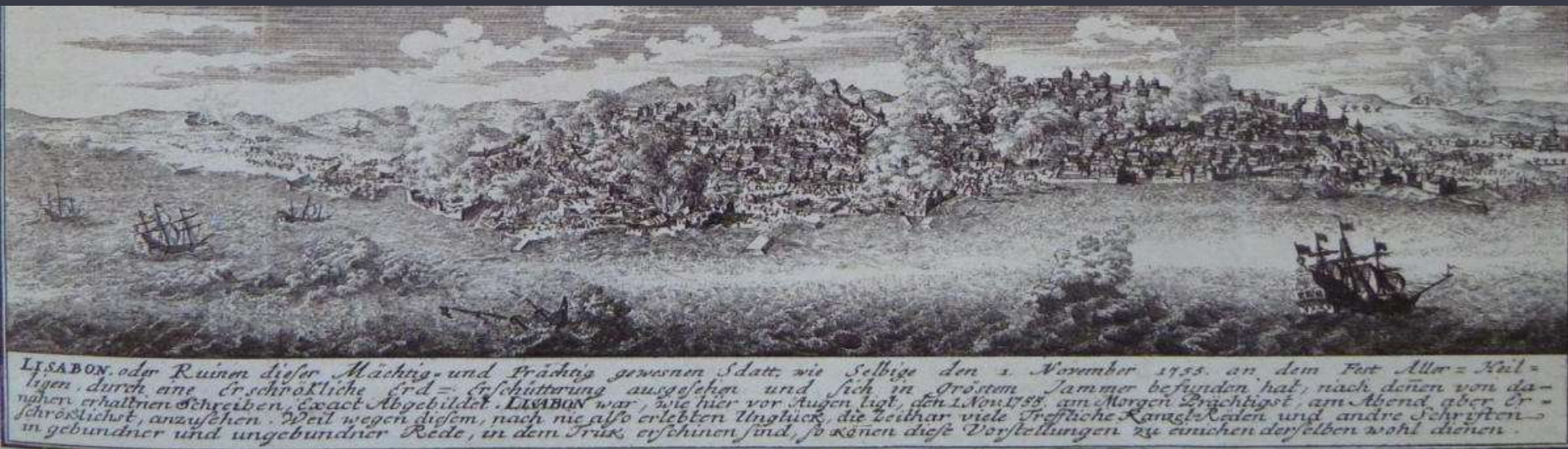


Lisboa, 5 de junho de 2021

# Inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa

## Simulação determinística



Rui M.L. Ferreira<sup>(\*)</sup> Daniel Conde<sup>(\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

# Mapa da perigosidade de inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa

Trabalho realizado para a CML por uma equipa multidisciplinar coordenada pela professora **Maria Ana Baptista do Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.**

A equipa envolveu três instituições:



- O Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA),



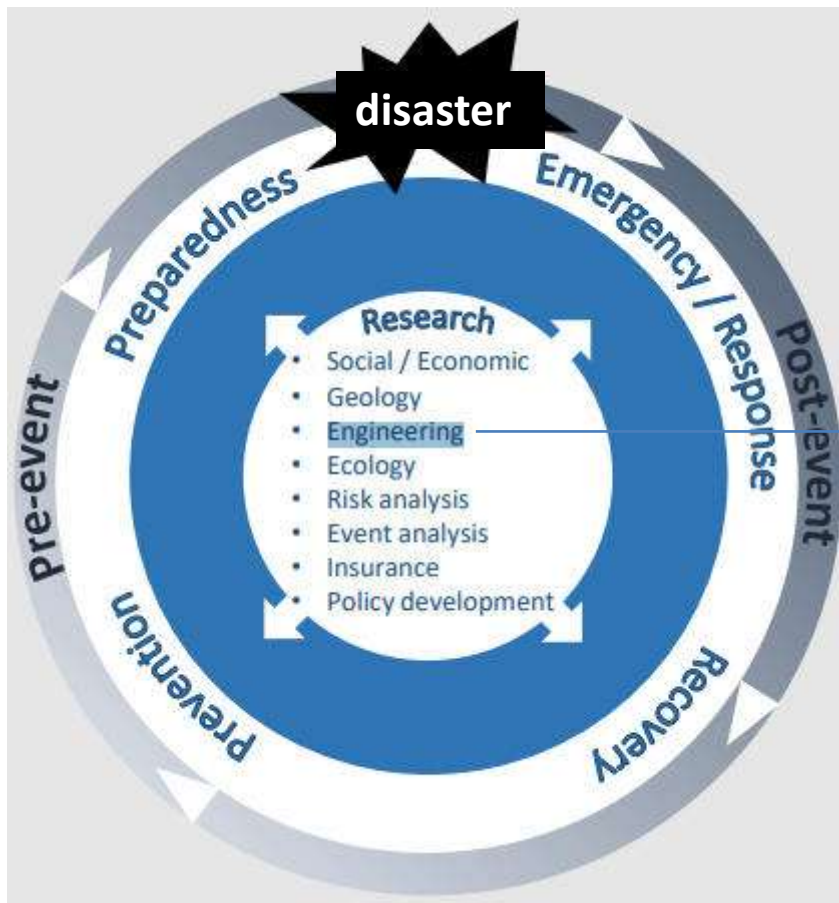
- O Instituto Dom Luiz da Universidade de Lisboa, e



- O Instituto Superior Técnico

## Equipa

**CERIS** : Civil Engineering Research  
and Innovation for  
Sustainability



### *Sendai Framework*

(“understanding”, “build back better”)

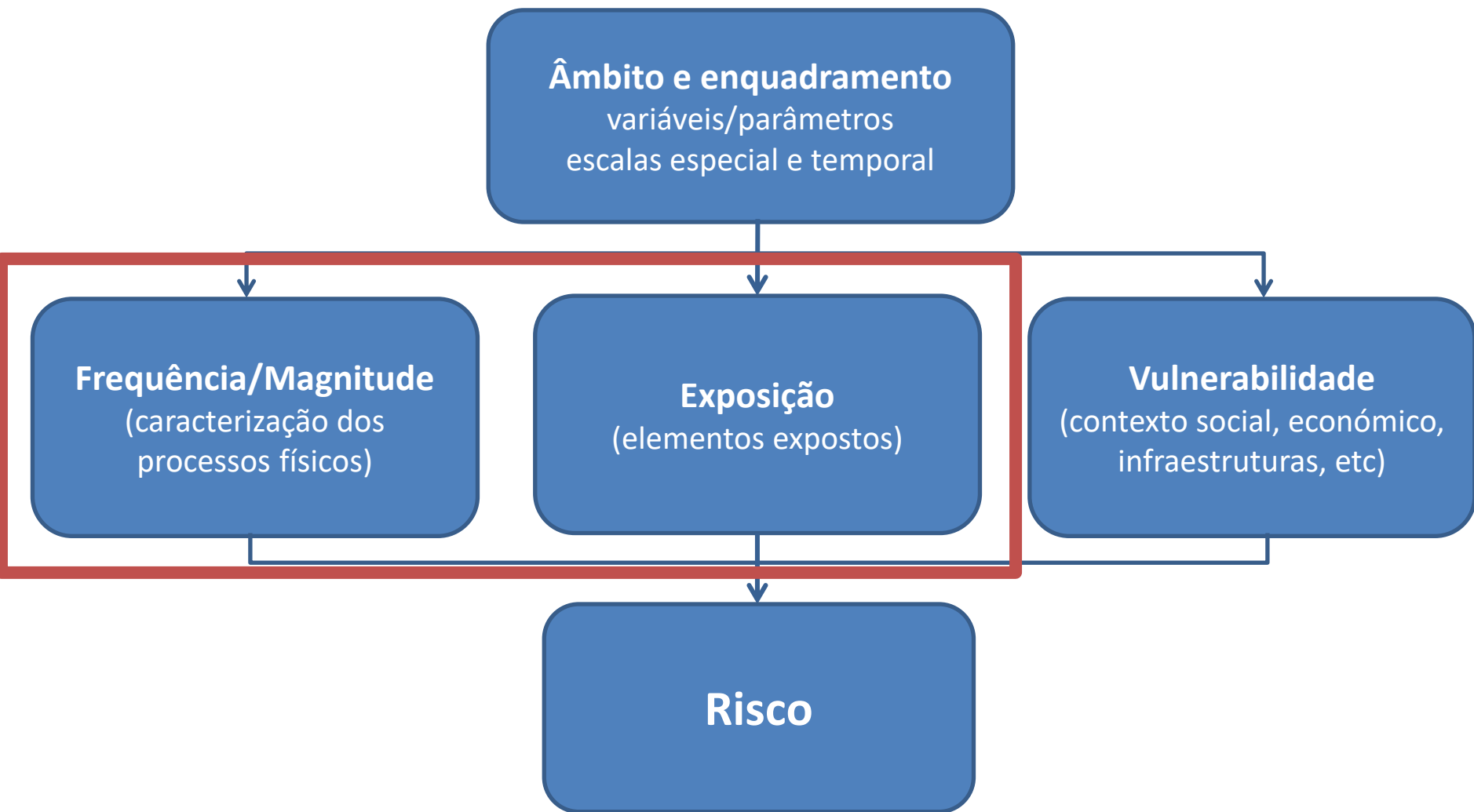
### A nossa contribuição:

Desenvolvimento de ferramentas baseadas na física dos processos de transporte (hidrodinâmica e transporte de sólidos)

Aplicação dessas ferramentas no contexto do planeamento ou resposta operacional

Ciclo da **gestão do risco de desastres naturais**  
(adaptado de Aguirre-Ayerbe et al. 2018 Nat Haz Earth Syst Sci)

# Mapa da perigosidade de inundação por tsunamis de origem sísmica na cidade de Lisboa



Mapa da perigosidade de inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa – permite respostas a

- **Que rotas de fuga?**
- **Que pontos de encontro? A que cotas? Em edifícios? Quais?**
- **A que cotas se podem colocar equipamentos críticos?**
- **Há infraestruturas viárias em risco (comboio, metropolitano, etc)?**
- **Há património exposto?**
- **E a “minha” rua?**






# **Simulação matemática da inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa**

Definição dos elementos de base  
(batimetria, altimetria, geometria do edificado)



