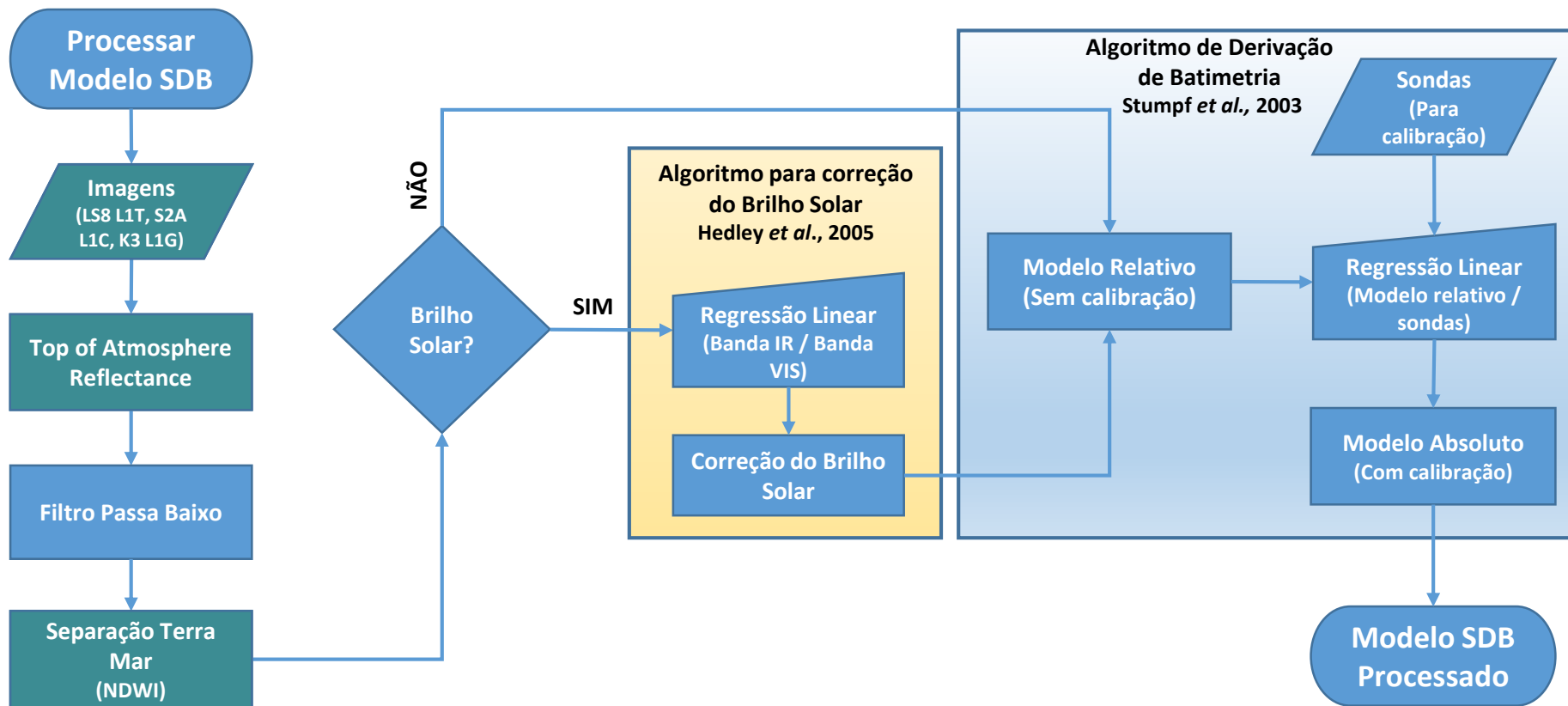
Utilizaram-se as bandas com melhor resolução espacial e resolução espectral semelhante, para comparar performance dos diferentes sensores.

## Metodologia - O Legado do Modelo de Processamento



$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}$$

## Metodologia - A Atualização do Modelo de Processamento



$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

## Metodologia - Calculo da *Top of Atmosphere Reflectance* (TOA)

### Landsat 8 (L1T):

$$\rho_{\lambda'} = M_{\rho} \times DN + A_{\rho}$$
$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta_{SE})}$$

### Sentinel 2A (L1C):

$$\rho_{\lambda} = \frac{DN}{QVALUE}$$

### Kompsat 3 (L1G):

$$L_{\lambda} = Gain \times DN + Offset$$
$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{ESUN_{\lambda} \times \sin(\theta_{SE})}$$

$L_{\lambda}$  = TOA Radiance

$\rho_{\lambda}$  = TOA Reflectance

$\theta_{SE}$  = Ângulo de Elevação Solar

$\rho_{\lambda'}$  = TOA Reflectance without  $\theta_{SE}$  correction

$DN$  = Digital Number (pixel)

$QVALUE$  = Quantification Value

$M_{\rho}$  = Multiplicative Rescaling Factor

$A_{\rho}$  = Additive Rescaling Factor

$ESUN_{\lambda}$  = Mean Solar Exoatmospheric Irradiances

$d$  = earth - sun distance (astronomical unit)

Parâmetros fornecidos nos metadados e manuais de utilização das imagens

## Metodologia - Correção do brilho solar - Hedley *et al.* (2005)

$$R'_i = R_i - b_i(R_{NIR} - Min_{NIR})$$

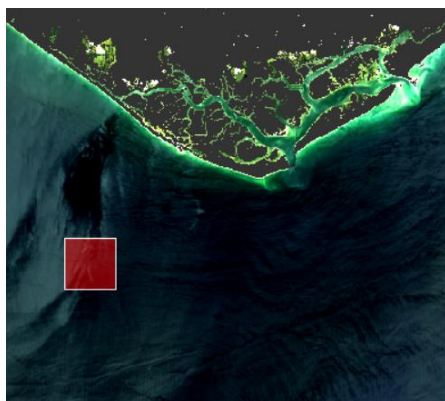
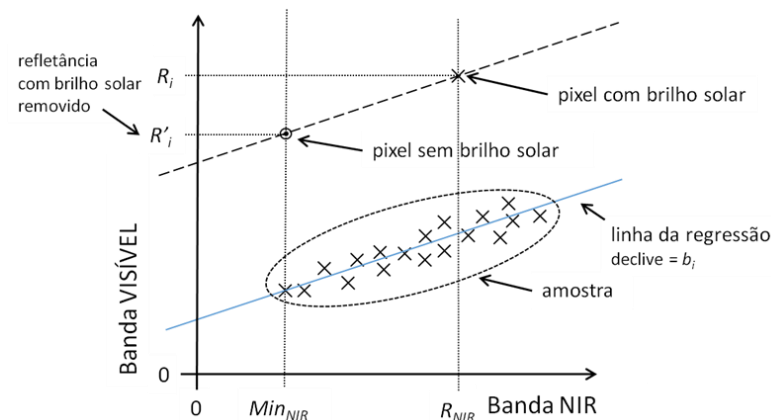
$R'_i$  - valor do pixel corrigido na banda VISÍVEL

