

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/383978981>

# Análise da Inundação em Zonas Urbanas Expostas ao Aumento do Nível do Mar em Portugal Continental

Conference Paper · September 2024

CITATIONS

0

READS

26

3 authors:



**Andreia Alves da Silva**

IGOT-UL

5 PUBLICATIONS 3 CITATIONS

SEE PROFILE



**Jorge Trindade**

Universidade Aberta

87 PUBLICATIONS 215 CITATIONS

SEE PROFILE



**Jorge Rocha**

University of Lisbon

261 PUBLICATIONS 2,281 CITATIONS

SEE PROFILE

## Análise da Inundação em Zonas Urbanas Expostas ao Aumento do Nível do Mar em Portugal Continental

### Flood Assessment in Urban Areas Exposed to Sea Level Rise in Mainland Portugal

A. A. Silva<sup>1,2\*</sup>, J. Trindade<sup>1,3</sup>, J. Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudos Geográficos, Laboratório Associado TERRA, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 1600-276 Lisboa, Portugal

<sup>2</sup> Laboratório Colaborativo +Atlantic, 1200-225, Lisboa, Portugal

<sup>3</sup> Universidade Aberta, Lisboa, Portugal

\* andreiaalvessilva@edu.ulisboa.pt

#### RESUMO

Neste trabalho foi caracterizada a exposição das comunidades urbanas em Portugal continental à subida do nível do mar. A metodologia consistiu na determinação do nível máximo da água durante tempestades prevista para cada uma das células sedimentares da costa portuguesa, e complementarmente, a evolução do tecido urbano. Os resultados obtidos indicam que, em 2100, 86 km<sup>2</sup> sejam diretamente afetados por inundações costeiras, dos quais cerca de  $\frac{1}{3}$  possam ser áreas urbanizadas.

**Palavras-chave:** *Inundação Costeira; Subida do Nível do Mar; Uso e Ocupação do Solo.*

**Key-words:** *Coastal flooding; Sea Level Rise; Land Use Land Cover.*

#### 1. INTRODUÇÃO

A ocupação antrópica no litoral português sofreu uma mudança de paradigma no século XX. Um espaço outrora temido pela população, apenas frequentado sazonalmente por comunidades piscatórias, tornou-se atrativo para a fixação de residentes (Gaspar de Freitas, 2007). Até à atualidade, têm-se registado variações populacionais positivas nos municípios do litoral, o qual contava em 2022 com 36% da população residente em Portugal (INE, 2023). A perspetiva de crescimento urbano no litoral, conjugada com um contexto de mudança climática, num país com 980 km de fronteira com o oceano (no território continental), exacerba as necessidades de salvaguarda da população que se expõe a fenómenos como a Subida do Nível do Mar (SNM) e a erosão costeira. As taxas de erosão costeira são, em algumas áreas, superiores a 8 m/ano (Ponte Lira *et al.*, 2016), e quanto à SNM, prevê-se que se mantenha nos próximos séculos, e que em 2100 caso se verifique o cenário *Representative Concentration Pathway* (RCP) 8.5, a SNM possa atingir 80 cm em Portugal continental (NASA/IPCC). Tais fenómenos, acrescidos da ocorrência de eventos destrutivos (*e.g.*: tempestade Hercules), exacerbam a necessidade de uma gestão resiliente da orla costeira. Este trabalho pretende avaliar e mapear a exposição das comunidades urbanas em Portugal continental face à SNM.