Legenda

Elevação do Terreno

-  -100
-  -5
-  0
-  5
-  100

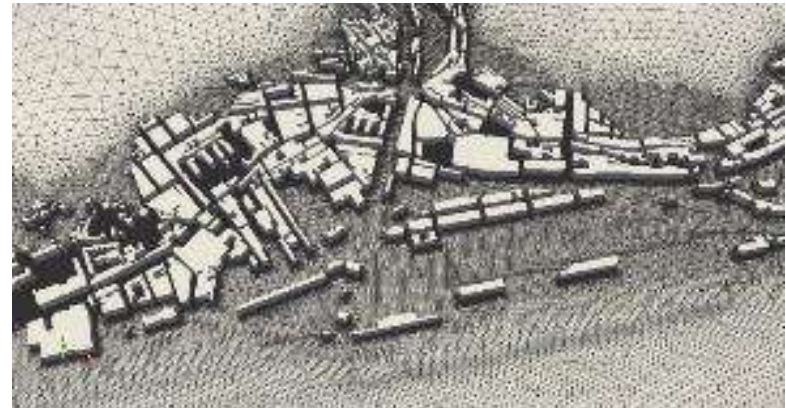


## Modelo digital de superfície de Lisboa – descrição espacial à escala da rua/edifício

Pedrouços - Belém



Alcântara



Baixa

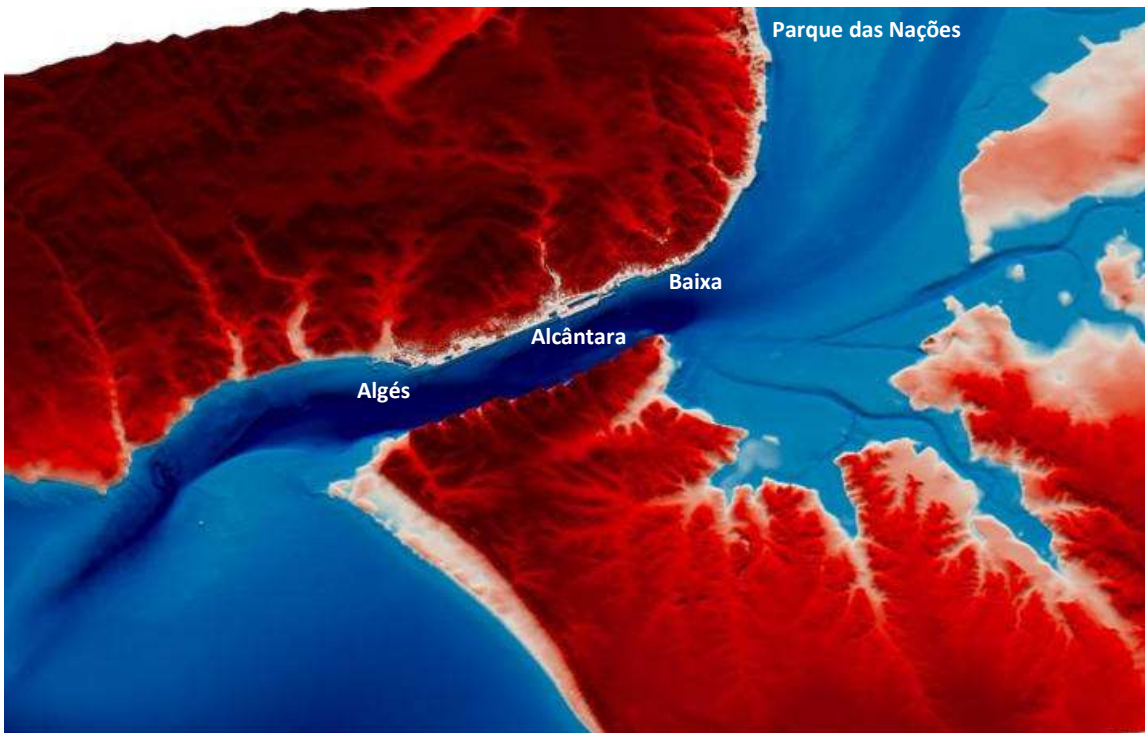


Parque das Nações



# Simulação determinística

elementos de base - resolução espacial



Parque das Nações

DTM – resolução de 1 m,  
precisão de 5 cm



Algés



Alcântara (Harbour)



Baixa

# **Simulação matemática da inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa**

(Condições iniciais e de fronteira)

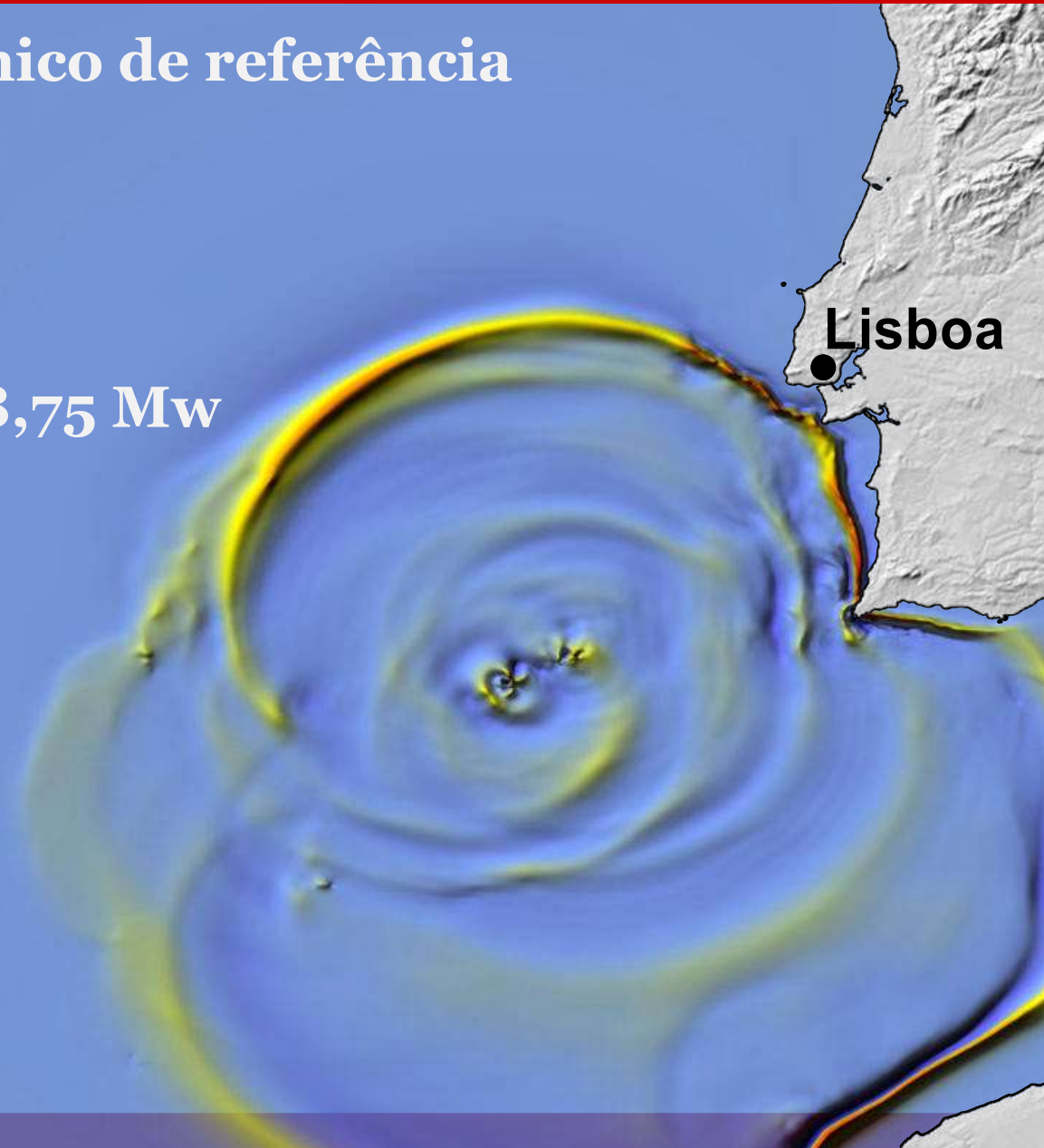
**Cenários de nível do mar, maré, sobrelevações atmosféricas**

## Cenário tsunamigénico de referência



Sismo de magnitude **8,75 Mw**

Falhas da Ferradura e  
Marquês de Pombal





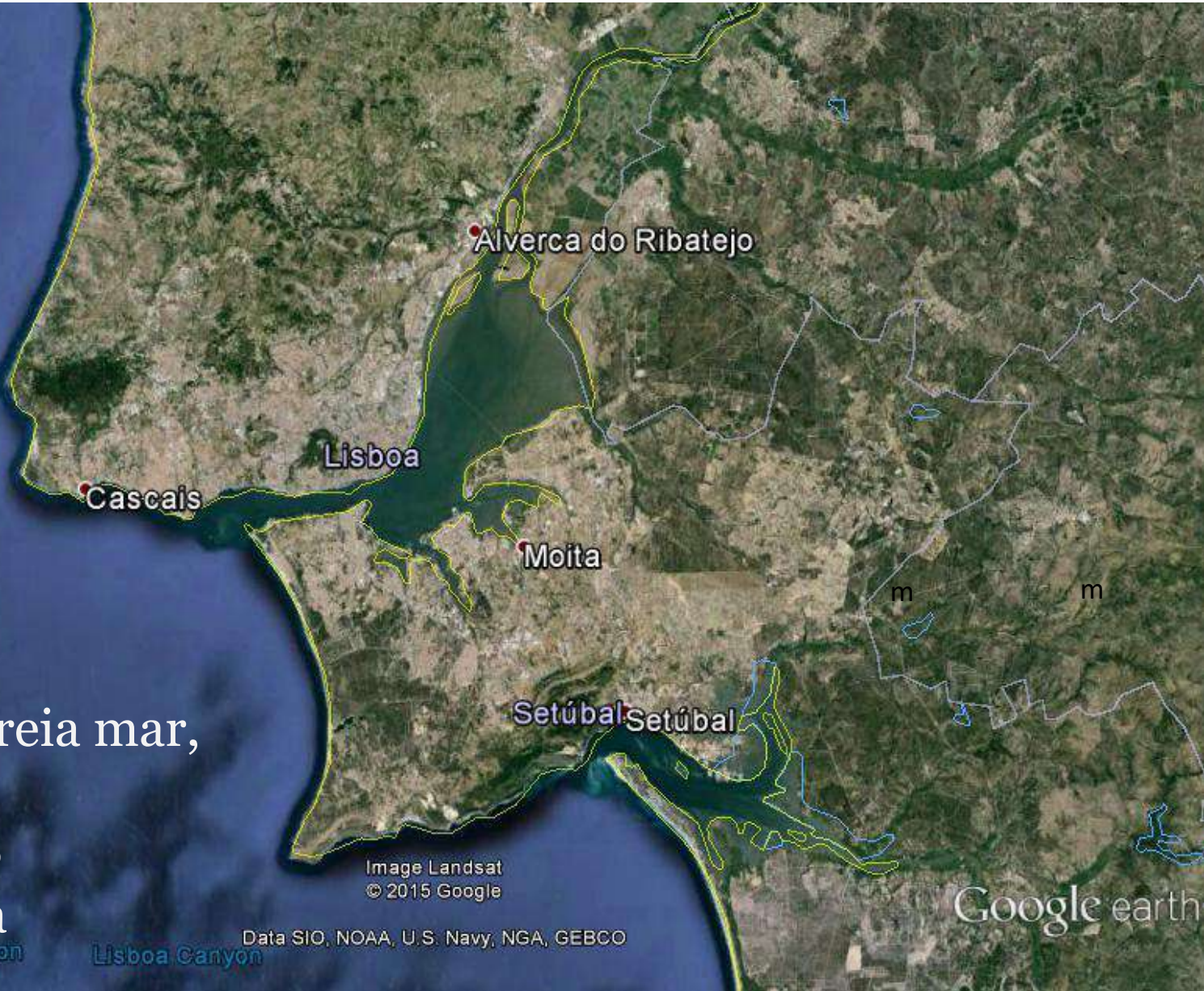
Nível do mar

2019 (agora)

