



MAPAS DE INUNDAÇÃO COSTEIRA PARA A PRAIA DA VITÓRIA (AÇORES) DERIVADOS DA MODELAÇÃO SWASH DE EVENTOS DE TEMPESTADE

Larize Lima
Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC/DHA/NPE)
llima@lnec.pt

Resumo

Este trabalho descreve o uso do SWASH para modelar tempestades e mapear inundações na baía da Praia da Vitória (Terceira, Açores) que, embora protegida por dois molhes e cinco esporões, continua sujeita a galgamentos em certas condições de agitação incidente. A gestão municipal utiliza o HIDRALERTA, único sistema português de previsão (a 72 horas) de galgamentos, que identifica locais vulneráveis, mas não fornece a extensão espacial das inundações. Foram produzidos mapas e métricas quantitativas de dois episódios de agitação frequente (2024), e dois associados ao Furacão Alex (2016), além de um projetado (2100) com subida do nível do mar. Os resultados evidenciam variações nos caudais e frequência dos galgamentos, que ameaçam infraestruturas da orla marítima nos cenários mais extremos. Esta abordagem caracteriza o primeiro esboço de um módulo que pode ser integrado ao HIDRALERTA para torná-lo mais robusto, reforçando o suporte para uma gestão costeira preventiva e adaptativa.

Introdução

Em Portugal, localidades costeiras insulares apresentam elevada vulnerabilidade às inundações. Na Ilha Terceira (Açores), a baía da Praia da Vitória conta, desde a década de 1960, com estruturas portuárias e marítimas que têm desempenhado papel relevante na proteção da orla costeira, mas continua sujeita a galgamentos em certas condições de agitação incidente, vinculadas a tempestades sazonais e/ou extremas.

Presentemente, a municipalidade de Praia da Vitória recorre ao HIDRALERTA (Fortes *et al.*, 2013; Poseiro, 2019), sistema de previsão e alerta de galgamentos costeiros com horizonte de 72 horas, que apoia a adoção de medidas preventivas pela proteção civil. Apesar da sua capacidade em indicar locais de ocorrência e níveis de alerta com base num caudal estimado, persiste a ausência de informação sobre a extensão espacial das inundações. Esta dimensão é fundamental não apenas para salvaguardar a população, mas também para identificar áreas urbanas e património vulnerável, reforçando a eficácia da gestão costeira.

Enquadramento e Metodologia

Este estudo procura suprir a lacuna identificada através da integração entre modelação numérica e georreferenciamento em SIG, aplicada a diferentes cenários de agitação marítima. A metodologia permite quantificar variações nos caudais e na frequência de galgamentos no tempo e no espaço, possibilitando mapear a extensão da inundação em cenários reais ou hipotéticos, tanto frequentes quanto extremos.

A modelação SWASH (Zijlema *et al.*, 2011) constitui uma ferramenta quantitativa, capaz de simular com elevada resolução a propagação das ondas e dos galgamentos costeiros. Na Praia da Vitória, aplicou-se uma resolução temporal de 0,5 s em 597 pontos de controlo, distribuídos da linha de costa para o interior. Foram analisados quatro episódios reais — dois de agitação frequente em 2024 e dois associados ao Furacão Alex, em 2016 — e um cenário hipotético para 2100, que considera a subida do nível do mar (Tabela 1). Foram identificados, para cada cenário, que pontos registaram caudal maior que zero ao longo do tempo de simulação. Estes pontos foram então georreferenciados e determinaram o mapeamento da zona de espraiamento/inundação ao longo da costa.



Tabela 1. Condições de agitação marítima adotadas nos cinco cenários simulados.