$R_i$  - valor original do pixel na banda VISÍVEL

$b_i$  - declive da reta de regressão linear

$R_{NIR}$  - valor do pixel original na banda NIR

$Min_{NIR}$  - pixel de valor mínimo na banda NIR



Composição RGB sem  
Correção Brilho



Composição RGB com  
Correção Brilho



## Metodologia - O algoritmo de derivação de batimetria - Stumpf *et al.* (2003)

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0$$

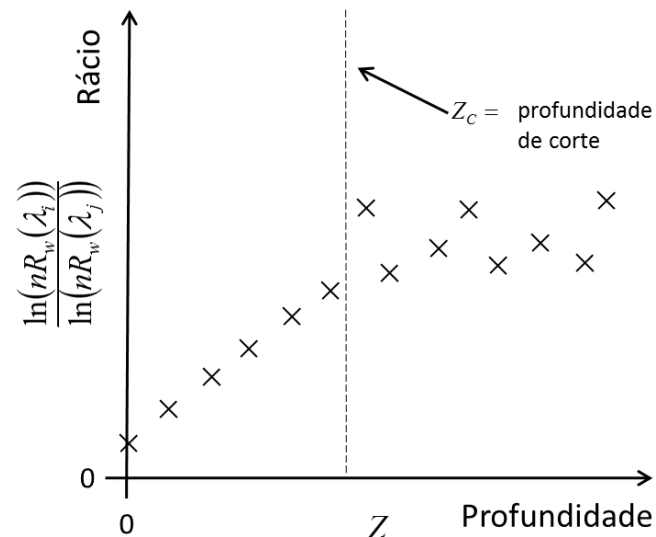
**$m_1$**  - fator de ganho determinado pela reta de regressão linear entre o rácio dos logaritmos e as profundidades de referência.

**$n$**  - constante que garante que os logaritmos naturais sejam sempre positivos e que o rácio produza uma resposta linear com a profundidade.

**$R_w(\lambda_i)$**  e  **$R_w(\lambda_j)$**  - reflectância nos comprimentos de onda  $i$  e  $j$  respetivamente.

**$m_0$**  - offset determinado pela reta de regressão linear entre o rácio dos logaritmos e as profundidades de referência.

Determinação profundidade corte ( $Z_c$ )



$Z_c$  é a profundidade até onde os pressupostos são cumpridos

## Metodologia - O algoritmo de derivação de batimetria - Stumpf *et al.* (2003)

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0$$

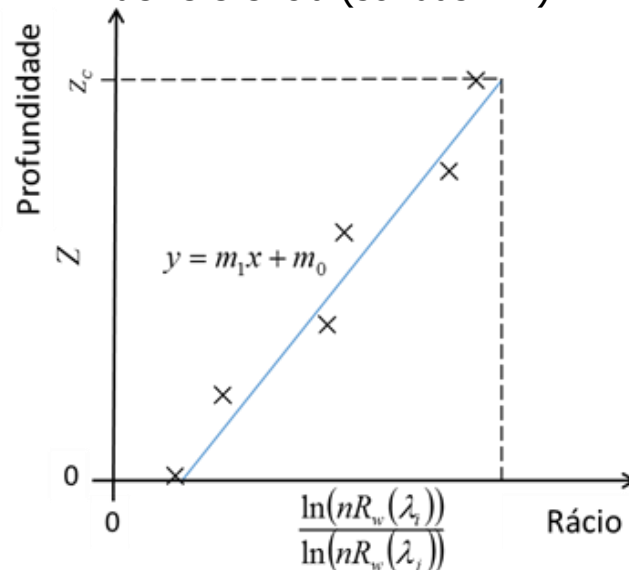
**$m_1$**  - fator de ganho determinado pela reta de regressão linear entre o rácio dos logaritmos e as profundidades de referência.

**$n$**  - constante que garante que os logaritmos naturais sejam sempre positivos e que o rácio produza uma resposta linear com a profundidade.

**$R_w(\lambda_i)$**  e  **$R_w(\lambda_j)$**  - reflectância nos comprimentos de onda  $i$  e  $j$  respetivamente.

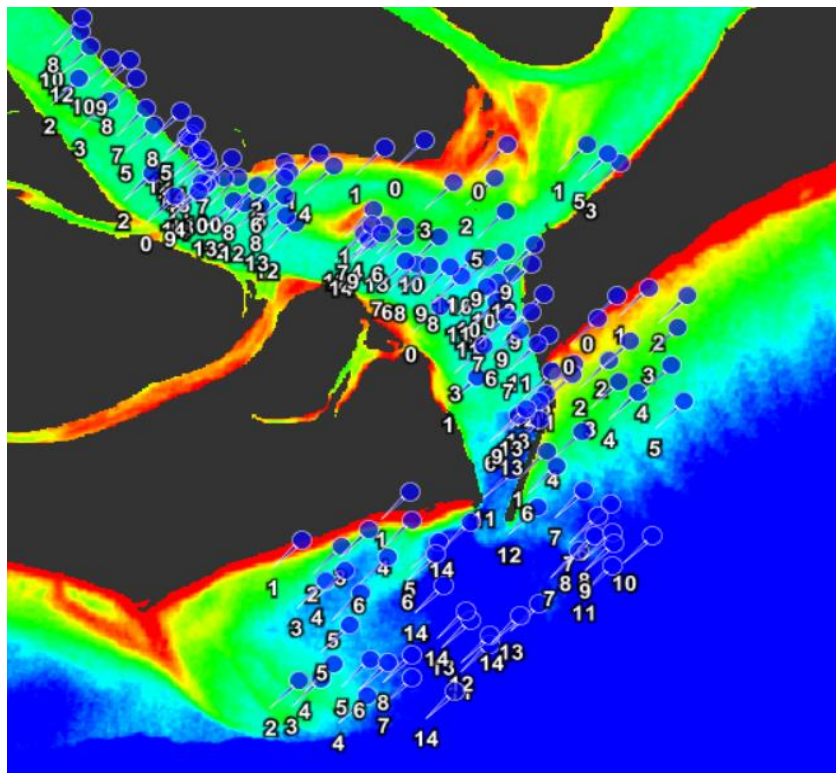
**$m_0$**  - offset determinado pela reta de regressão linear entre o rácio dos logaritmos e as profundidades de referência.