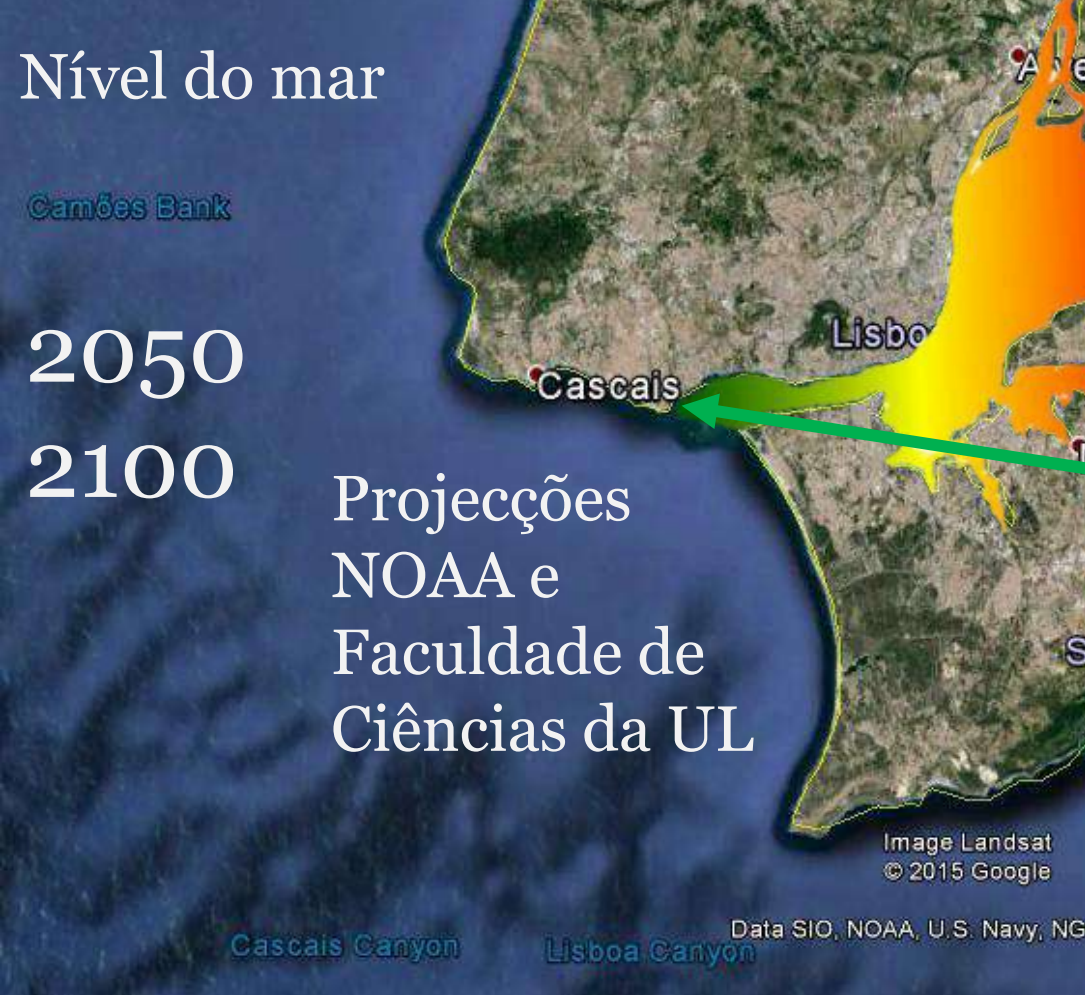
2050

2100

Cenários de preia mar,  
baixa mar +  
sobreelevação  
meteorológica







CENÁRIO	NÍVEL MÍNIMO m	NÍVEL MÁXIMO m
NOAA2100_PMMAXSM	4.98	5.84
NOAA2100_PMAV	3.85	4.71
NOAA2100_BMAV	0.85	1.07
NOAA2050_PMMAXSM	2.18	3.04
NOAA2050_PMAV	2.04	2.90
NOAA2050_BMAV	-0.95	-0.73
MODFc2100_PMMAXSM	3.52	4.38
MODFc2100_PMAV	2.39	3.25
MODFc2100_BMAV	-0.61	-0.39
MODFc2050_PMMAXSM	2.82	3.68
MODFc2050_PMAV	1.69	2.55
MODFc2050_BMAV	-1.31	-1.09

Nível do mar

Camões Bank

2050

2100

Projeções  
NOAA e  
Faculdade de  
Ciências da UL

Image Landsat  
© 2015 Google

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NG

Cascais Canyon

Lisboa Canyon

# **Simulação matemática da inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa**

Modelo numérico e simulações

**Equipa**

**CERIS** : Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability

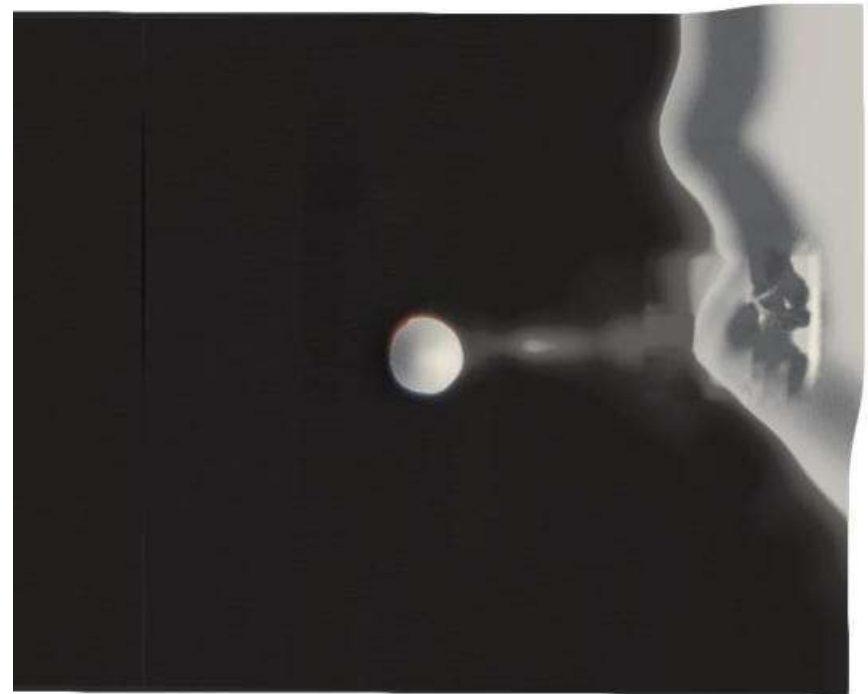


Monai Valley, Hokkaido-Nansei-Okai  
**tsunami de 1993**

### HiSTAV

ferramenta de  
simulação numérica

tsunami

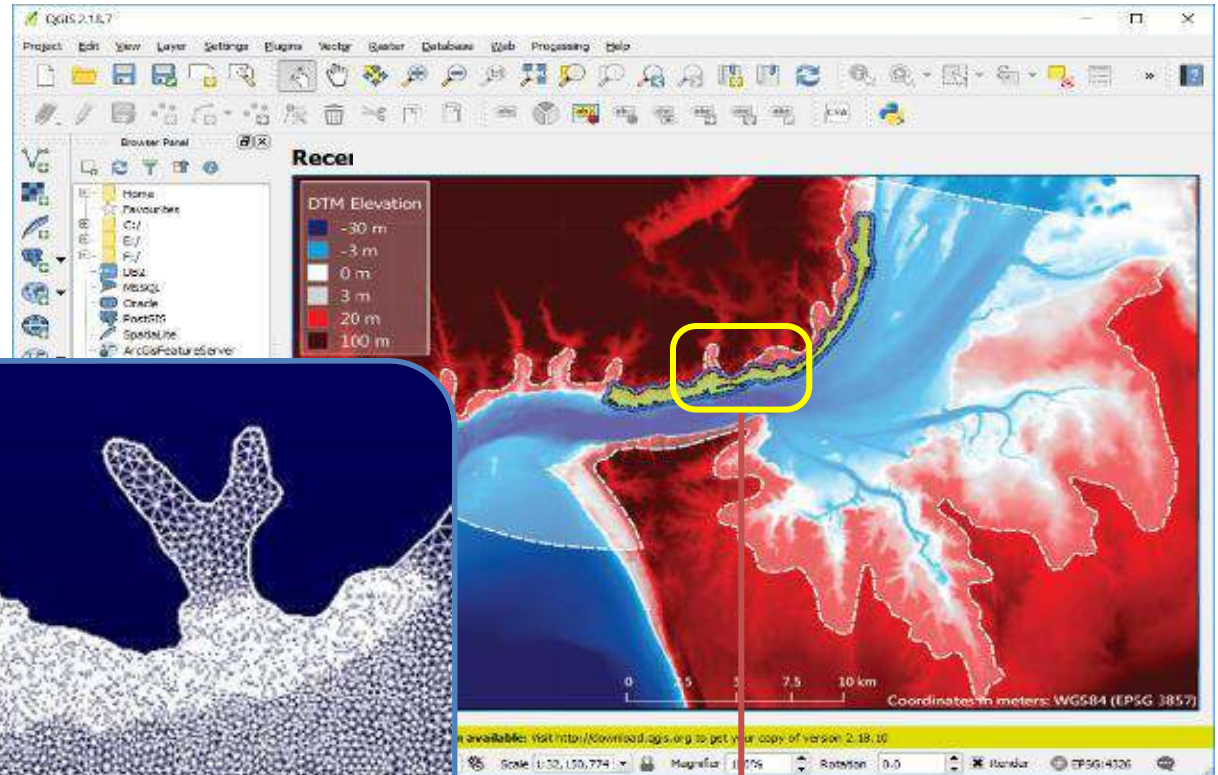


- Conde, D.A.S.; Telhado, M.J.; Viana Baptista, M.A. & Ferreira R. M. L. (2015). Severity and exposure associated with tsunami actions in urban waterfronts: the case of Lisbon, Portugal, *Natural Hazards*, 79: 2125, Springer.
- Conde, D.; Canelas, R.B. and Ferreira, R.M.L. (2020) A unified object-oriented framework for CPU+GPU hyperbolic solvers. *Advances in Engineering Software*.



### Discretização, concatenação da informação física e numérica

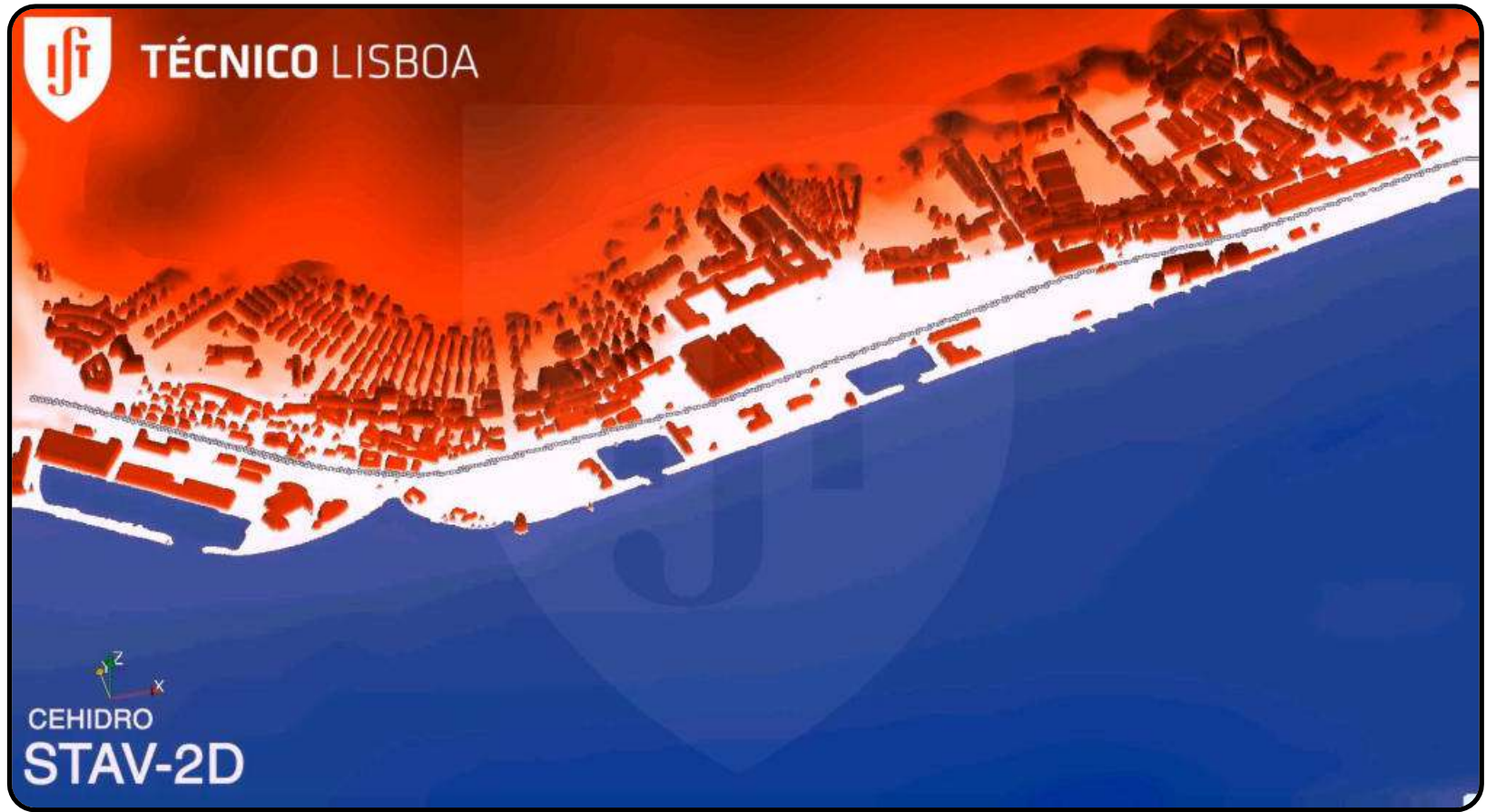
1.2 milhões de triângulos  
 – os menores com 1,5 m de lado







**Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP);  
nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas**







24.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas  
 Tempos referidos à passagem no Bugio





25.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas  
 Tempos referidos à passagem no Bugio





26.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas  
 Tempos referidos à passagem no Bugio





27.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas  
 Tempos referidos à passagem no Bugio





28.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas  
 Tempos referidos à passagem no Bugio





29.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas  
 Tempos referidos à passagem no Bugio





30.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas  
 Tempos referidos à passagem no Bugio





31.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas  
 Tempos referidos à passagem no Bugio





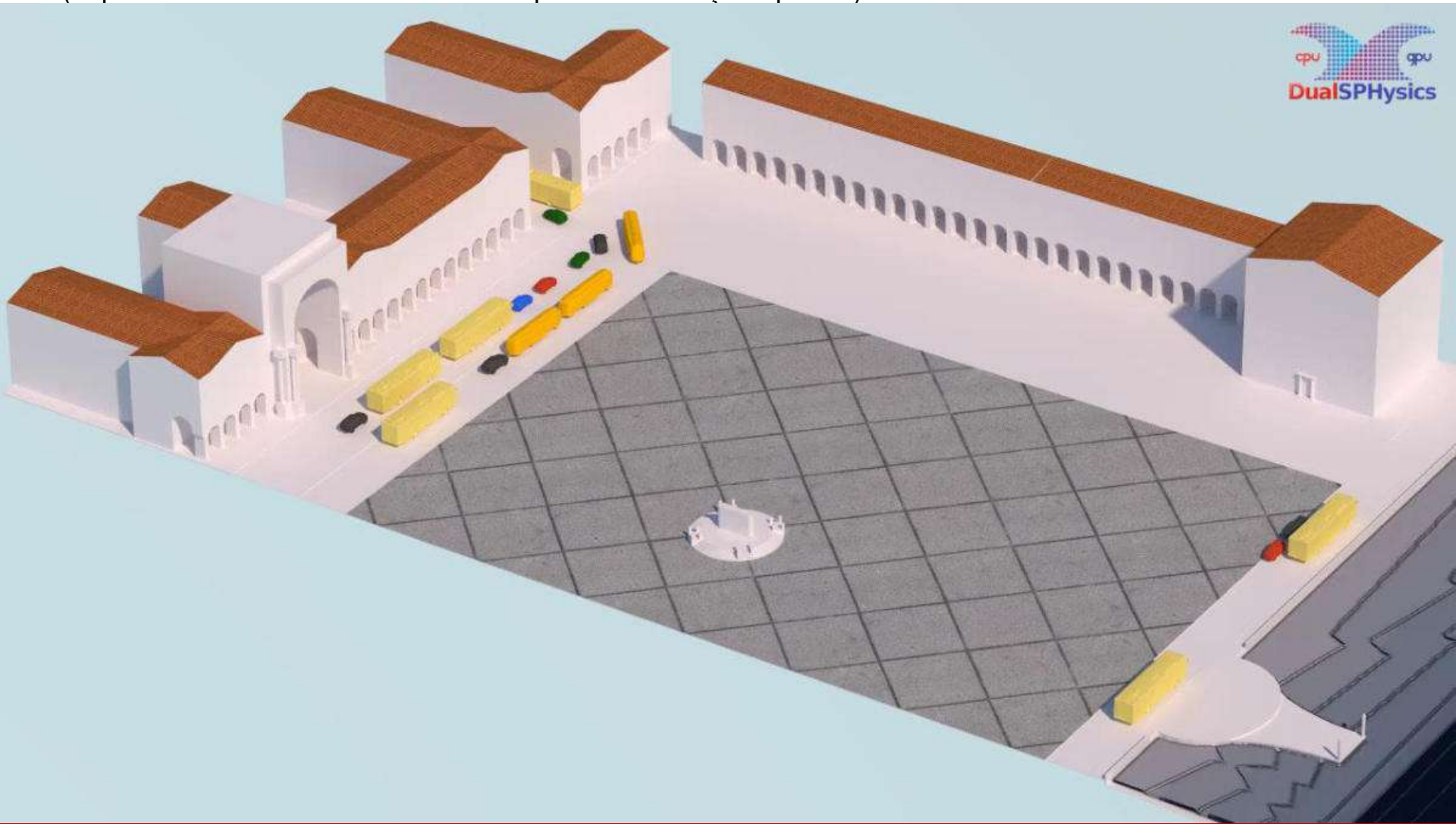
33.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas  
 Tempos referidos à passagem no Bugio

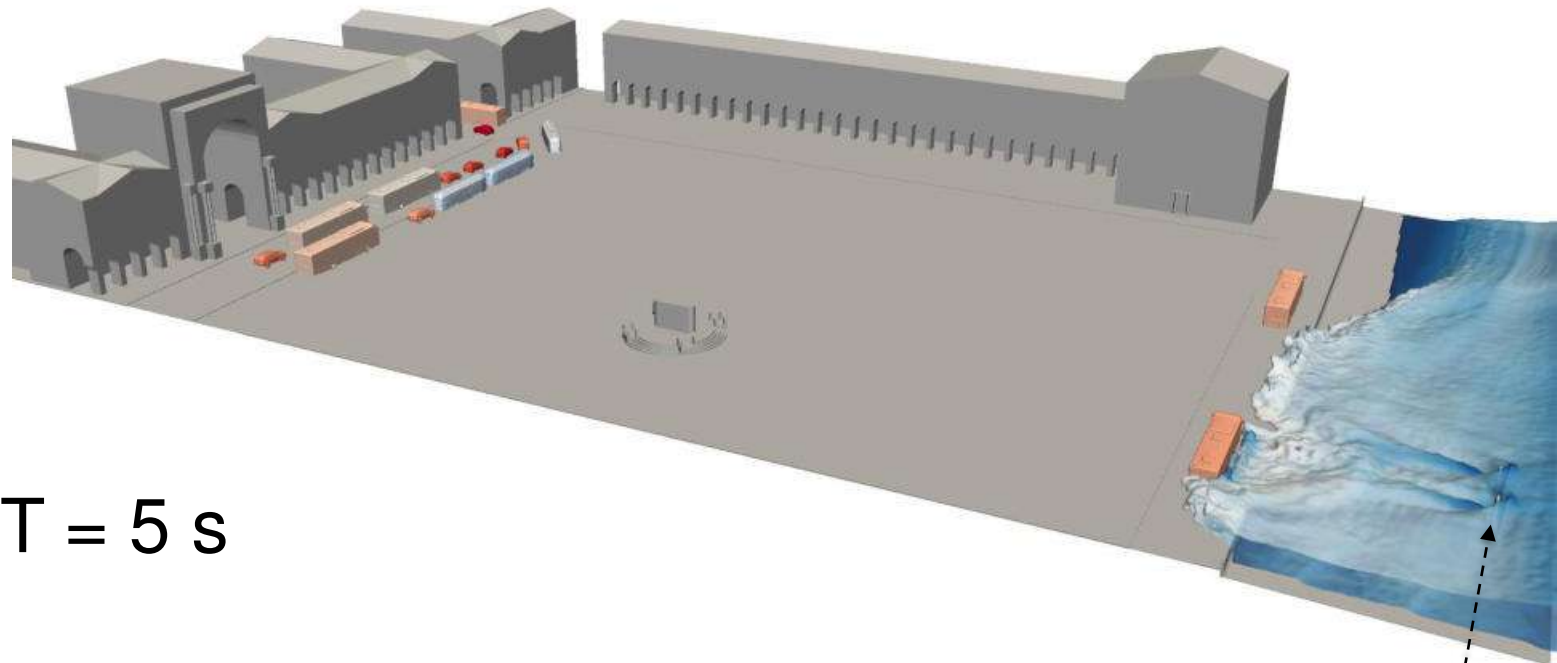


### simulação 3D de DualSPHysics, Praça do Comércio

(superfície livre definida com Blender para visualização apenas)



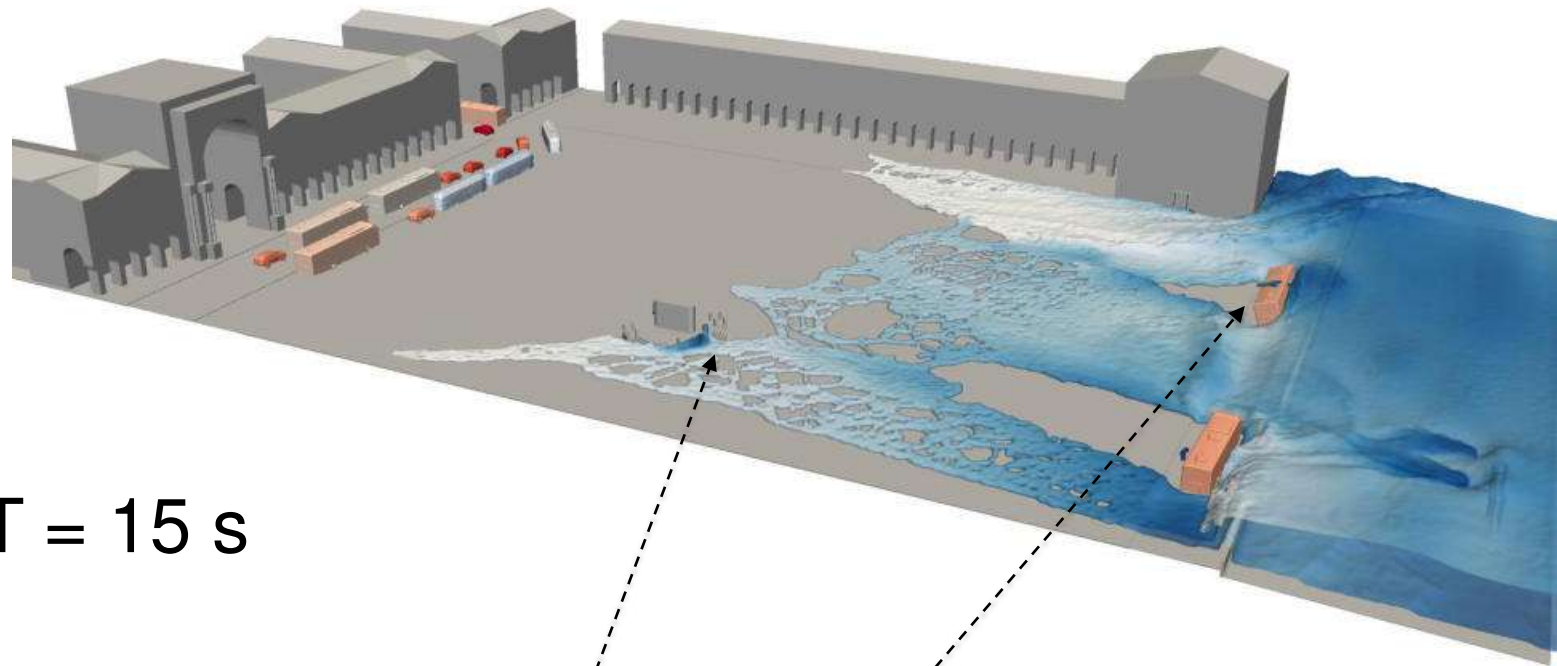
Praça do Comércio, #1/4



$T = 5 \text{ s}$

A onda incidente tem a direção  $20^\circ \text{ NE}$ , obtida pelas simulações 2D.  
 Notam-se as esteiras no Cais das Colunas.

