



Metodologias de avaliação da vulnerabilidade ao risco de tsunami: aplicação ao sector costeiro Cova-Gala – Leirosa; Figueira da Foz

José Leandro Barros (1), António Emídio (2), Alexandre Oliveira Tavares (3),
Ângela Santos (2)

(1) Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra, Portugal

leandrobarros@ces.uc.pt

(2) Research Group on Environmental Hazards and Risk Assessment and Management (RISKam),
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Portugal

a.emidio@campus.ul.pt, angela.santos@campus.ul.pt

(3) Dep. de Ciências da Terra e Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra, Portugal;

atavares@ci.uc.pt

Resumo

A ocorrência de um tsunami pode causar um grau de destruição elevado nas infra-estruturas públicas e privadas costeiras, bem como perturbações sociais profundas nas comunidades locais. Diferentes metodologias permitem avaliar a vulnerabilidade do edificado sob o impacto de tsunami. Este trabalho apresenta a aplicação de dois modelos de análise designados por PTVA-3 e por modelo Ismail ao troço costeiro entre a Cova-Gala e a praia da Leirosa, a sul da Figueira da Foz. O objectivo deste trabalho é avaliar os índices de vulnerabilidade para os edifícios, bem como dos espaços envolventes, utilizando como referência a modelação numérica da inundação do tsunami de 1 de Novembro de 1755. Os resultados mostram a presença de 100 edifícios potencialmente afectados na zona costeira, nomeadamente na Cova-Gala e Leirosa, com índices de vulnerabilidade variando entre baixo e médio.

Palavras chave: Tsunami de Lisboa de 1755, vulnerabilidade, edificado, índice de vulnerabilidade, Figueira da Foz

1. Introdução

Um tsunami pode causar um grau de destruição elevado nas infra-estruturas públicas e privadas costeiras, bem como perturbações sociais profundas nas comunidades locais. Vários estudos salientam a necessidade de avaliação da vulnerabilidade associada ao impacto de um tsunami nas zonas costeiras. (Papathoma *et al*, 2003; Papathoma e Dominey-Howes, 2003; Dominey-Howes e Papathoma, 2007; Dall' Osso *et al*, 2009; Ismail *et al*, 2012), visando o estabelecimento de medidas de mitigação, bem como a optimização do alerta, resposta de emergência e de recuperação no período pós-desastre. A escolha da Figueira da Foz baseia-se fundamentalmente num conjunto de factos: a)

ser um centro urbano de média dimensão com forte presença antrópica e de infra-estruturas vitais na zona costeira; b) grande flutuação diária e sazonal de população; c) existência de relatos históricos que mostram um run-up extremo de 36m (Santos *et al.*, 2012). Neste estudo utilizam-se os resultados obtidos por Santos *et al* (2012) para o cálculo da inundação do Tsunami de Lisboa de 1755.

2.  rea de estudo

Este estudo apresenta a aplica o de duas metodologias de avalia o da vulnerabilidade do edificado, aplicada ao troço costeiro entre a Cova-Gala e a praia da Leirosa, a sul da Figueira da Foz (fig.1), abrangendo as freguesias de São Pedro, Lavos e Marinha das Ondas. A análise da modela o numérica da inunda o do tsunami, utilizando como referência o tsunami de 1 de Novembro de 1755, permite identificar treze subsec o es estatísticas afectadas pela inunda o e impacto das ondas de tsunami, onde se localizam 152 edifícios e residem 659 pessoas (INE, 2011) sendo os principais núcleos habitacionais a Cova-Gala e a Leirosa. As alturas de inunda o variam para a área de estudo entre os 8m e as dezenas de centímetros. Em termos físicos a área afectada caracteriza-se por uma altimetria menor que 10 metros, uma costa do tipo arenosa com a presença de dunas, algumas com 10 m de altura, apresentando muitas delas uma erosão significativa, onde se destaca ainda a artificializa o de alguns troços entre a Cova-Gala e Leirosa materializada pela constru o de esporões.