#### 2. ENQUADRAMENTO

Ao longo da sua linha de costa, encontra-se uma vasta diversidade de ambientes morfossedimentares, como praias, arribas, estuários, lagoas e ilhas barreira (Santos *et al.*, 2014). Pela sua complexidade em termos de dinâmica sedimentar, o litoral português encontra-se subdividido em células sedimentares. Nestas unidades morfodinâmicas, os sedimentos são, do ponto de vista teórico, autocontidos e a circulação sedimentar é

relativamente homogénea. A carga sedimentar é feita pelas fontes (*e.g.*: rios), o principal responsável pelo transporte é a deriva litoral, e a retenção de sedimentos é feita nos sumidouros, que podem ser artificiais ou naturais (*e.g.*: molhe do porto da Figueira da Foz e canhão da Nazaré). A largura das células estabelece-se entre a profundidade de fecho e o limite terrestre de praia (Santos *et al.*, 2014). A célula sedimentar localizada mais a norte do país está localizada entre a foz do Rio Minho e a Nazaré, e subdivide-se, ainda, em sub-células sedimentares, onde se verificam descontinuidades na magnitude e direção do transporte sedimentar (Santos *et al.*, 2014). Na Nazaré inicia a segunda célula sedimentar e a última (8ª célula) termina na foz do Rio Guadiana. Até lá, os limites das células sedimentares entre estas ocorrem em Peniche, Cabo Raso, no Cabo Espichel, em Sines, no Cabo de São Vicente e nos Olhos de Água.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a identificação de perfis de exposição à inundações em Portugal continental para os anos de 2040, 2070 e 2100 é fundamentada em três abordagens basilares: 1) delimitação das áreas perigosas face à SNM, para o presente e para o futuro; 2) projeção da evolução do tecido urbano até ao fim do século; e 3) determinação dos perfis de exposição, para o contexto continental português.

As determinações das áreas perigosas pressupõem a área máxima de contacto com a água do mar durante a preia-mar de águas-vivas equinociais, combinada com a área afetada pela altura da coluna de água atual, e a altura prevista para os anos futuros, considerando a SNM (Trindade *et al.*, 2023). Para a delimitação destas áreas foi realizada a projeção de recuo horizontal da Linha Máxima de Preia-Mar das Águas-Vivas Equinociais, até ao fim do século, com base na tendência de regressão linear obtida através das projeções de recuo médio anual para a costa portuguesa num período histórico de 58 anos de análise (Ponte-Lira *et al.*, 2016). Simultaneamente foi determinado o nível máximo da água durante eventos tempestuosos, para as diversas células sedimentares de Portugal continental.

O cálculo foi realizado para os três anos em estudo, e pressupôs o somatório dos valores de 4 variáveis: i) maré astronómica, ii) a sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica, iii) o espraio de onda (onde foi considerado o valor total do *run-up* e utilizados os dados contínuos provenientes de valores previamente identificados e validados na literatura científica para as células sedimentares do litoral português), e iv) a e SNM, para três cenários RCP: 2.6, 4.5 e 8.5 ([sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool](https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool)). Esta fórmula foi assim aplicada ao litoral arenoso. No entanto, no caso do litoral rochoso e fortemente antropizado, foi apenas considerado 50% do valor do espraio de onda (Dodet *et al.*, 2018). Ao limite máximo de contacto da água do mar com o território continental no cenário RCP 8.5 de 2100 foi aplicado um *buffer* de 1 km, à qual foi atribuída a denominação de Faixa Litoral para os efeitos da determinação da dinâmica do uso do solo urbano. Para perceber qual pode ser a exposição futura das localidades costeiras a inundações episódicas, em paralelismo à inundações costeiras, foi ainda projetada a evolução das localidades do litoral continental. Por esse motivo, foram projetadas as áreas artificializada de uso do solo, ao qual o uso do solo é denominado por “tecido urbano”. Esta análise foi realizada para a totalidade da Faixa Litoral, ao nível da célula sedimentar, e para cada um dos anos em análise. A previsão pressupôs a aplicação do modelo híbrido de CA-Markov, que resulta na combinação do modelo de Autómatos Celulares com as cadeias de Markov (Rocha *et al.*, 2015). Esta análise possibilitou a predição do uso do solo

mediante a criação de uma matriz com as áreas de transição passadas. Também entram para o modelo a adequabilidade à expansão do tecido urbano, que se prendem com a proximidade às áreas previamente urbanizadas e às vias de circulação. Adicionalmente, foram introduzidas ainda as áreas de restrição legal à expansão do tecido urbano, sendo elas as áreas integrantes da Reserva Ecológica Nacional, da Reserva Agrícola Nacional e do Domínio Público Marítimo.