Praça do Comércio, #2/4

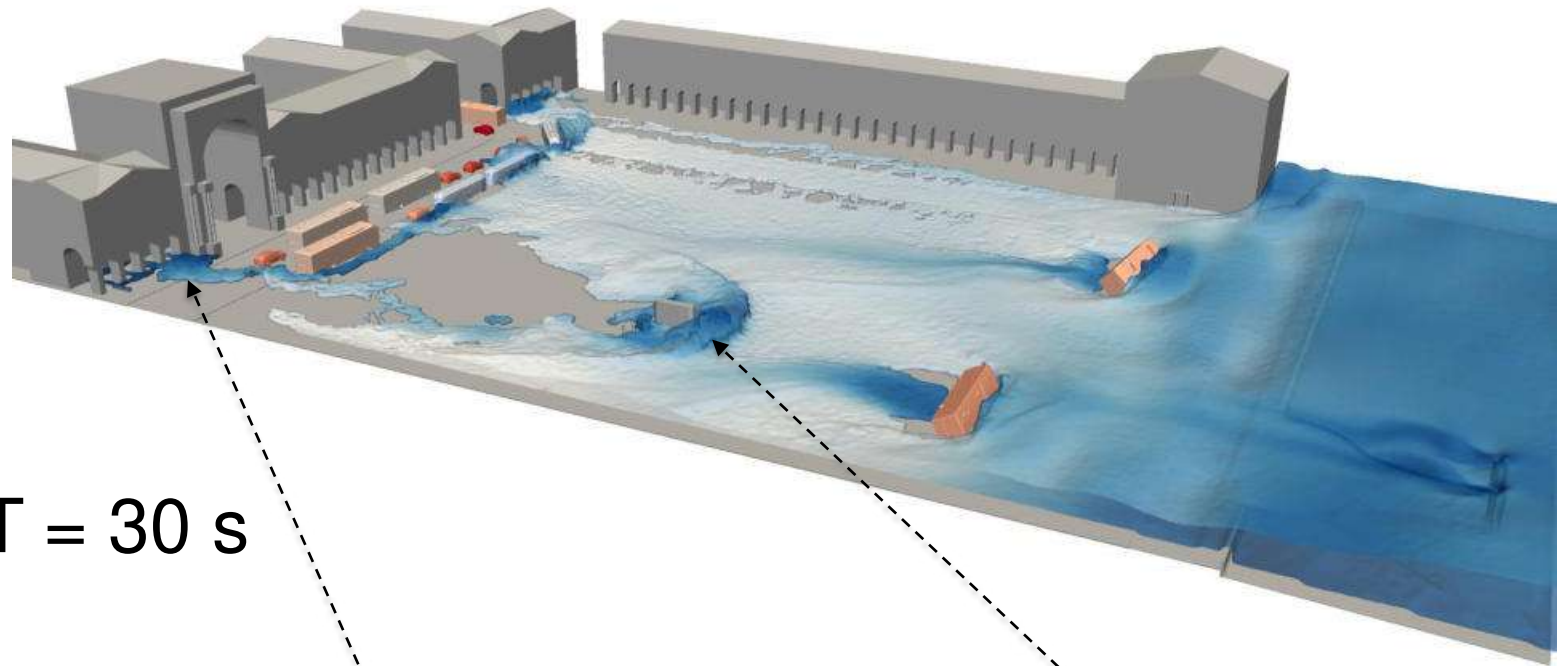


$T = 15 \text{ s}$

Swash na Praça do Comércio atinge estátua de D. José I  
 Autocarros começam a ser deslocados.



Praça do Comércio, #3/4



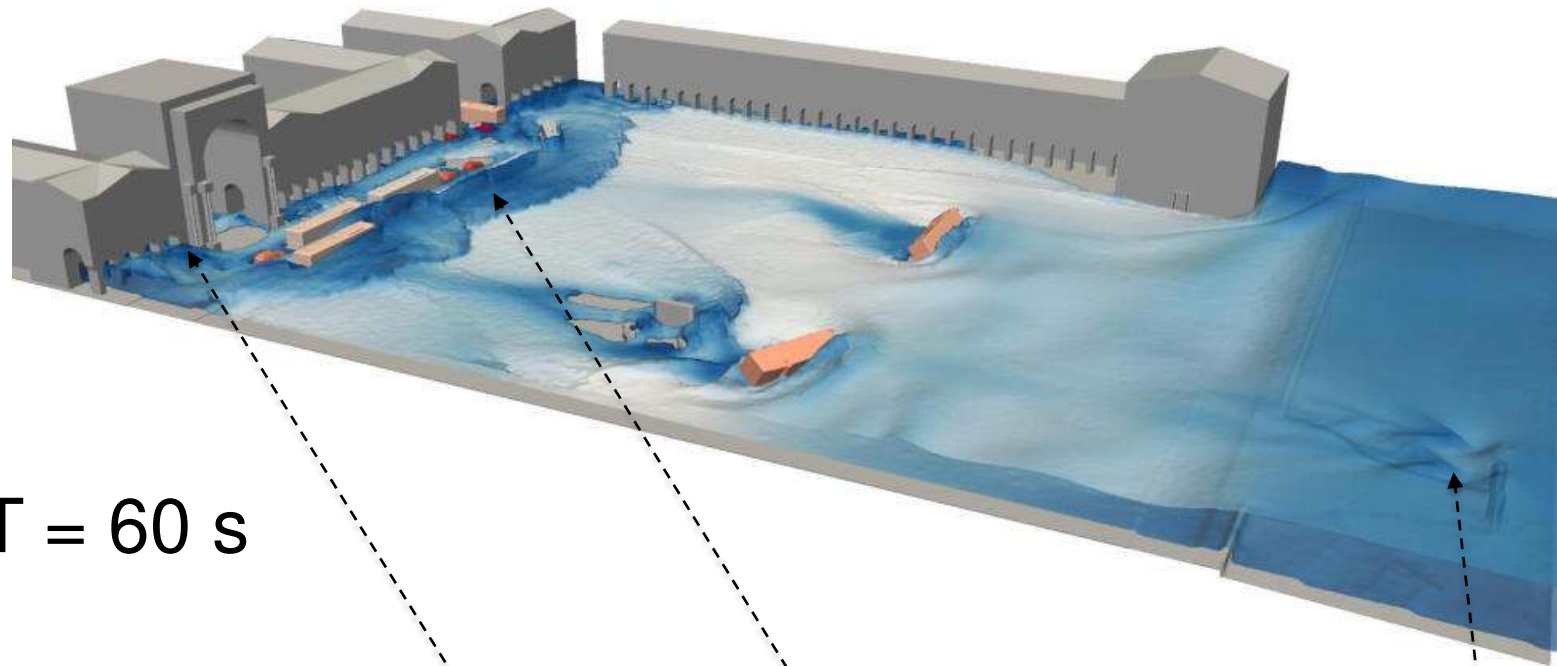
$T = 30 \text{ s}$

Swash atravessa a totalidade da Praça do Comércio.

Onda de choque à medida que a pressão aumenta em frente da estátua.

(velocidade da onda aprox. 4 m/s)

Praça do Comércio, #4/4



$T = 60 \text{ s}$

Arcadas inundadas. Formação de ressaltos.

Veículos deslocados em toda a praça.  
Esteiras submersas no Cais das Colunas

# **Simulação matemática da inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa**

Elementos fornecidos à CML



# Simulação determinística

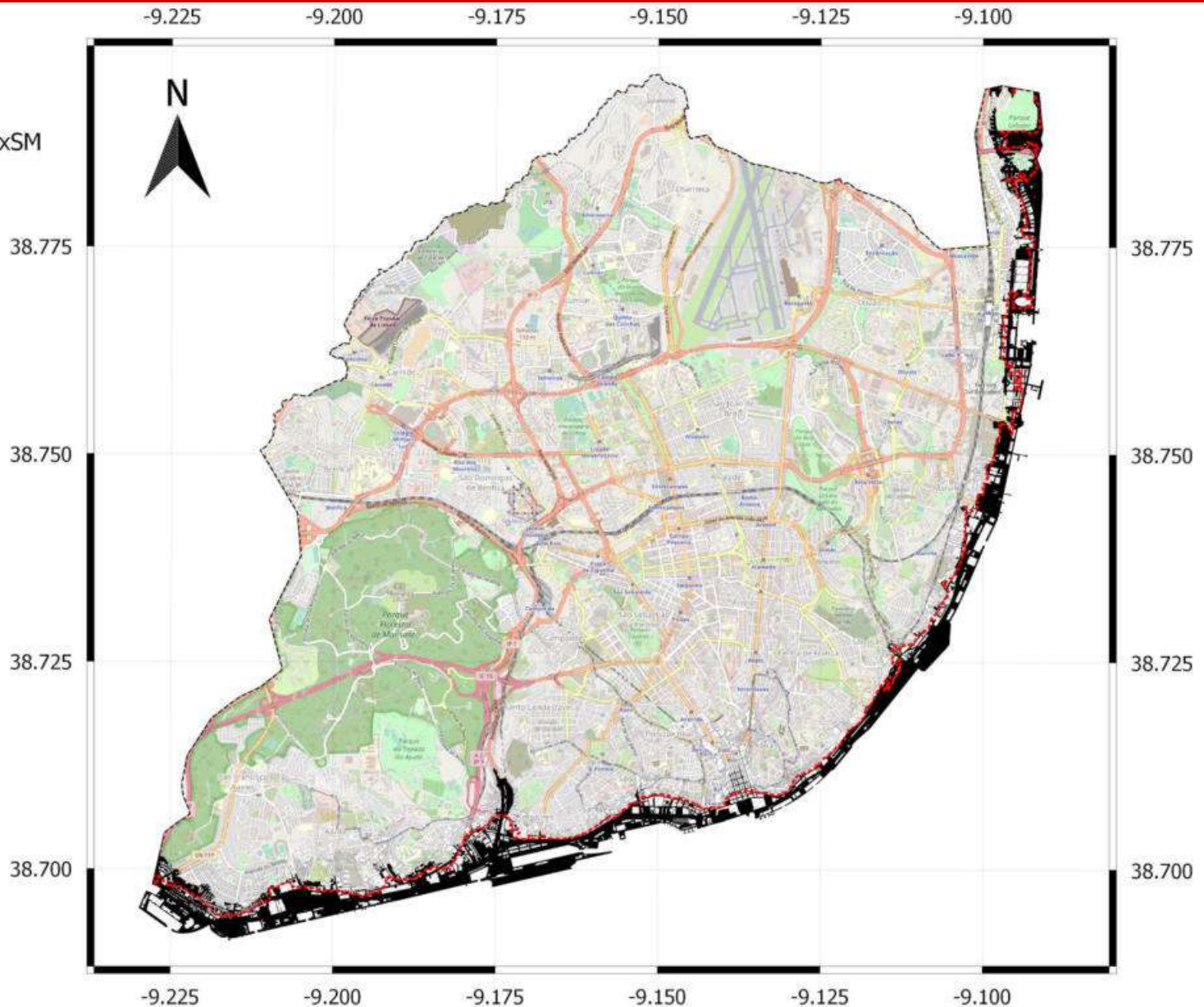
Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