Figura 1 – Enquadramento  rea de estudo



3. Metodologia

Neste estudo utilizam-se duas metodologias para avaliar a vulnerabilidade do edificado face a um tsunami semelhante ao de 1755, como referido anteriormente. Estas metodologias assentam na ideia de que a vulnerabilidade de um edifício pode ser analisada através da combinação da modelação numérica da inundação com um conjunto de atributos intrínsecos aos edifícios relacionado com o seu design, condição e meio envolvente (Tarbotton *et al.*, 2012). A primeira denomina-se PTVA-3 (Dall’Osso *et al.*, 2009) que resulta da actualização do modelo original desenvolvido por Papatoma *et al.* (2003) e por Papatoma e Dominey-Howes (2003). Este modelo, através da combinação dos resultados da inundação com um conjunto de atributos relativos aos edifícios (tabela 1), avalia a vulnerabilidade dos mesmos através do cálculo do RVI (Relative Vulnerability Index) com base na seguinte equação:

$$RVI = 2/3(SV) + 1/3(WV) \quad (1)$$

onde o SV (structural vulnerability) que inclui a variável B_v , Prot e Ex (que indica a altura da inundação) representa a capacidade do edifício para suster as forças hidrodinâmicas originadas pelo fluxo do tsunami e o WV representa a extensão do edifício submersa pela água (Tarbotton *et al.*, 2012; Dall’Osso *et al.*, 2009).

Vulnerabilidade Edifício (B_v)	Factor Protecção (Prot)
Número de pisos	Posição do edifício
Material construção	Barreiras naturais
Hidrodinâmica r/c	Altura e forma do paredão
Forma e orientação	Muro em volta do edifício
Objectos móveis	
Condição de preservação	

Tabela 1 – Atributos utilizados no modelo PTVA-3

A segunda metodologia é suportada por Ismail *et al.* (2012) que aplica o modelo PTVA-3, introduzindo algumas alterações e novos elementos ao modelo precedente, entre os quais se destacam os parâmetros físicos (geomorfologia, materiais geológicos, declive costeiro, altura máxima da onda e distancia de inundação), com o objectivo de identificar as zonas de maior vulnerabilidade face a tsunamis através do cálculo do PVI (Physical Vulnerability Index) que se baseia no Coastal Vulnerability Index (Pendleton *et al.* 2010). Com este cálculo, são identificados os edifícios das duas classes mais

elevadas de vulnerabilidade sendo calculado o SVI (Structural Vulnerability Index) para cada um tendo por base o modelo PTVA-3, de acordo com a seguinte equação:

$$SVI = B_v \times D_{prot} \times FD \quad (2)$$

onde o B_v representa a vulnerabilidade do edifício, o D_{prot} o factor de protecção e o FD a altura de inundação em cada edifício.

4. Resultados

Os resultados da modelação numérica da inundação por tsunami permitem identificar 100 edifícios potencialmente afectados na zona costeira, entre a Cova-Gala e Leirosa, aos quais foi aplicado o modelo PTVA-3. Na Cova-Gala destacam-se a Rua Eng.º, António Gravato, a Rua 1º de Maio e a Rua das Indústrias como as áreas de maior inundação afectando um total de 15 edifícios (fig.2a), com um predomínio claro de edifícios residenciais, variando o RVI entre baixo e médio.



Figura 2a – PTVA-3 na Cova-Gala



Figura 2b – PTVA-3 na Leirosa

Na área da Leirosa (fig.2b) identificam-se duas zonas de inundação: a norte, onde são afectados um total de 25 edifícios, essencialmente anexos e edifícios de apoio a actividades agrícolas; a sul identifica-se uma zona crítica ao longo da Av. do Mar, Rua Eng.º Aguiar de Carvalho, e Rua da Liberdade. Nesta zona são afectados um total de 60 edifícios, sendo a maioria de tipologia residencial, variando o RVI entre baixo e médio. No total de edifícios potencialmente afectados 65% dizem respeito a edifícios exclusivamente residenciais, 34% a anexos/edifícios agrícolas e somente 1% a edifícios comerciais. Em termos de classes de vulnerabilidade a aplicação da PTVA-3 permite

concluir que 56% dos edifícios apresentam uma vulnerabilidade baixa, 37% com vulnerabilidade moderada e 7% com vulnerabilidade média.

A metodologia do modelo de Ismail *et al* (2012) permitiu identificar, nas mesmas áreas, um total de 96 edifícios potencialmente afectados. Na Cova-Gala (fig.3a) são identificados 14 edifícios, assistindo-se a uma diminuição de vulnerabilidade em alguns edifícios quando comparado com a metodologia anterior, sendo que o SVI varia nesta área entre o baixo e o moderado.