#### 4. RESULTADOS

Os resultados obtidos relativamente à inundação episódica, indicam que certas áreas se tornarão inevitavelmente perigosas, independentemente do cenário RCP verificado. A área inundável aumenta mediante o agravamento dos cenários RCP, sendo mais gravosas no cenário mais pessimista - RCP 8.5 – (Figura 1).

As áreas perigosas podem sofrer um aumento de 26 km<sup>2</sup> face à atualidade, para os cenários RCP 8.5, em 2100. A par deste aumento das áreas perigosas, o tecido urbano na Faixa Litoral pode evoluir de 50 km<sup>2</sup>, de 216 para 269 km<sup>2</sup> (Quadro 1). Relativamente aos núcleos urbanos expostos à ação do mar, atualmente encontram-se 14 km<sup>2</sup>, mas que podem aumentar para 29 km<sup>2</sup> em 2100. Para além disso, atualmente, as áreas urbanas expostas significam cerca de  $\frac{1}{4}$  das áreas perigosas face à SNM, mas em 2100 espera-se que este valor aumente para  $\frac{1}{3}$  das áreas perigosas.

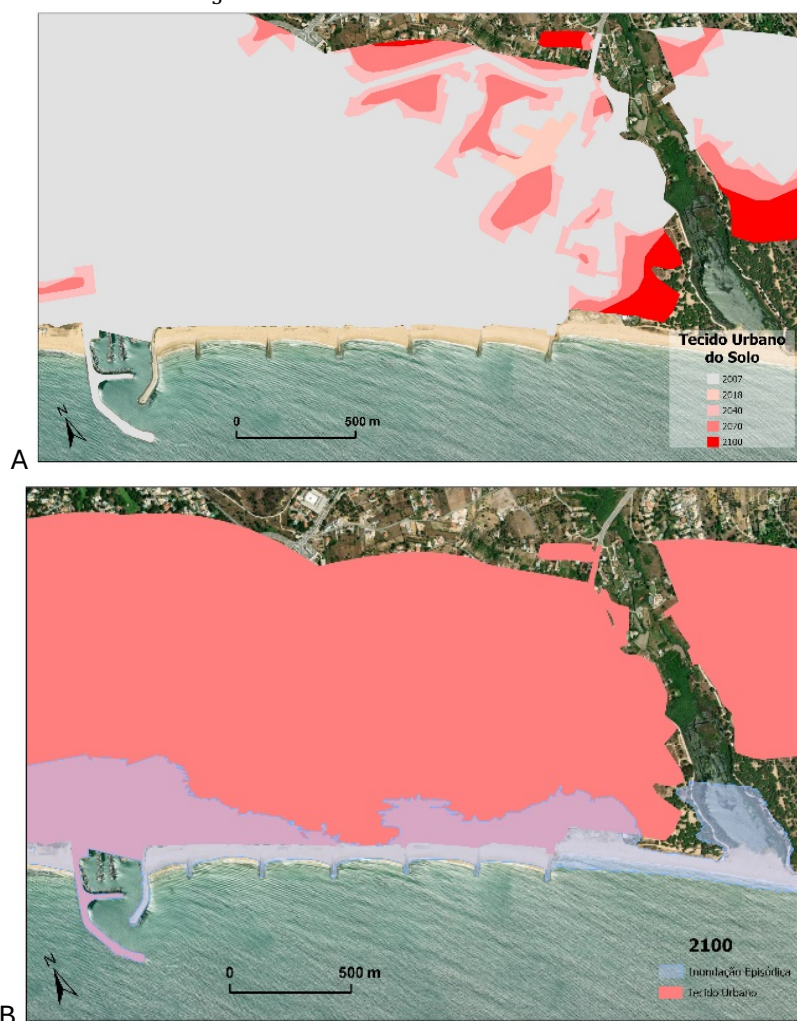


Figura 1 – Quarteira, Loulé. A) Predição da evolução do uso do solo. B) Áreas urbanas expostas a inundações episódicas.

