

ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR PROMOVIDA POR TEMPESTA DE NO MUNICÍPIO TRAMANDAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

HUMBERTO DIAS VIANNA¹; LAURO JULIO CALLIARI²;

¹Programa de Pós Graduação em Oceanografia Fís. Quí e Geológica FURG – hvianna@furg.br

²Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande – lcalliari@log.furg.br

1. INTRODUÇÃO

A ação de tempestades favorece a elevação do nível do mar acima da maré prevista, ocasionando inundação pela água do mar e erosão costeira (ABSALONSEN; TOLDO JR, 2007). A elevação do nível do mar por fatores meteorológicos é denominada na literatura por *storm surge*, definida como a diferença entre o nível da maré astronômica e a maré observada (maré meteorológica), (MACHADO, et. al., 2010). A ação de *storm surge* intensifica a capacidade erosiva das ondas, ocasionando severos danos à costa.

Storm surge ocorrem pela contribuição de diversos fenômenos que empilham água na zona costeira. A ação combinada de ventos fortes paralelos à costa, com direção sul e sudoeste para o caso do Rio Grande do Sul (RS), centros de baixa pressão atmosférica e aumento da altura da arrebentação são elementos responsáveis pela elevação do nível do mar acima da maré prevista, fatores adicionais potencializam a elevação como duração do vento e a presença de ciclones (MACHADO et. al., 2010).

No litoral do RS, esses eventos, denominados ressacas, são frequentes e os parâmetros meteorológicos e oceanográficos de um, ocorrido em 4 de setembro de 2006, foram avaliados por OLIVEIRA (2008). Na ocasião, o nível registrado na Estação Hidrometeorológica de Imbé, situada no Rio Tramandaí, foi de 1,38 m, já a altura das ondas próximas à costa chegou a 3,00 m e provocaram danos ao calçadão à beira mar e às dunas frontais (OLIVEIRA, 2008).

A elevação promovida por *storm surges* pode ser calculada com o uso de modelos analíticos, como os proposto por BENAVENTE (2006) e adaptado por MAIA (2011). Esse modelo leva em consideração a elevação promovida pelo vento, queda na pressão atmosférica, ondas e maré astronômica, e pode ser utilizado para a reconstituição e previsão do aumento do nível do mar.

A elevação obtida através de modelos analíticos, quando sobrepostas em modelos digitais de superfície (MDS) produzidos com técnicas de sensoriamento remoto, permitem a visualização das áreas inundadas e, dessa forma, a demarcação das áreas suscetíveis a danos provocados por *storm surges*.

O objetivo deste trabalho consiste em se reconstruir um *storm surge* ocorrido no litoral norte do Rio Grande do Sul, mais especificamente no município de Tramandaí, e delimitar a área inundada durante o evento.

2. METODOLOGIA

O evento escolhido ocorreu entre os dias 5 e 6 de dezembro de 2013 e, sua escolha, se deu pela disponibilidade dados. Nesse *storm surge*, a água do mar cobriu toda a praia subaérea e se aproximou do calçadão em Tramandaí (G1 RS, 2013).

Os dados de onda foram obtidos do projeto GOOS-BRASIL, Programa Nacional de Bóias (PNBOIAS), utilizou-se os dados da bóia fixa 69153, fundeada nas coordenadas Lat. -31.581° e Long. -49.874°. Os dados de onda

correspondem às águas profundas, a bóia encontra-se próxima ao limite da plataforma continental e, sua utilização para o cálculo da elevação induzida por ondas, exige a propagação para águas rasas com a adoção de um modelo matemático. O modelo a ser adotado é o proposto por BATTJES (1971), que permite avaliar a máxima excursão vertical da onda na face da praia.

Os dados de vento e pressão foram oriundos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação meteorológica de superfície localizadas em Tramandaí. A elevação induzida pelo vento foi mensurada pela equação de Csanady (1982) para ventos paralelos à costa. A elevação produzida por diferenças de pressão atmosférica foi computada pela metodologia do barômetro inverso, ou seja, para a queda de cada milibar na pressão atmosférica ao nível do mar, considerou-se uma elevação de 1 cm no nível da água, desde que as baixas pressões persistam por um intervalo de tempo considerável (BENAVENTE, 2006).

Os dados de maré astronômica foram provenientes da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. Pela ausência de dados para a região de estudo, optou-se por adotar as previsões realizadas para o porto de Rio Grande. Essa solução pode ser adotada, visto que a região apresenta o mesmo regime de maré.

O cálculo do nível do mar durante o evento leva em consideração cada um dos fatores contribuintes para tal, os quais são descritos na (Equação 1).

$$(Equação 1) \eta_t = \eta_v + \eta_o + \eta_p + \eta_m, \text{ onde:}$$

η_t =elevação do nível total; η_v =elevação induzida pelo vento; η_o =elevação induzida por onda; η_p =elevação induzida pela pressão atmosférica; η_m =elevação induzida pela maré astronômica;

O MDS foi produzido por VIANNA (2013) com dados do sensor aerotransportado *light detection and ranging (lidar)*, a nuvem de pontos utilizada preservou os pontos refletidos por edificações, vegetação e demais estruturas que se encontram no solo. Os dados brutos do *lidar* possuem uma densidade de 2 pontos por m² e precisão altimétrica de 0,15 m. Os MDS foram produzidos com uma malha de 0,5 m e estão referenciados ao sistema UTM SIRGAS 2000. As altitudes foram transformadas de geométricas para ortométricas, referenciadas ao marégrafo de Imbituba, através de um modelo geoidal. Sobre o MDS foi demarcada a posição da linha de costa, que consiste no limite instantâneo do runup (OVERTON, et. al., 1999).