Regressão linear do rácio com as profundidades de referência (sondas LH)



Valores de  $m_1$  e  $m_0$  são obtidos pela reta da regressão linear

## Metodologia - Calibração



160 amostras *in situ* por calibração:

10 amostras sondas 0 m

10 amostras sondas 1 m

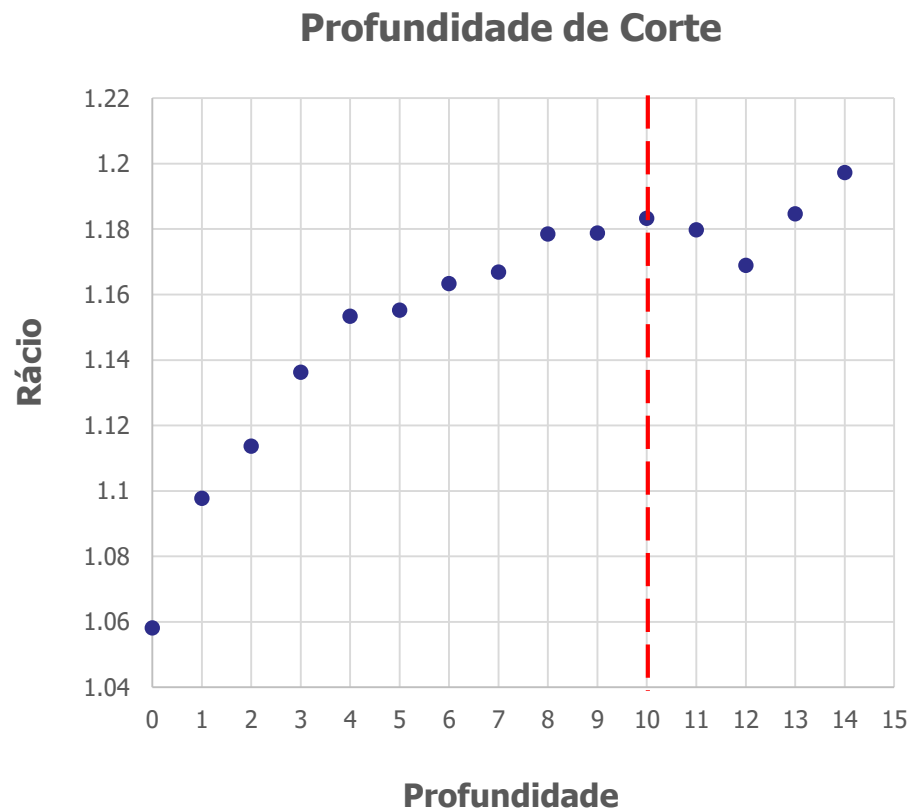
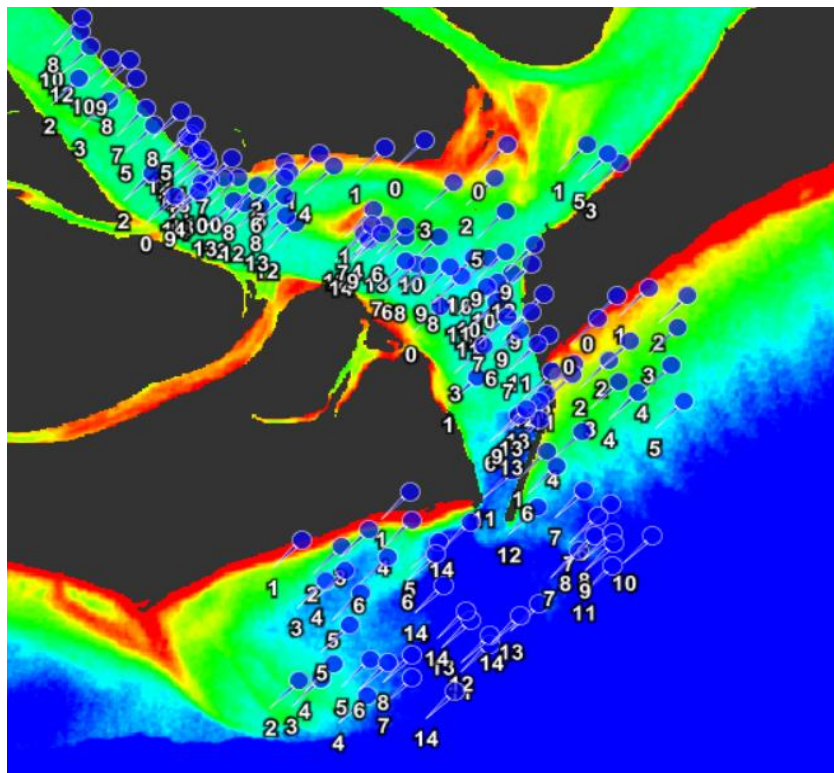
10 amostras sondas 2 m

(...)

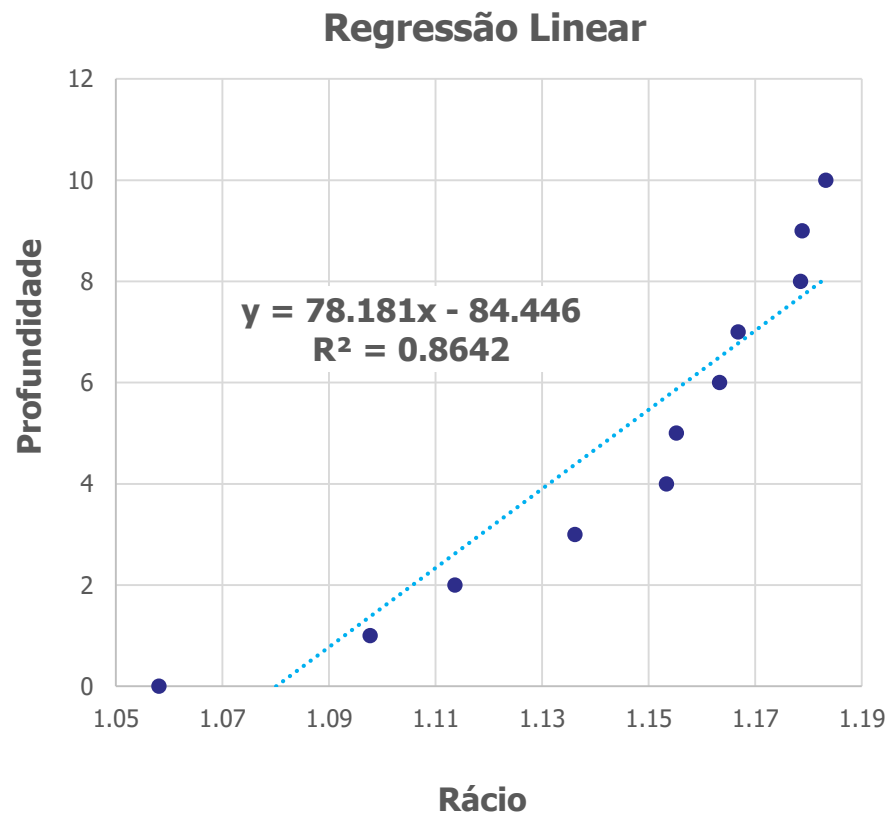
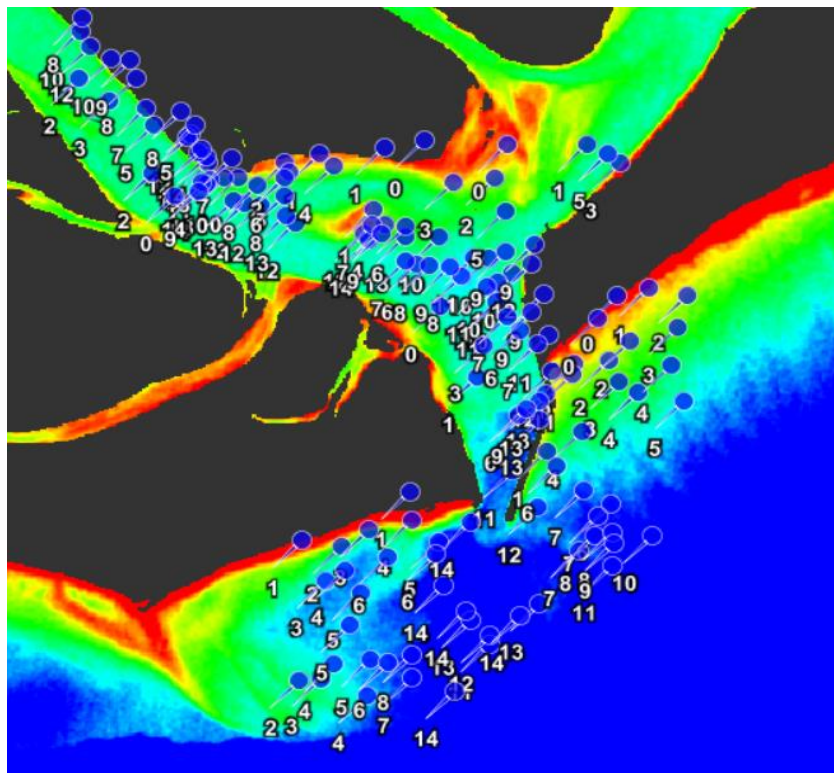
10 amostras sondas 15 m