Cenário	Descrição	Nm (m)	Hs (m)	Tp (s)	Dir. (°)	Tempo de simulação (s)
1	Frequente de maré média (registada em 1º de Abril de 2024, às 8h)	1.09	0.95	12.33	19.95	5774
2	Frequente de maré alta (registada em 15 de Janeiro de 2024, às 17h)	1.56	1.29	9.10	18.85	5822
3	Furacão Alex: Hs máximo (registado em 15 de Janeiro de 2016 às 13h)	0.53	4.79	10.07	95.38	5835
4	Furacão Alex: maré alta (registado em 15 de Janeiro de 2016 às 19h)	1.49	4.50	11.14	130.29	5663
5	Projeção de tempestade para 2100: Hs e Tp máximos, Dir. mais gravosa, Nm máximo + SLR)	2.5*	7	13	90**	5211

*Os níveis de maré máximos já registados giram em torno de 1.50m. A projeção de Ponta Delgada para 2100 é de +0.82m e de +1.03m para 2120. Fonte: Sea Level Projection Tool (IPCC, 2023).

**Em Praia da Vitória, padrões de onda de direção E-W (~90°) geram galgamentos.

Resultados e discussão

Dados da simulação SWASH mostram que os cenários 1 e 2 registaram caudais desprezíveis ($\sim 4.6 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$). Este resultado confirma a eficácia das estruturas marítimas em situações de agitação frequente, tanto em maré média quanto em maré alta. Embora os caudais registados nos cenários 3 e 4 tenham sido superiores aos dos cenários frequentes, permaneceram reduzidos, variando entre 5.3×10^{-4} e $3 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ (Figura 1).

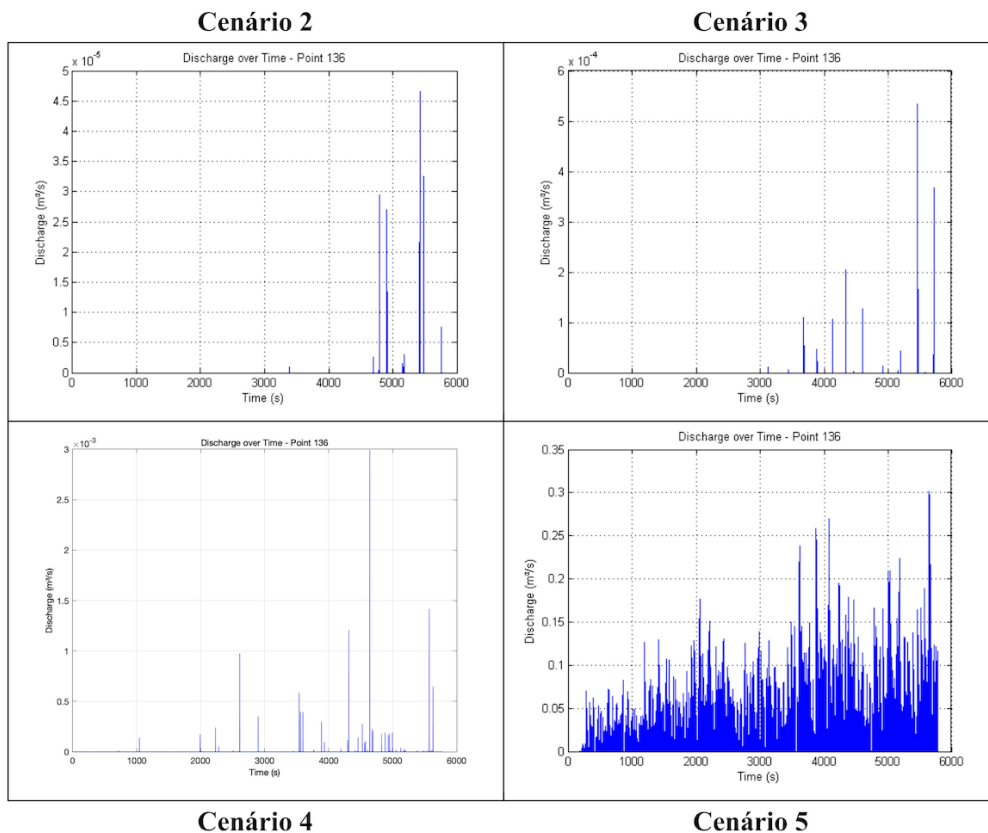


Figura 1 - Evolução temporal dos caudais de galgamento no Ponto 136 para diferentes cenários simulados (2 a 5).