## Legenda

NOAA2100\_PMmaxSM

Inundação

- Seco
- Inundado



Extensão da inundação

## Pedrouços - Belém - Alcântara



Extensão da  
inundação

-9.225

-9.200

-9.175



## Alcântara – Porto de Lisboa - Santos

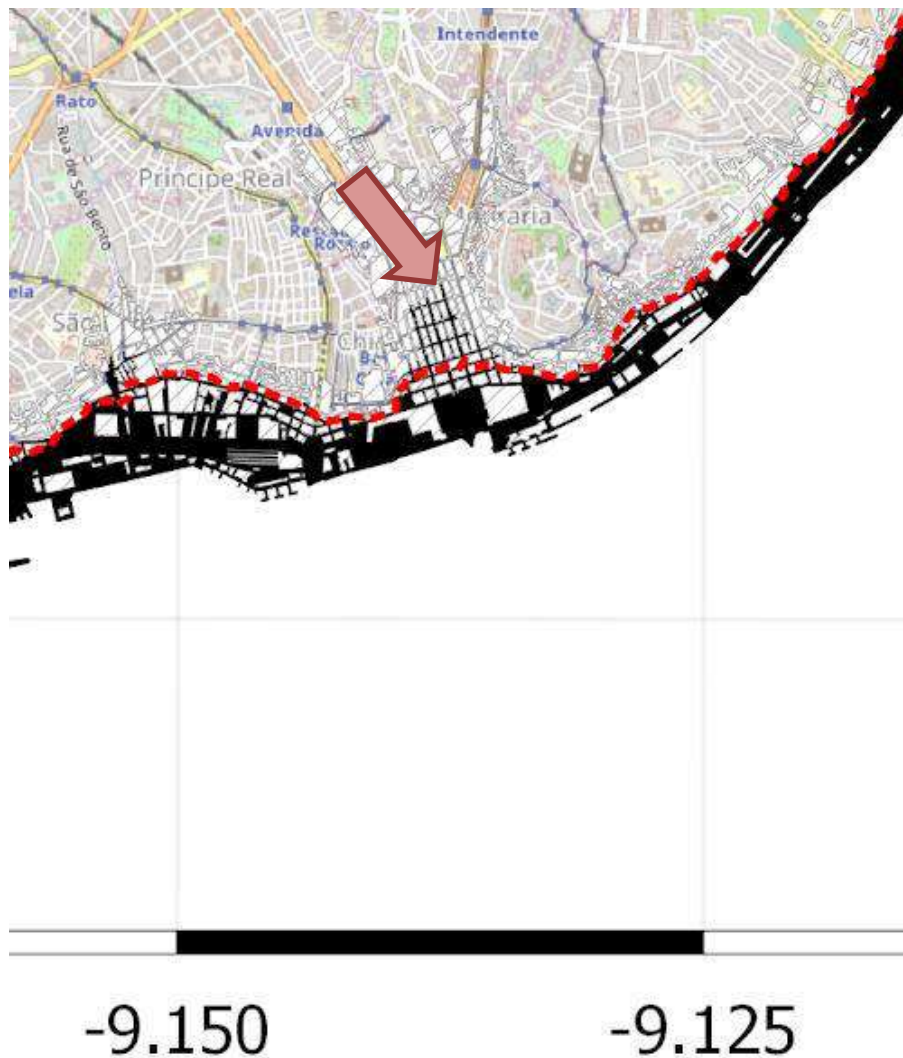


Extensão da  
inundação

-9.175

-9.150

## Cais do Sodré – Baixa - Xabregas

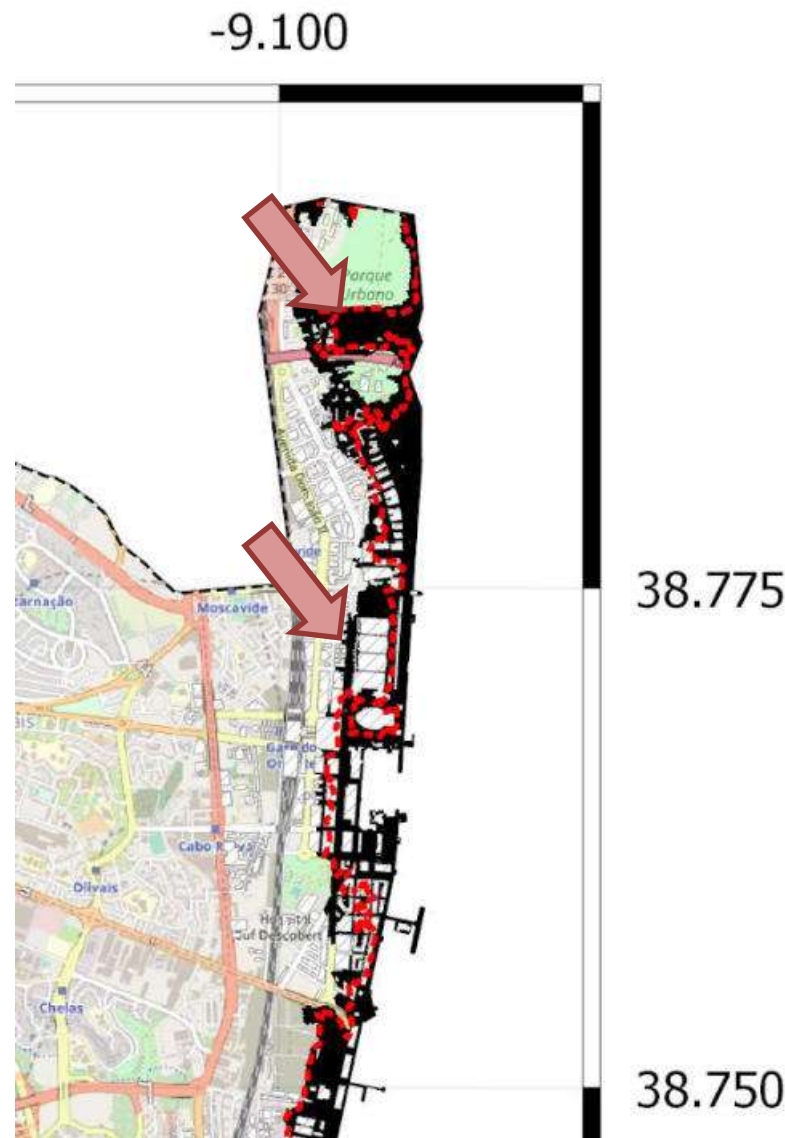


Extensão da  
inundação



## Parque das Nações - Trancão

Extensão da  
inundação



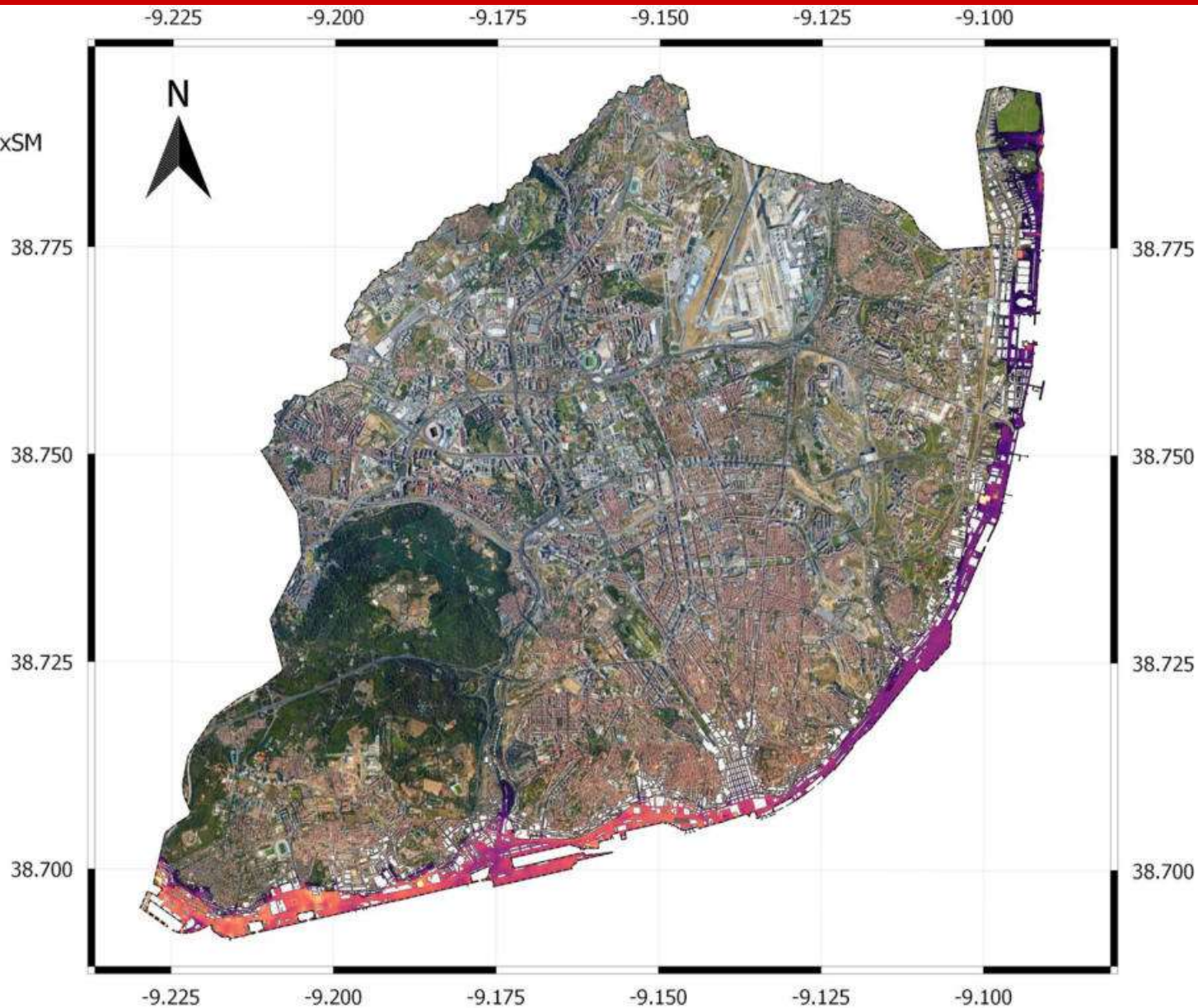
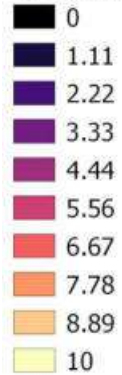
# Simulação determinística

Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

Legenda

NOAA2100\_PMmaxSM

Profundidade [m]