Sondas adquiridas por um LH MBES de novembro de 2011 na barra de Faro – Olhão

## Metodologia - Exemplo Calibração modelo batimétrico SDB S2A



## Metodologia - Exemplo Calibração modelo batimétrico SDB S2A

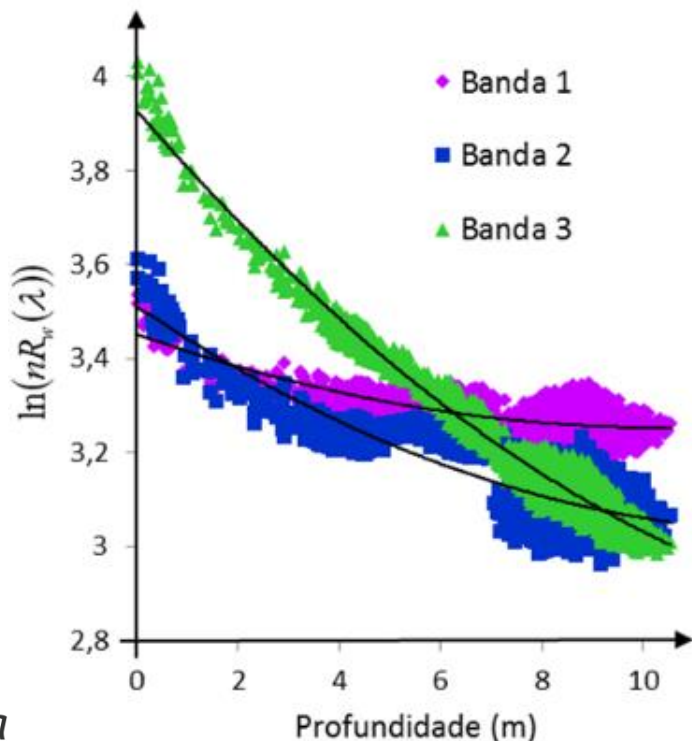




## Comportamento dos Logaritmos das Reflectâncias nas Diferentes Bandas

Com o aumento da profundidade, a reflectância das bandas aplicadas no rácio diminui, sendo que o  $\ln(nR_w(\lambda))$  da banda com maior absorção (banda 3) vai diminuir proporcionalmente mais rápido que o  $\ln(nR_w(\lambda))$  da banda com menor absorção (banda 1)

*Stumpf et al. (2003)*



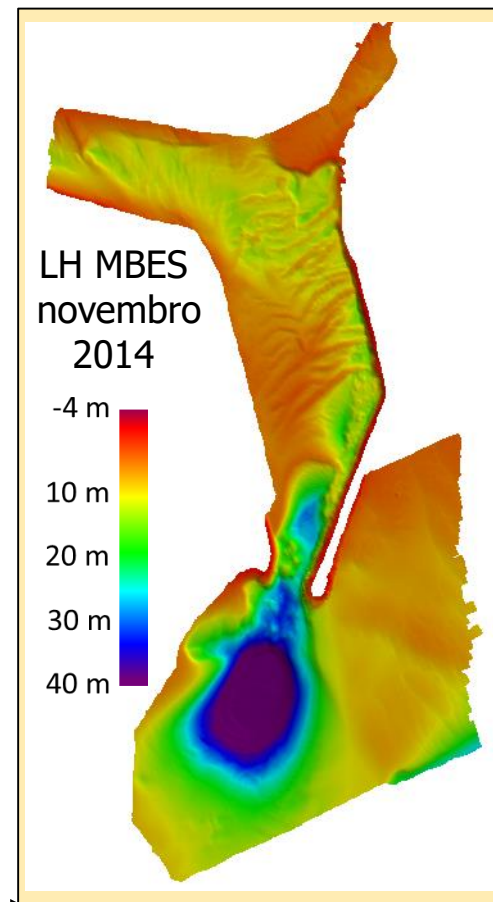
Exemplo com bandas 1 (Coastal), 2 (Blue) e 3 (Green) do Satélite Landsat 8.

## Casos de Estudo - A Ria Formosa como Área de Estudo

<b>Imagem (Nível processamento)</b>	<b>Data e Hora de aquisição (UTC)</b>	<b>Cobertura Nuvéns</b>
<b>LS8 (L1T)</b>	2013/11/20 - 11h10m21s	0,62 %
<b>K3 (L1G)</b>	2013/11/20 - 13h52m27s	0,0 %
<b>LS8 (L1T)</b>	2015/11/26 - 11h08m53s	0,4 %
<b>S2A (L1C)</b>	2015/11/29 - 11h21m40s	0,4 %