Figura 3a – Modelo Ismail na Cova-Gala

Figura 3b – Modelo Ismail na Leirosa

Na Leirosa são identificados um total de 82 edifícios (fig.3b) assistindo-se a uma diminuição generalizada da vulnerabilidade em relação ao modelo PTVA-3 apresentado anteriormente, variando o SVI entre o baixo e o moderado. Em termos de classes de vulnerabilidade a aplicação da metodologia utilizada por Ismail *et al.* (2012) permite concluir que 92% dos edifícios são classificados como apresentando uma vulnerabilidade baixa e 8% uma vulnerabilidade moderada.

5. Conclusões

A comparação entre os dois métodos faz salientar a semelhança entre o número de edifícios afectados (100 para o modelo PTVA3 e 96 para o modelo Ismail) e da diferença existente entre ambos relativamente ao grau de vulnerabilidade calculado. O modelo PTVA-3 permitiu identificar um total de 15 edifícios na Cova-Gala e 85 na Leirosa, variando a vulnerabilidade entre baixa e média, enquanto que no modelo apresentado por Ismail permitiu identificar 14 edifícios na Cova-Gala e 82 na Leirosa, variando a vulnerabilidade entre baixa e moderada.



A vantagem da aplicação do modelo PTVA-3 é a possibilidade de avaliar um conjunto variado e extenso de edifícios e a simplicidade do modelo. No entanto apresenta como principais limitações a não inclusão da população residente, da flutuação populacional, a discriminação tipológica do edificado e a necessidade de aquisição de um grande número de dados, limitações que estão também presentes no modelo apresentado por Ismail. A vantagem do modelo Ismail é a introdução e avaliação das características físicas da área potencialmente inundada, permitindo a obtenção de uma avaliação mais realista. A principal limitação de ambos os modelos é o facto de não se basearem numa modelação de inundação hidrodinâmica.

Agradecimentos

Este estudo foi suportado pelo Projeto Tsurima - Gestão do risco de tsunamis para o ordenamento do território e a protecção civil, PTDC/CSGEO/118992/2010), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal.

Bibliografia

Dall'Osso F, Gonella M, Gabbianelli G, Withycombe G, Dominey-Howes D (2009) A revised (PTVA) model for assessing the vulnerability of buildings to tsunami damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1557–1565.

Dominey-Howes D, Papathoma M (2007) Validating a tsunami vulnerability assessment model (the PTVA model) using field data from the 2004 Indian Ocean tsunami. *Natural Hazards*, 40, 113–136.

INE (2011) *Recenseamento Geral da População e da Habitação*. Lisboa

Ismail H, Abd Wahab AK, Mohd Amin MF, Mohud Yumus MZ, Jaffar Sidek F, Esfandier B (2012) A 3-tier tsunami vulnerability assessment technique for the north-west coast of Peninsular Malaysia. *Natural Hazards*, 63, 549-573.

Papathoma M, Dominey-Howes D, Zong Y, Smith D. (2003) Assessing tsunami vulnerability, an example from Herakleio. Crete. *Nat. Haz. Earth Sys. Sci.*, 3, 377–389.

Papathoma M, Dominey-Howes D (2003). Tsunami vulnerability assessment and its implications for coastal hazard analysis and disaster management planning, Gulf of Corinth, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 733–747.

Pendleton EA, Barras JA, Williams SJ, Twichell DC (2010) Coastal vulnerability assessment of the northern gulf of Mexico to Sea-Level rise and coastal change. US



Geological Survey Open-File Report 2010-1146 [Acedido a 15 de Julho de 2013]
<http://pubs.usgs.gov/of/2010/1146/>

Tarbotton C, Dominey-Howes D, Goff JR, Papatoma MK, Dall'Osso F, Turner IL
(2012) GIS-based techniques for assessing the vulnerability of buildings to tsunami:
current approaches and future steps. *in: Geological Society, London, Special
Publications*, vol. 361, issue 1, pp. 115-125

Santos A, Fonseca N, Pereira P, Zêzere JL (2012) Tsunami risk assessment at Figueira
da Foz, Portugal. 15 WCEE, Lisboa [Acedido a 15 de Julho de 2013]
(http://riskam.ul.pt/images/pdf/paper_1931.pdf)