Envolvente da profundidade da inundação

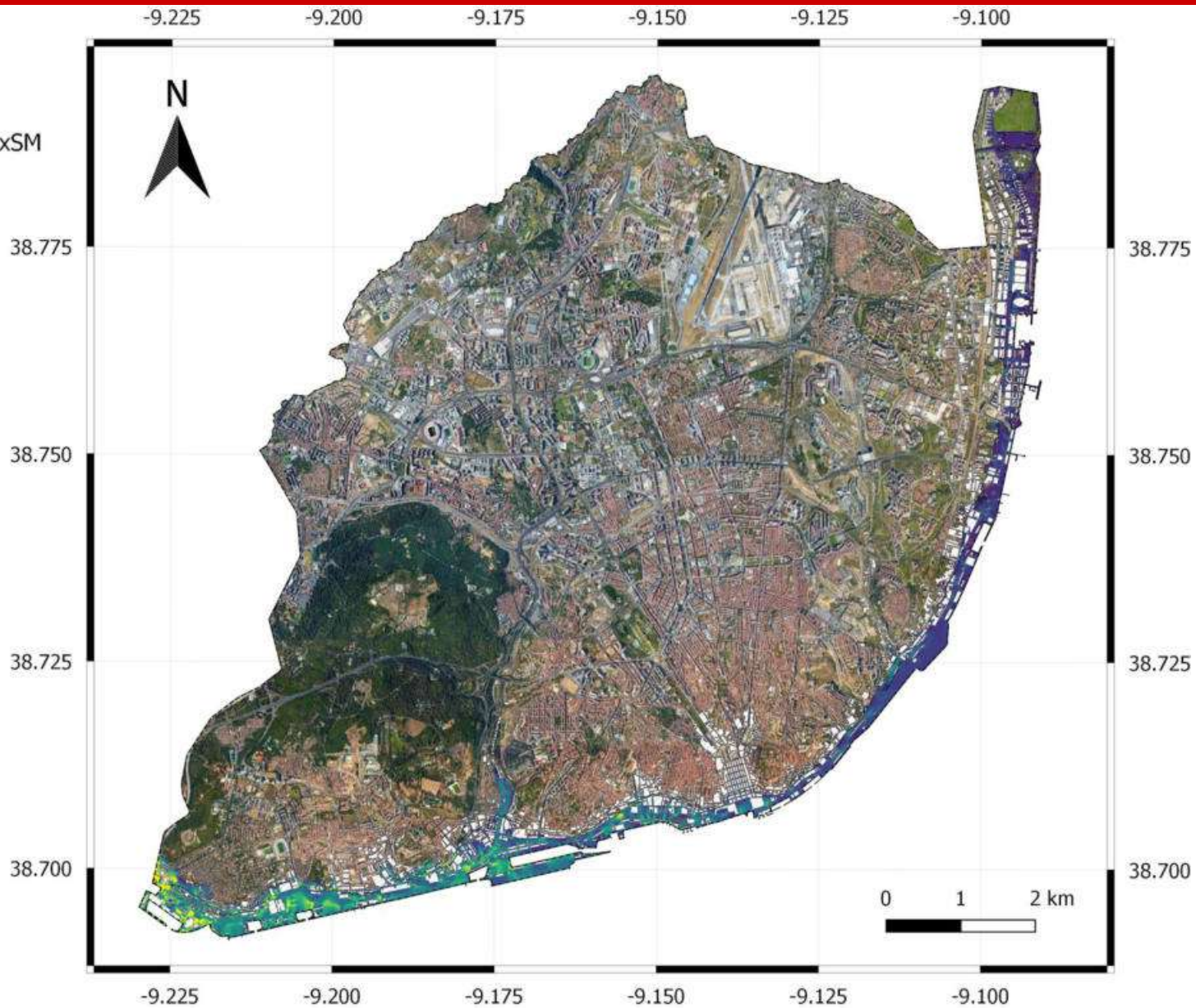


Legenda

NOAA2100\_PMmaxSM

Velocidade [m/s]

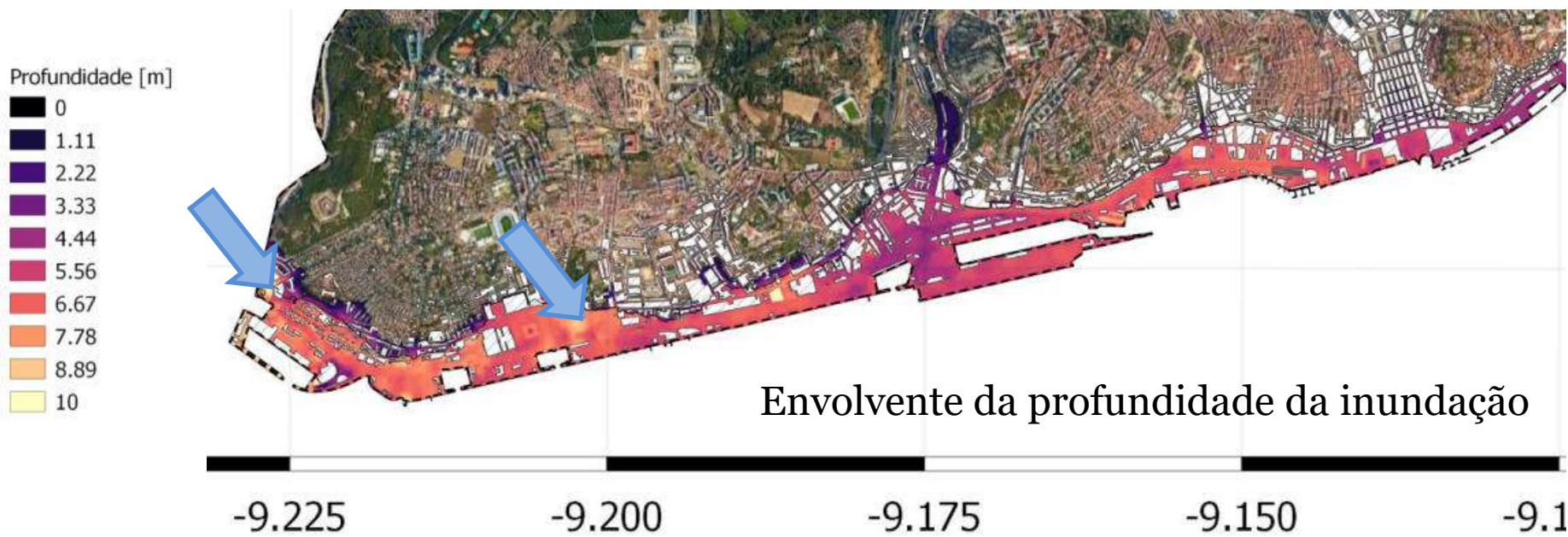
- 0.1
- 1.2
- 2.3
- 3.4
- 4.5
- 5.6
- 6.7
- 7.8
- 8.9
- 10



Envolvente da  
velocidade da  
corrente

# Simulação determinística

Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

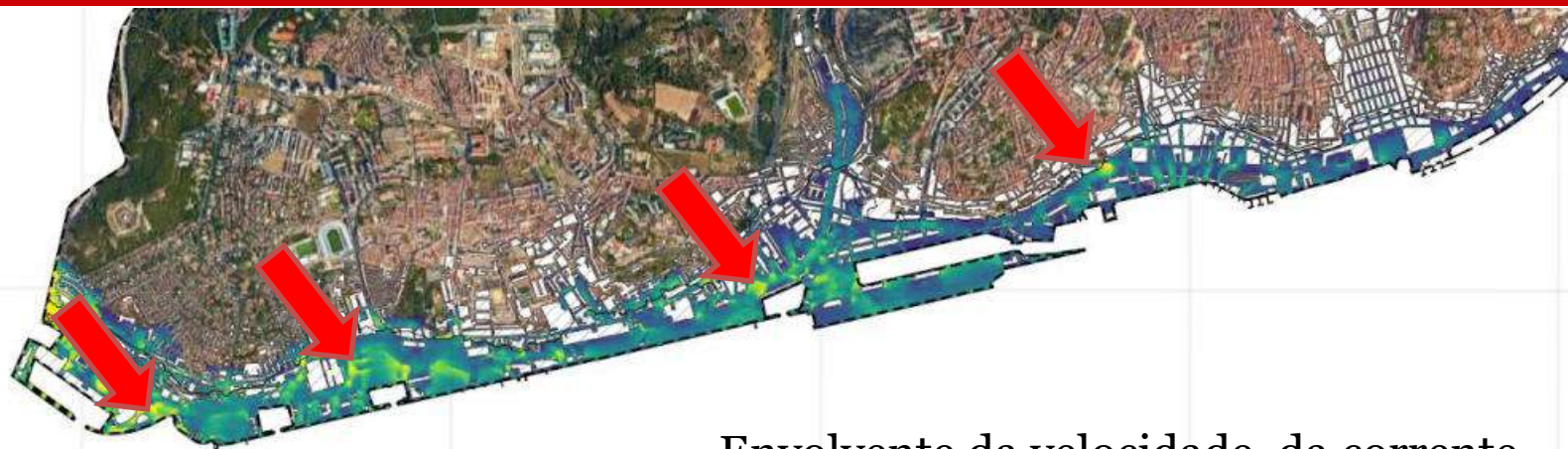
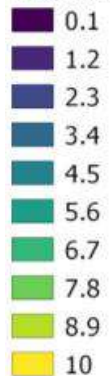




# Simulação determinística

Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

Velocidade [m/s]



Envolvente da velocidade da corrente

-9.225

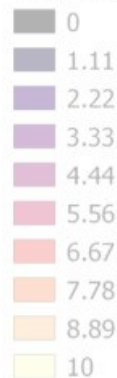
-9.200

-9.175

-9.150

-9.1

Profundidade [m]



Envolvente da profundidade da inundação

-9.225

-9.200

-9.175

-9.150

-9.1

# Simulação determinística

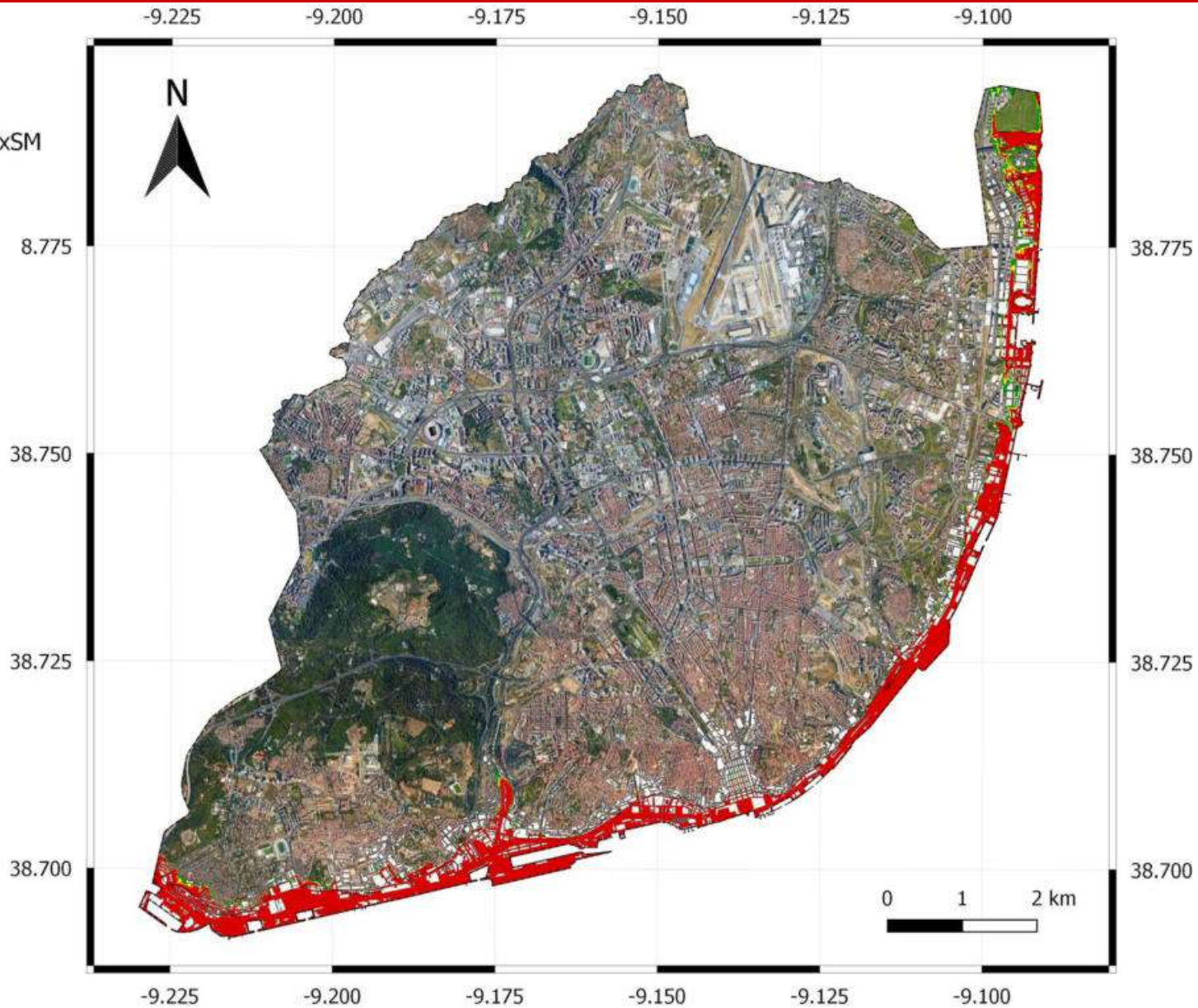
Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