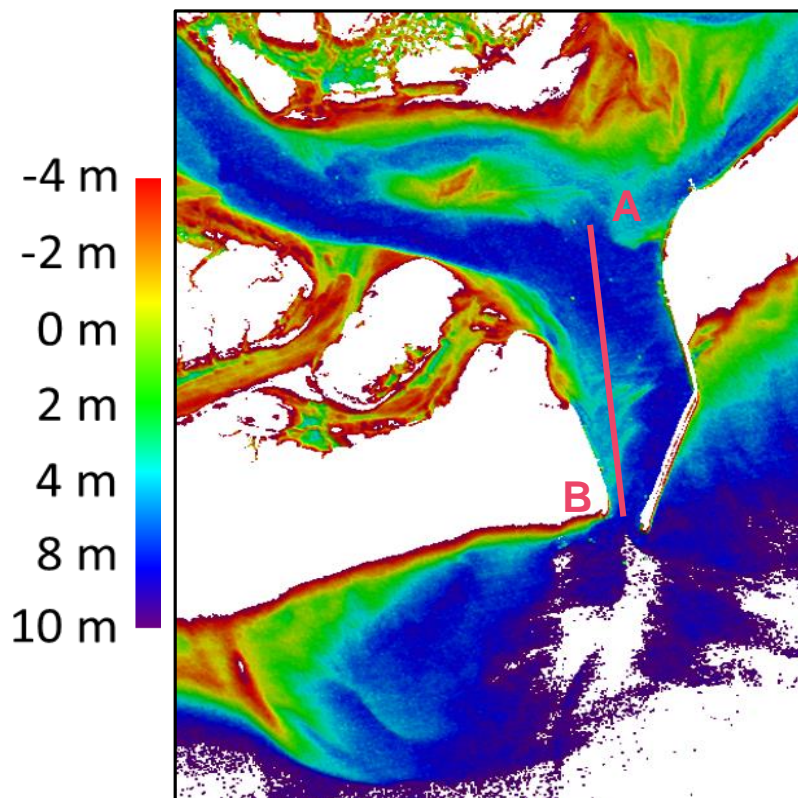
Para comparar  
com os modelos  
batimétricos SDB



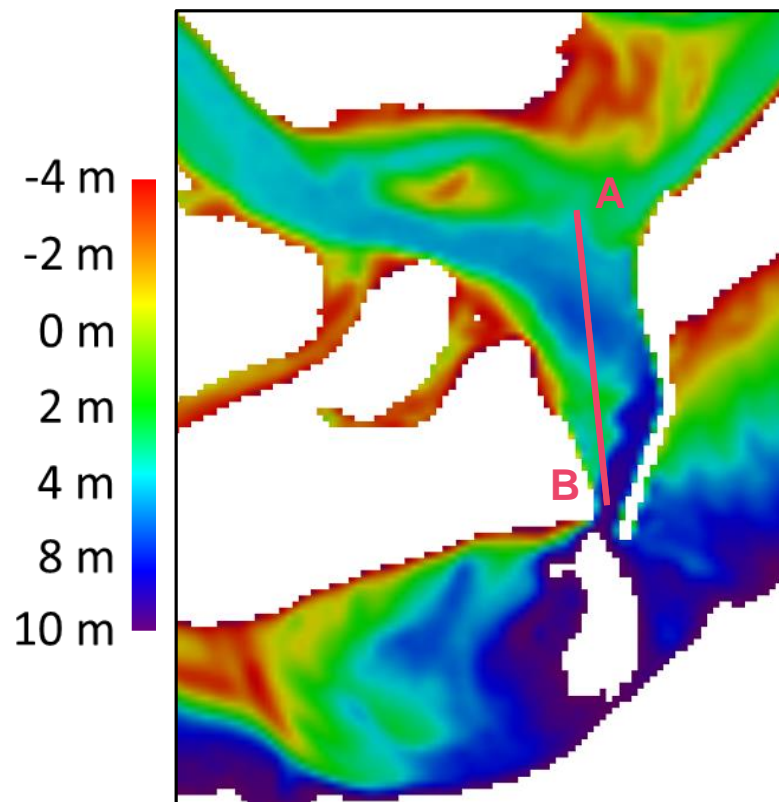
**Conhecer o mar** para que  
todos o possam usar

## Casos de Estudo: Comparação do par de imagens Kompsat 3 / Landsat 8

Modelo Batimétrico SDB K3  
2013/11/20 - 13h52m27s

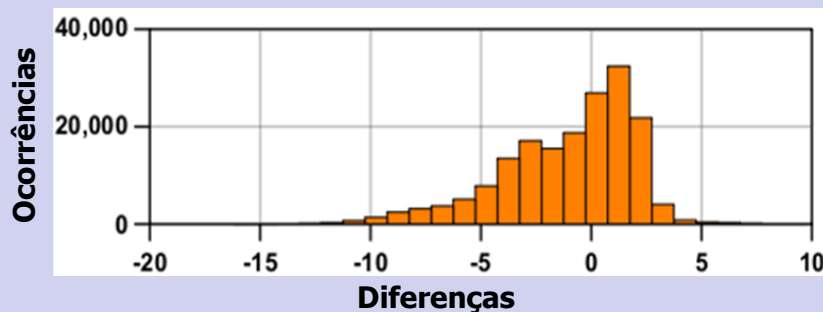


Modelo Batimétrico SDB LS8  
2013/11/20 - 11h10m21s



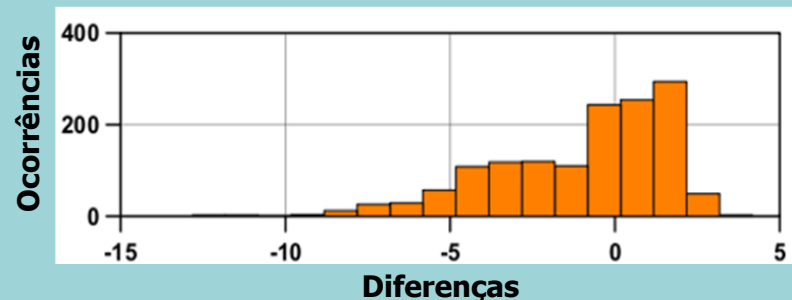
## Casos de Estudo: Comparação do par de imagens Kompsat 3 / Landsat 8