Quadro 1. Quantificação das Áreas Perigosas face à SNM, Áreas urbanas, e Áreas urbanas expostas à SNM.

| <b>Portugal Continental</b> | <b>2018</b>         | <b>2100</b>         |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>ÁREAS PERIGOSAS</b>      | 62 km <sup>2</sup>  | 86 km <sup>2</sup>  |
| <b>ÁREAS URBANAS</b>        | 216 km <sup>2</sup> | 269 km <sup>2</sup> |
| <b>ÁREAS EXPOSTAS</b>       | 14 km <sup>2</sup>  | 29 km <sup>2</sup>  |

## 5. CONCLUSÃO

A SNM é um fenómeno inevitável, cuja sua taxa de subida está fortemente relacionada com os Gases de Efeito de Estufa que foram - e que ainda são - emitidos para a atmosfera. Neste trabalho foram quantificadas as áreas perigosas geradas pela SNM combinada com outros fatores físicos. Para o futuro, espera-se um aumento destas áreas perigosas, e que possam ser superiores em mais de 30% em relação às atuais. O mesmo é esperado a nível da evolução do tecido urbano no litoral, que poderá vir a ser mais expressivo no futuro. A combinação destes dois indicadores é uma variável fundamental ao estudo dos riscos costeiros no litoral.

Como possíveis soluções, são indicadas: a adoção de uma ótica de planeamento territorial pensado a longo-termo, que possa passar pela realocação de estruturas antrópicas em risco, de modo a eliminar a exposição a esta problemática; uma aposta nas medidas preventivas de mitigação dos riscos, como a definição de áreas críticas de construção urbana para estas áreas que se preveem perigosas no futuro; a adaptação de áreas citadinas à SNM, combinadas com estratégias de adaptação baseadas na natureza.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto HighWaters - “Avaliação de cenários de exposição e vulnerabilidade social à SNM para o uso sustentável do território” - (Ref.: EXPL/GES-AMB/1246/2021), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

## REFERÊNCIAS

- Dodet, G., Leckler, F., Sous, D., Arduin, F., Filipot, J. F., & Suanez, S. (2018). Wave runup over steep rocky cliffs. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(10), 7185-7205.
- Gaspar de Freitas, J., (2007). O litoral português, percepções e transformações na época contemporânea: de espaço natural a território humanizado. *Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 7(2), 105-115.
- INE. (2023). População residente. Lisboa, Portugal: INE, Instituto Nacional de Estatística. [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0000256&selTab=tab0](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0000256&selTab=tab0). Consultado a 07 de julho de 2023.
- NASA/IPCC. Sea Level Projection Tool. Available at: <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>
- Ponte-Lira, C., Nobre Silva, A., Taborda, R., & Freire de Andrade, C. (2016). Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: an integrated approach. *Earth System Science Data*, 8(1), 265-278.
- Santos, F. D., Lopes, A. M., Moniz, G., Ramos, L., & Taborda, R. (2014). Gestão da Zona Costeira—O Desafio da Mudança. *Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral*, 237.

Trindade, J., Reis, E., Rocha, J., Santos, P. P., Garcia, R., Oliveira, S. C., Silva, A., Pinheiro, S., & Cuervas-Mons, J. (2023). Metodología para la evaluación del riesgo de subida del nivel del mar en la zona costera expuesta de Portugal. *Geogaceta*, 74, 59–62.

Rocha, J., Rodrigo, C., Viana, C. M., & Barbosa, Â. (2015). Planning and Land Use/Cover Scenarios: The Role of Probabilistic Algorithms. *29th Annual AESOP*, 2887-2902.