Legenda

NOAA2100\_PMmaxSM

Nível de risco

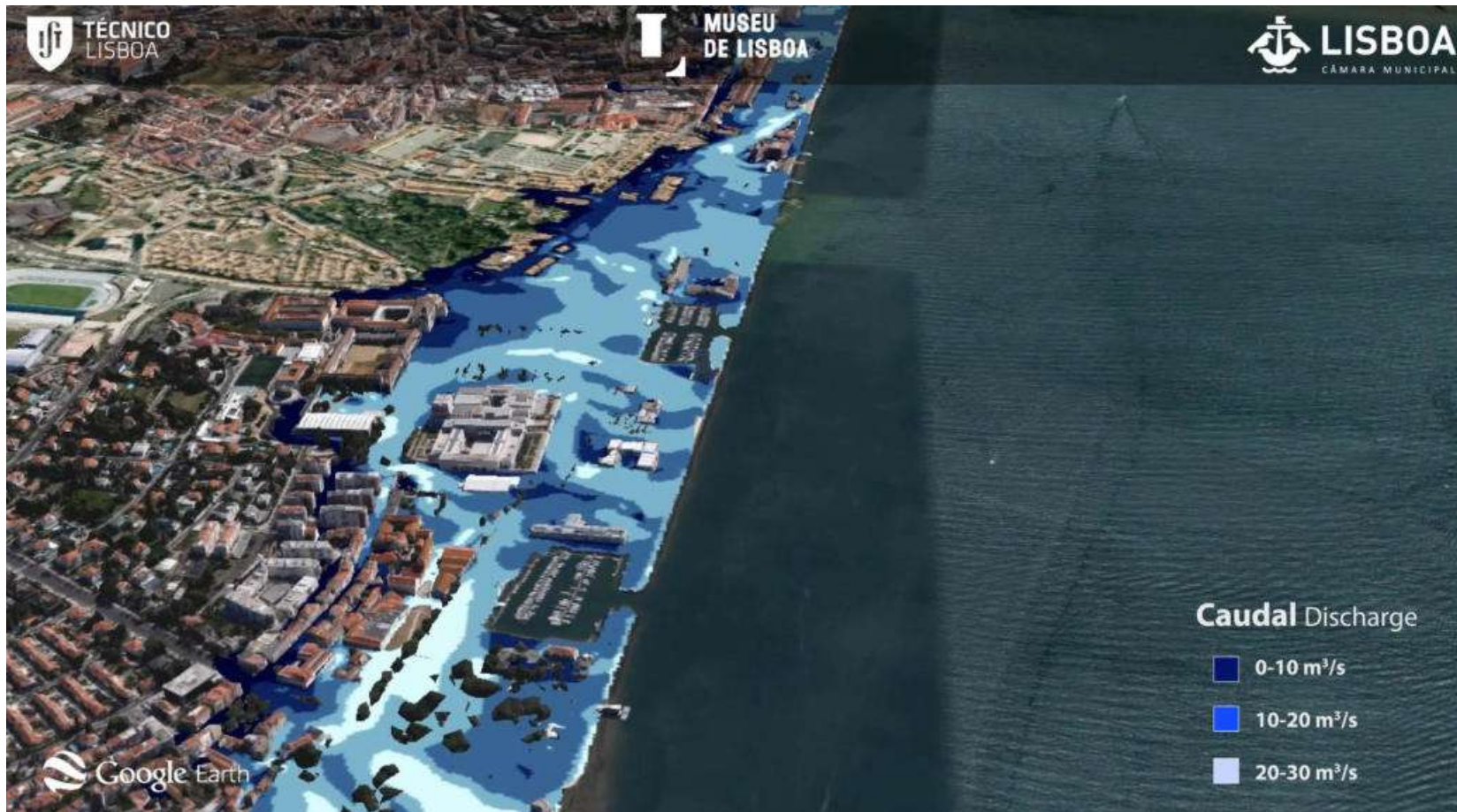
- elevado
- muito elevado
- extremo



Índice de perigosidade (intensidade da corrente)

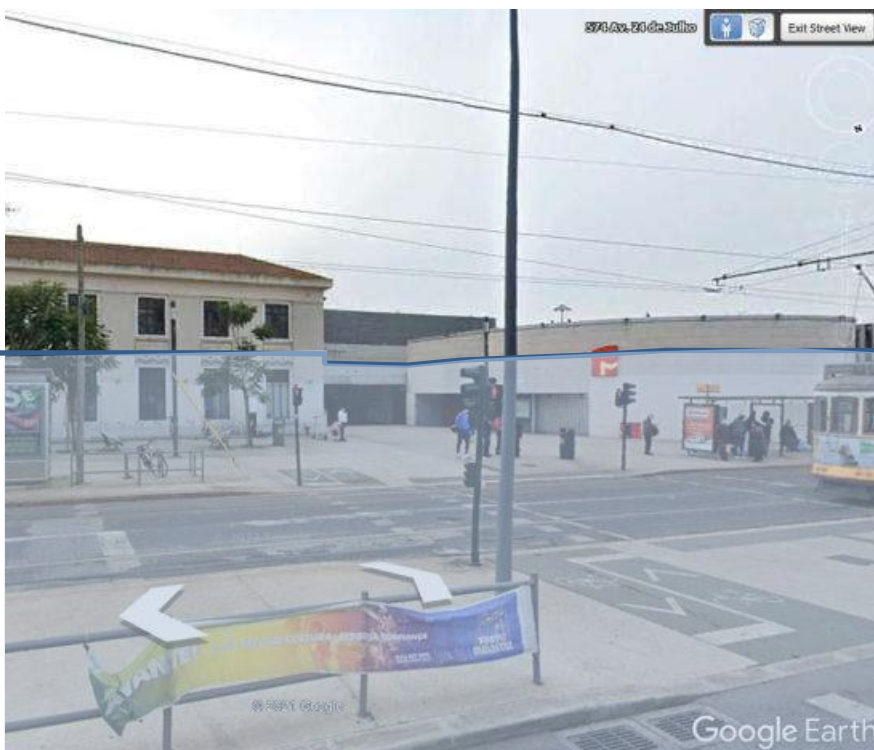


## Índice de perigosidade (intensidade da corrente)



## Considerações finais

- Regista-se máxima exposição entre Pedrouços/Belém (cotas profundidades máximas) e Alcântara (extensão máxima)
- Perigosidade extrema até Xabregas e no Parque das Nações
- Comboio e metropolitano severamente afectados



Nível acima dos 4 m no Cais do Sodré, durante 40 min



## Considerações finais

- Equipamentos vulneráveis acima da Cota 10 – critério adequado para grande parte de Lisboa, agora e até 2050 (exceptua-se a zona de Pedrouços/Belém em 2050)
- Locais seguros na zona ocidental – F Champalimaud, MAAT, Hospital CUF, ... (atenção às grandes distâncias a percorrer e barreiras fícias – linha do comboio, etc)

## Considerações finais

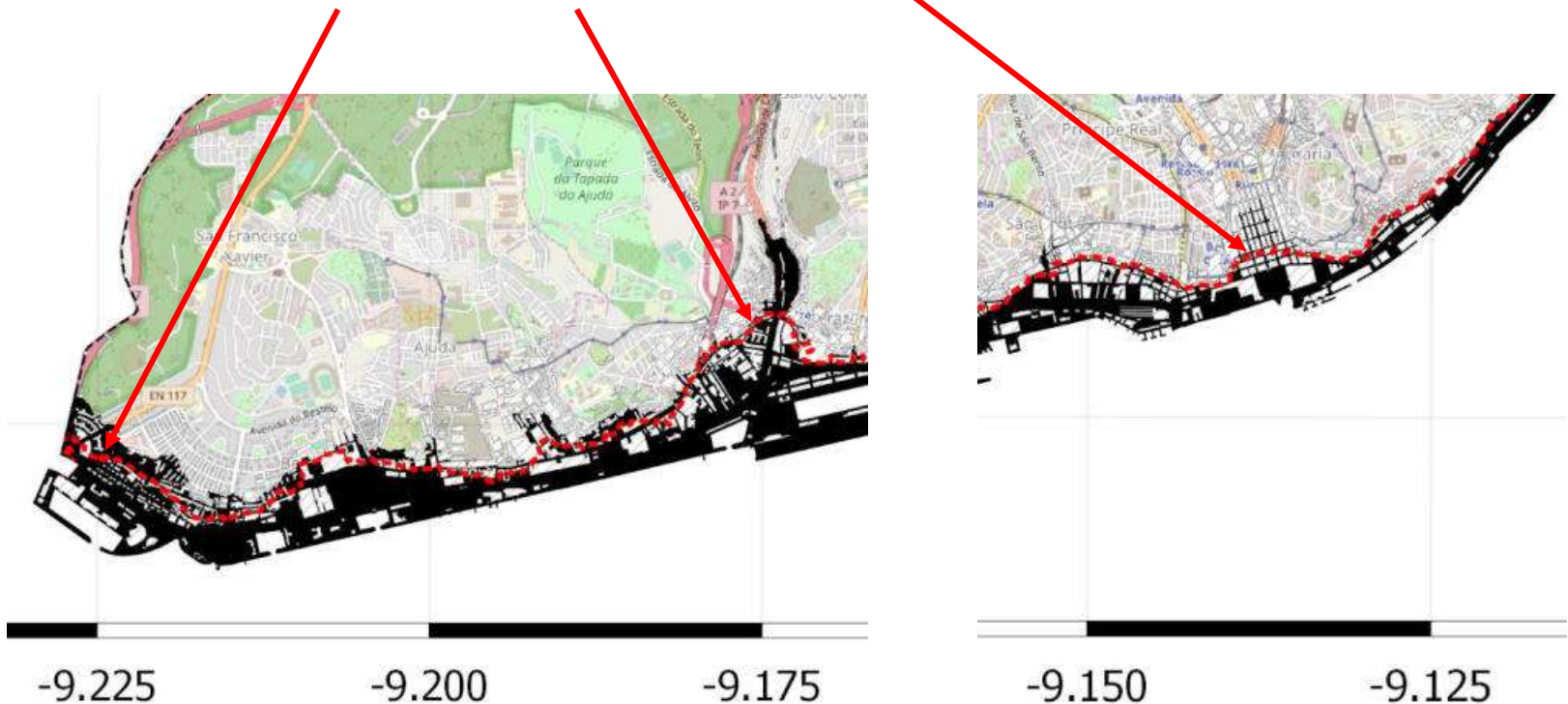
- Inundação em 2050 e em 2100 – grande parte da zona ribeirinha de Lisboa pode já estar inundada pela subida das águas do mar



## Considerações finais

- Inundação em 2050 e em 2100 – grande parte da zona ribeirinha de Lisboa pode já estar inundada pela subida das águas do mar

Inundação associada ao nível do mar em 2100 (preia-mar de águas vivas)



# Obrigado pela atenção

Equipa Científica



Instituto Superior Técnico

Rui M.L. Ferreira

Daniel Conde

Agradece a:

Maria João Telhado, Luísa Coelho, Sofia Baltazar, Paulo Henriques, (CML)

Lucília Guerreiro, António Miranda, Joana Gomes (CML)

Marco Morais, Pedro Lourenço, Pedro Vieira (CML)

Susana Tibúrcio