**Diferenças entre os modelos batimétricos SDB  
K3 – MBES**



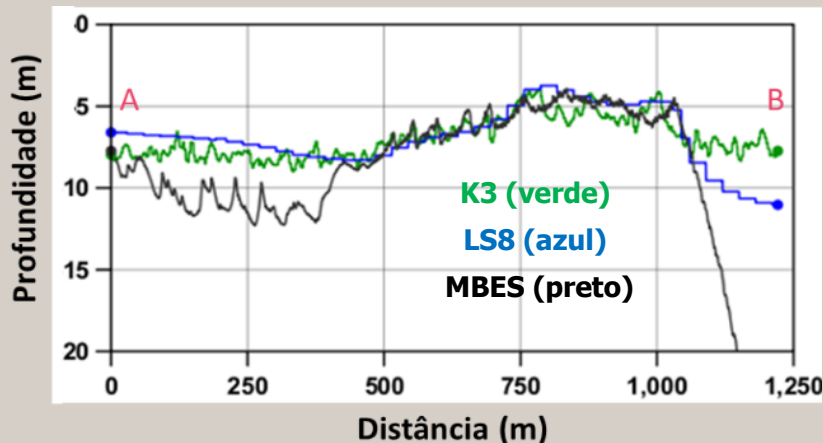
Média = -1,0 m / Desvio padrão = 3,0 m

**Diferenças entre os modelos batimétricos SDB  
LS8 – MBES**



Média = -1,0m / Desvio padrão = 2,6m

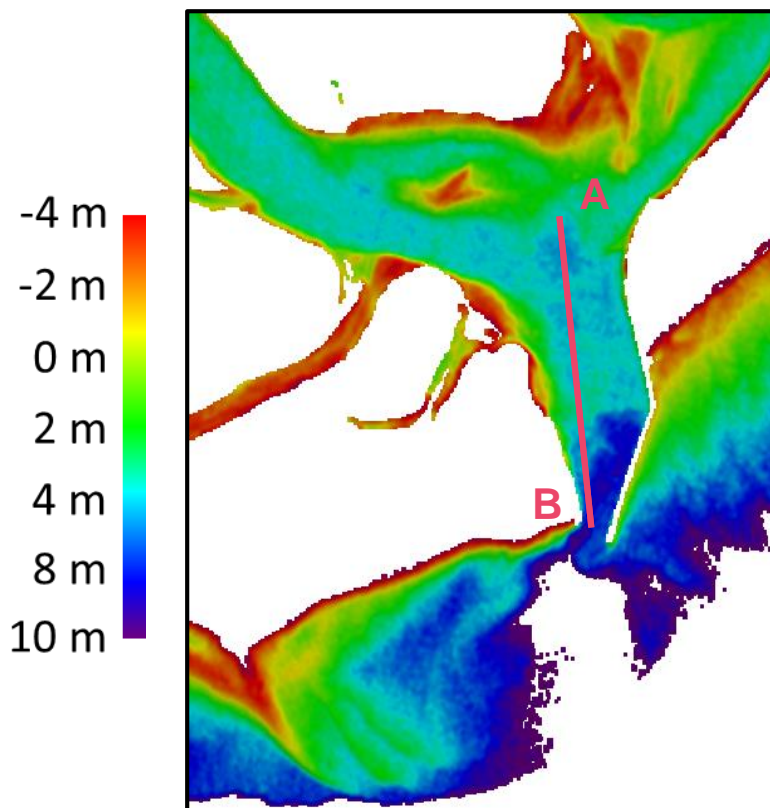
**Perfil vertical dos modelos batimétricos**



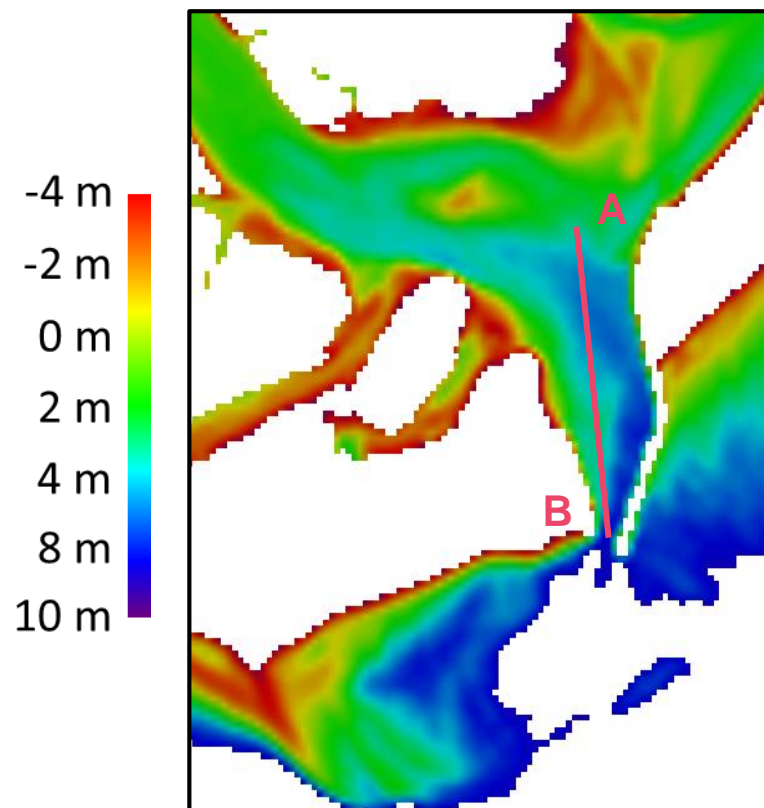


## Casos de Estudo: Comparação do par de imagens Sentinel 2A / Landsat 8

**Modelo Batimétrico SDB S2A**  
2015/11/29 - 11h21m40s



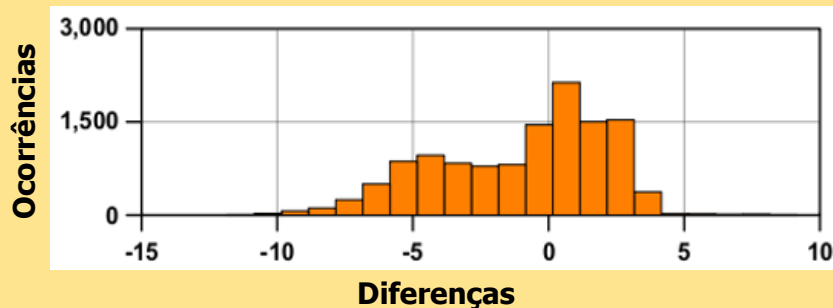
**Modelo Batimétrico SDB LS8**  
2015/11/26 - 11h08m53s





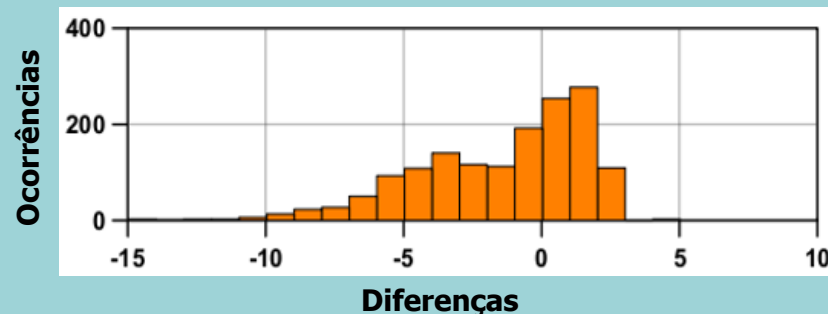
## Casos de Estudo: Comparação do par de imagens Kompsat 3 / Landsat 8