Os registos dos caudais do cenário 5, projetado para o ano de 2100, demonstram resultados discrepantes (Figura 1), e indicam um aumento expressivo na frequência de galgamentos, suficiente para acumular volume de água altamente danoso para infraestruturas e património urbano. Além disso, os caudais estimados atingem valores muito elevados, chegando a 0.3m³/s na zona 5 e 1.1m³/s na zona 7.

A simulação SWASH permitiu identificar os pontos onde foram registados caudais positivos. A ligação entre estes pontos permitiu a elaboração dos mapas de extensão da inundação, para os cinco cenários. A Figura 2 mostra os mapas de extensão da inundação dos cinco cenários na zona 5 da baía da Praia da Vitória.

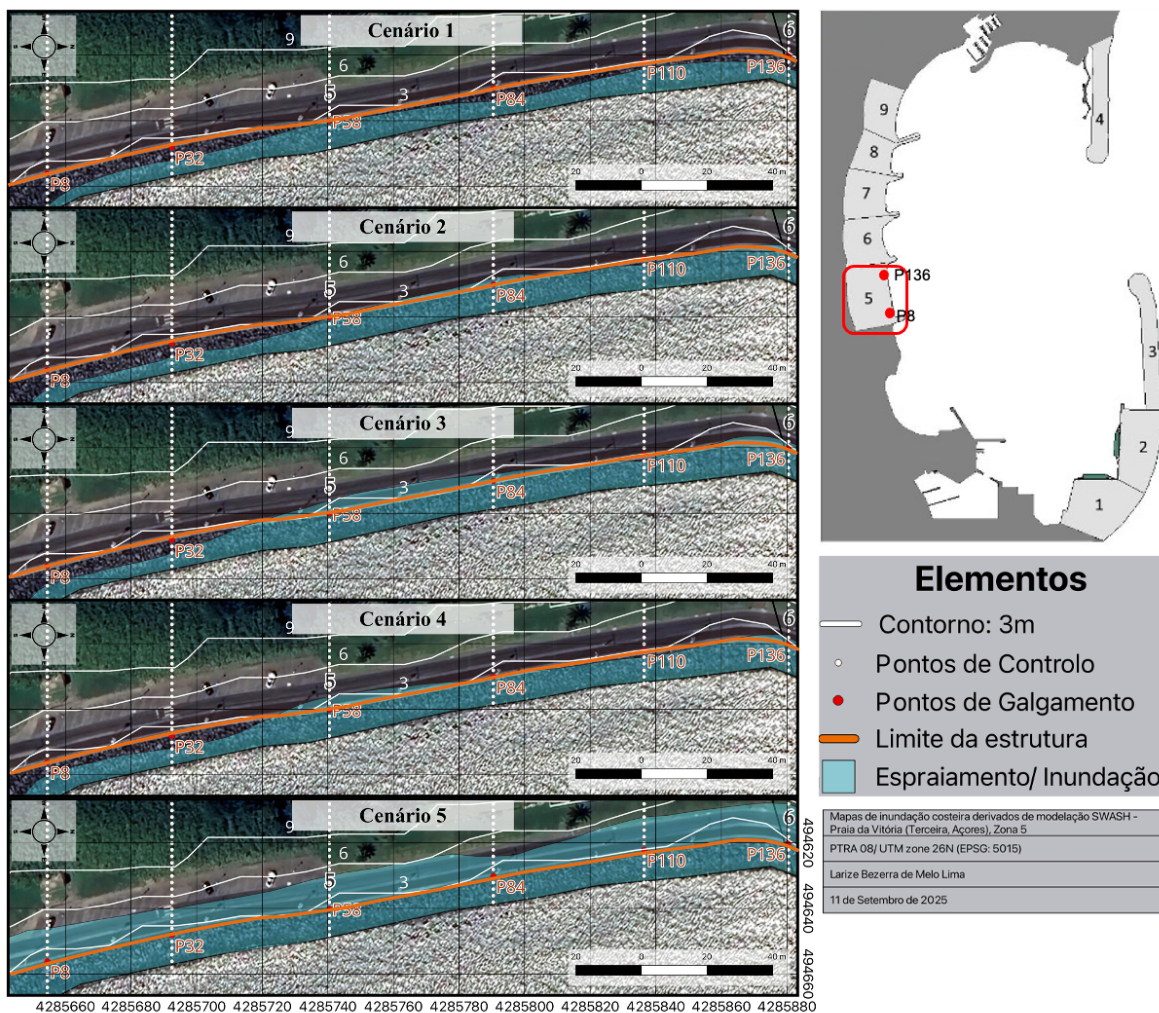


Figura 2 – Mapas de inundação costeira derivados de modelação SWASH - Praia da Vitória (Terceira, Açores), Zona 5.