**Diferenças entre os modelos batimétricos SDB  
S2A – MBES**



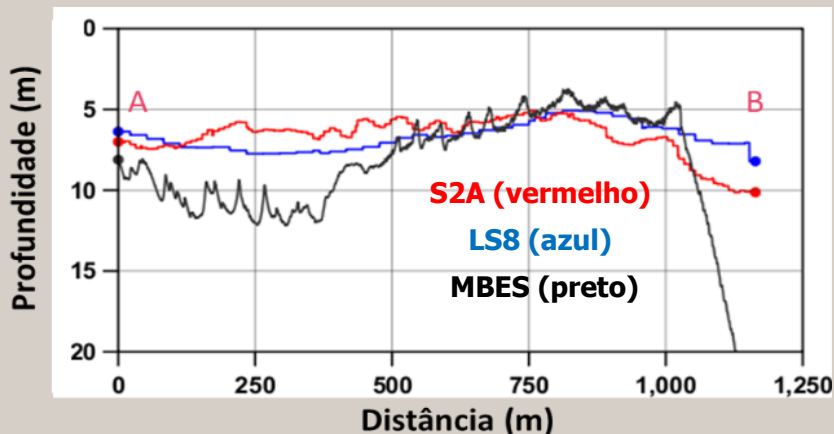
Média = -1,0 m / Desvio padrão = 3,1 m

**Diferenças entre os modelos batimétricos SDB  
LS8 – MBES**



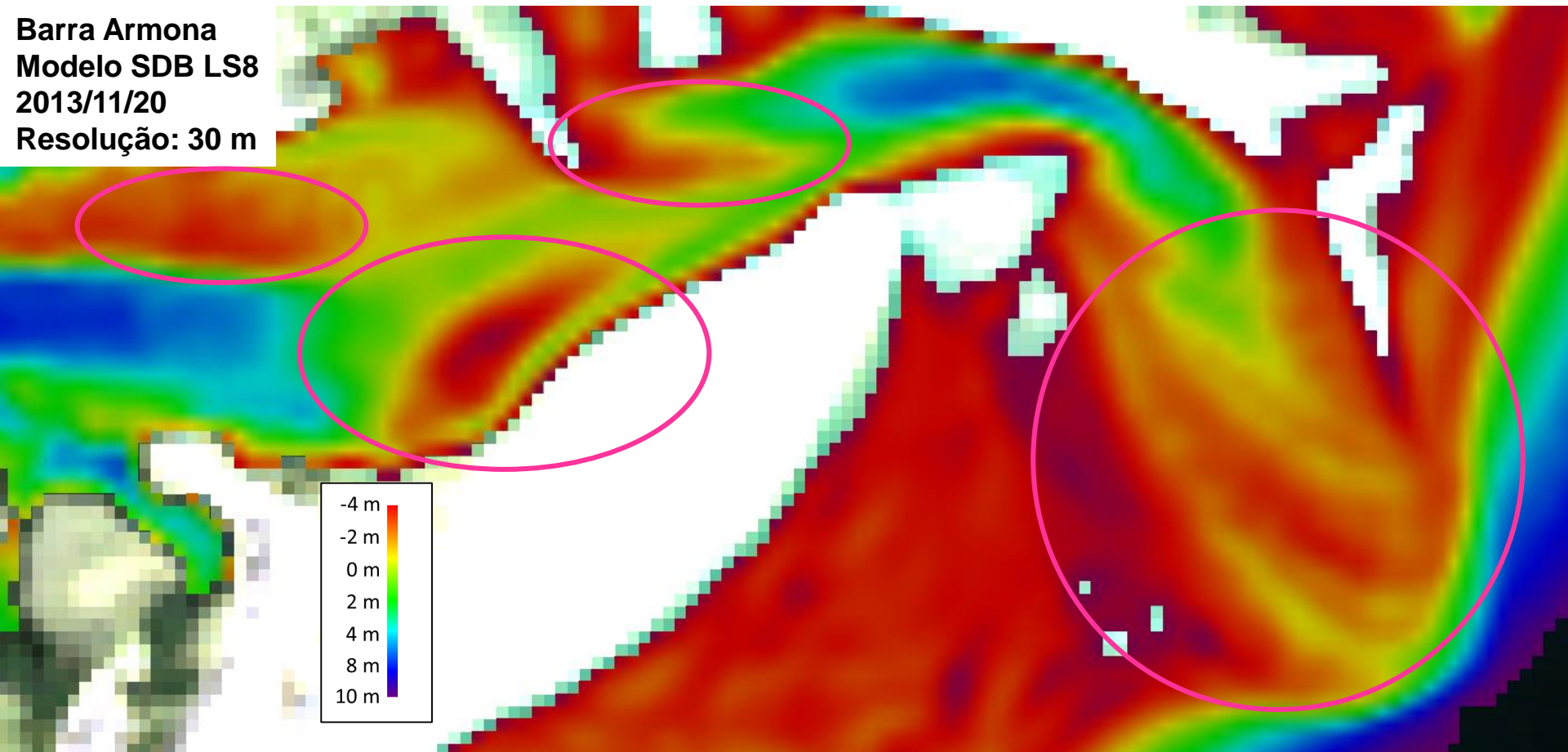
Média = -1,4 m / Desvio padrão = 3,1 m

**Perfil vertical dos modelos batimétricos**



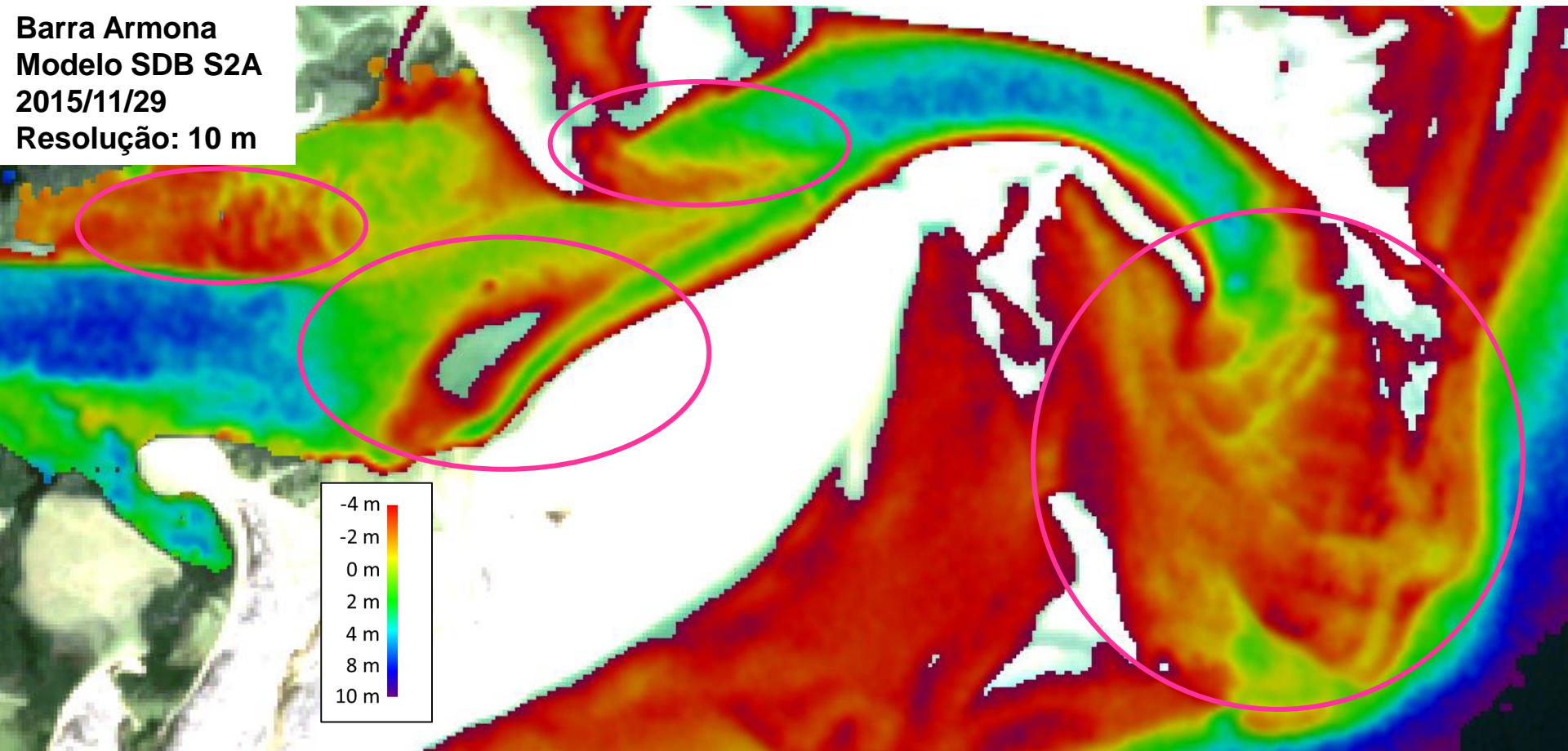
## Casos de Estudo: O detalhe dos modelos batimétricos SDB Landsat 8

Barra Armonia  
Modelo SDB LS8  
2013/11/20  
Resolução: 30 m



## Casos de Estudo: O detalhe dos modelos batimétricos SDB Sentinel 2A

Barra Armonia  
Modelo SDB S2A  
2015/11/29  
Resolução: 10 m

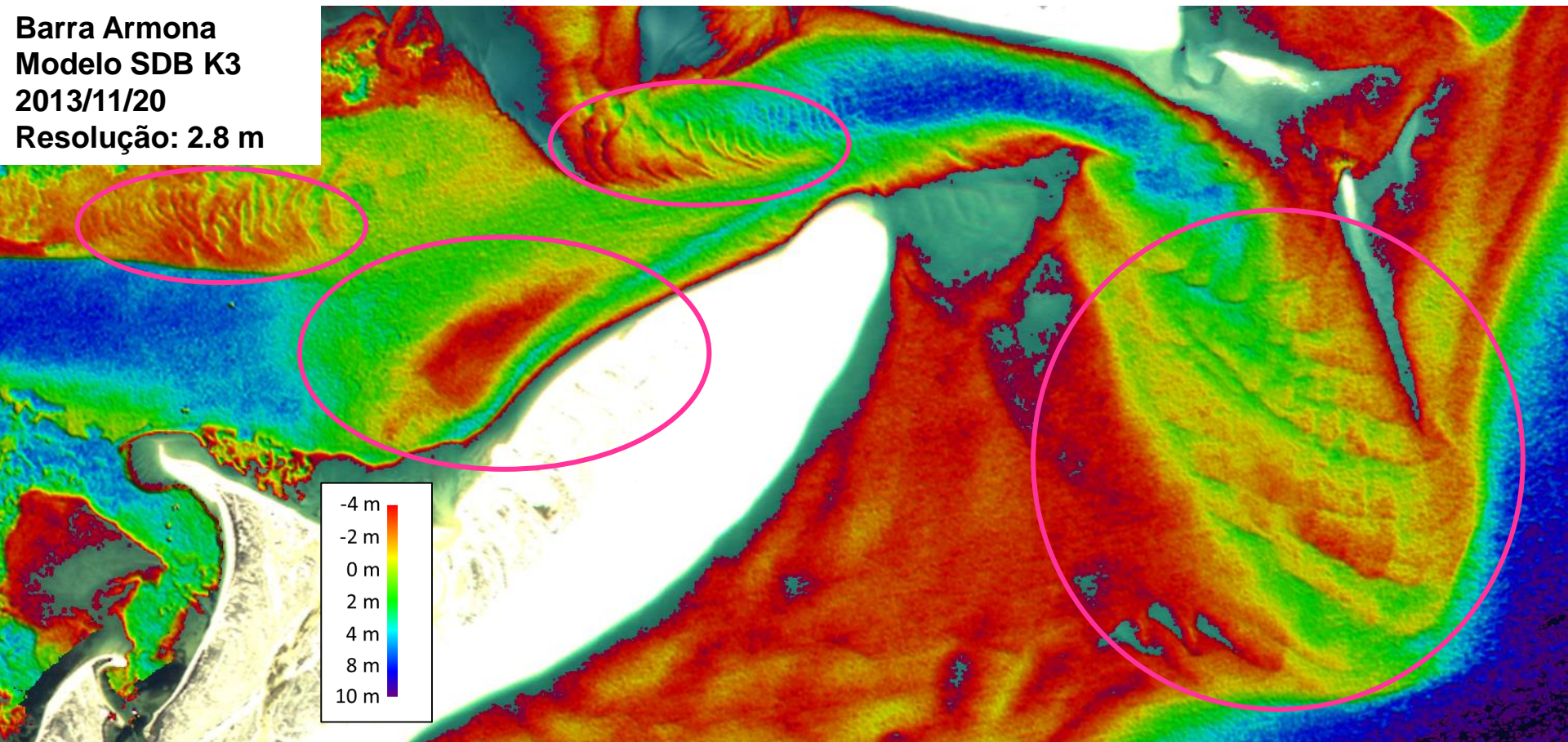




# A utilização de Imagens de Satélite Multiespectrais de Elevada Resolução Espacial para a Derivação de Batimetria

## Casos de Estudo: O detalhe dos modelos batimétricos SDB Kompsat 3

**Barra Armona**  
**Modelo SDB K3**  
**2013/11/20**  
**Resolução: 2.8 m**



## Conclusões

- Foi necessário adaptar a metodologia original para que o modelo de processamento fosse o mesmo para as diferentes imagens utilizadas.
- Os modelos batimétricos SDB revelaram-se capazes de acompanhar a evolução e as principais estruturas do fundo, até profundidades inferiores a 10 m, independentemente da resolução das imagens utilizadas para a sua derivação.
- A grande mais-valia dos modelos batimétricos SDB K3 e S2A, quando comparados com o LS8, é a melhor definição das estruturas do fundo.
- Com a constelação Sentinel 2 completa até ao final do ano, o ciclo de revisita irá diminuir para 5 dias. Comprovada a aplicabilidade da metodologia a imagens Sentinel 2, estaremos perante uma oportunidade única para aprofundar o desenvolvimento da SDB.



## Os autores agradecem

- National Aeronautics and Space Administration (NASA) e United States Geological Survey (USGS) - **Imagens Landsat 8**.
- SI Imaging Services - **Imagens Kompsat-3 © KARI**
- European Spacial Agency (ESA) e União Europeia (EU)- **Imagens Sentinel 2A no âmbito do programa Copernicus**
- European Spacial Agency (ESA) - **Software SNAP**.

Sem estas imagens e *software*, este estudo não teria sido possível...

## Obrigado....