Ainda a partir da Figura 2 é possível observar que, nos cenários frequentes (1 e 2), os pontos com caudais positivos permaneceram restritos à zona de espraio, sobre a própria estrutura. Apenas na zona 5, no cenário 2, o fluxo atingiu dois pontos de galgamento (P84 e P136). As estruturas também se mostraram eficazes nos cenários de tempestade (3 e 4), uma vez que o fluxo atingiu



apenas os pontos de galgamento P84 e P136 (cenário 3) e P58 e P136 (cenário 4). O cenário (5), projetado para 2100, evidencia um agravamento significativo da inundação, que ultrapassa quase todos os pontos de galgamento ao longo da costa (exceto na zona 9) e excede a cota altimétrica de 6m, atingindo o passeio, a rodovia e os estacionamentos da orla marítima.

Considerações

Os dados obtidos confirmam a eficácia das estruturas marítimas existentes na Praia da Vitória em situações de agitação frequente e tempestades recentes, uma vez que os caudais registados se mantiveram reduzidos e com impacto limitado. Contudo, o cenário projetado para 2100 evidencia um agravamento significativo da inundação costeira, com ultrapassagem generalizada dos pontos de galgamento, elevação substancial dos caudais e danos potenciais relevantes para a orla urbana.

A baía da Praia da Vitória serviu como área de estudo ideal para a demonstração da metodologia aqui proposta. A comparação entre os cenários reais registados com um cenário hipotético projetado aponta para a necessidade de os gestores municipais munirem-se de sistemas preditivos mais robustos, capazes de apontarem a extensão e, portanto, a dimensão das áreas inundadas em contexto atual e/ou futuro. A aplicação do modelo SWASH integrada em SIG, representa um potencial a ser ainda mais explorado para a quantificação e espacialização da inundação, fornecendo produtos úteis no que tange a antecipação de riscos e apoio à decisão.

Este estudo, portanto, contribui para a engenharia costeira e portuária ao complementar sistemas preditivos já operacionais, como o HIDRALERTA, e ao oferecer bases quantitativas que apoiam desde a gestão preventiva de curto prazo até ao planeamento estratégico de ordenamento do território face à subida do nível do mar (médio e longo prazo).

Perspetivas futuras incluem a elaboração de um novo módulo do HIDRALERTA, capaz de apresentar a extensão das inundações previstas, a incorporação de múltiplos cenários climáticos futuros e a avaliação de soluções no âmbito de estratégias de gestão costeira adaptativa.

Financiamento

Este trabalho é financiado pelo Programa LIFE da União Europeia (55%), através do Projeto LIFE-GARACHICO — Adaptação das inundações costeiras às alterações climáticas através de estratégias flexíveis em áreas urbanas da Macaronésia (LIFE20 CCA/ES/001641, 2021–2026).

Referências Bibliográficas

- Fortes, C.; Reis, M.T.; Poseiro, P. O projeto HIDRALERTA: Sistema de previsão e alerta de galgamentos em zonas costeiras e portuárias. In Proceedings of the 8as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, AIPCN/PIANC, Lisboa, Portugal, 10–11 October 2013; LNEC: Lisbon, Portugal.
- Poseiro, P.G.G. (2019). “Forecast and Early Warning System for Wave Overtopping and Flooding in Coastal and Port Areas: Development of a Model and Risk Assessment”. Tese de doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 495 pp.
- Zijlema, M., Stelling, G.S., Smit, P. (2011). “SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters”. *Coastal Engineering*, 58(10), pp. 992–1012.