A elevação total foi adicionada a altitude da linha de costa no MDS. Uma imagem de hipsometria foi produzida abrangendo parte do Centro de Tramandaí.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de cada um dos parâmetros contribuintes foram calculados com dados medidos entre às 12:00 hs do dia 5 até às 16:00 hs do dia 6. Os valores médios calculados são: altura significativa da onda=2,88 m; período=11,54 s; velocidade do vento=3,53 m/s; direção sul sudoeste; maré astronômica=0,21 m; queda de pressão atmosférica=4,2 atm. Esses valores foram utilizados para o cálculo das elevações induzidas (Tabela 1).

Tabela 1. Elevações Induzidas

Fatores contribuintes	Elevações (m)
Onda	1,03
Vento	0,01
Pressão	0,04
Maré astronômica	0,21
Elevação do nível total	1,29

A elevação adicionada ao MDS pode ser visualizada na Figura 1.

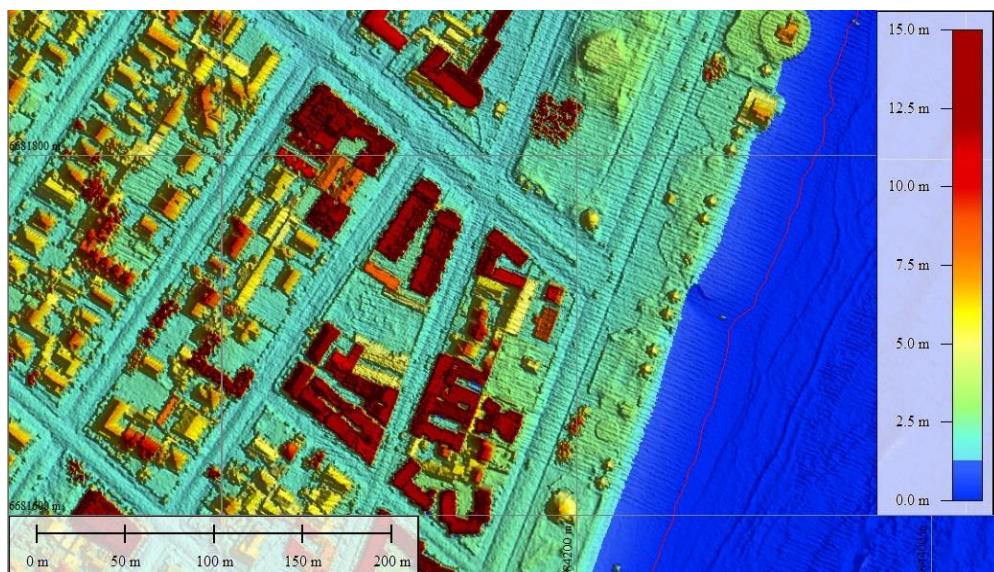


Figura 1. Imagem de hipsometria com a elevação total adicionada.

Na Figura 1 é possível visualizar à área inundada, delimitada em azul escuro, e a linha de costa demarcada, linha vermelha. Também é possível observar que área inundada se limitou à praia subaérea, não ultrapassando o calçadão à beira mar, que confere uma certa proteção ao avanço das águas no centro de Tramandaí. Uma fotografia de um ponto próximo ao local foi publicada no site G1 RS no dia 6 de dezembro de 2013 (Figura 2).



Figura 2. Área inundada em Tramandaí. Fonte: G1 RIO GRANDE DO SUL.

4. CONCLUSÕES

A utilização do modelo analítico para o cálculo da elevação do nível do mar durante *storm surges* mostrou-se satisfatória para a rápida avaliação das áreas inundadas. Pela sua simplicidade, deve ser utilizada para estudos prévios e complementares no âmbito de oceanografia e engenharia costeira. A disponibilidade de material cartográfico de alta resolução planialtimétrica, como o MDS, possibilita a demarcação de forma precisa da área inundada, servindo de subsídio na busca de soluções para mitigar os impactos de *storm surges*.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALONSEN, L.; TOLDO JR, E.E. A Influência da inflexão costeira na variabilidade da linha de praia em Mostardas – RS. **Pesquisa em Geociências**, Porto Alegre, v.34, n.1, p. 3-18, 2007.
- BENAVENTE, J.; DEL RÍO, L.; GRACIA, F.J.; MARTÍNEZ-DEL-POZO, J.A. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). **Continental Shelf Research**, v.26, n.9, p. 1061–1076, 2006.
- BATTJES, J. Run-up distributions of waves breaking on slopes. **Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division**. v.97, n.1, p. 91–114, 1971.
- CSANADY, G.T. **Circulation in the Coastal Ocean**. Netherlands: Springer, 1982.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Previsões de maré (máximas e mínimas diárias)**. Acessado em 04 de dez. 2014. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>.
- G1 RIO GRANDE DO SUL. **Litoral tem ressaca no mar e previsão de ondas grandes até sábado no RS**. G1 Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 06 dez. 2013. Acessado em 13 jul. 2015. online. Disponível em: <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/12/litoral-tem-ressaca-no-mar-e-previsao-de-ondas-grandes-ate-sabado-no-rs.html>
- GOOS-BRASIL. **Programa nacional de bóias**. Acessado em 02 de dez. 2014. Disponível em: <http://www.goosbrasil.org/pnboaia/>
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Acessado em 04 de dez. 2014. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>
- MACHADO, A.A.; CALLIARI, L.J.; MELO, E.; KLEIN, A.H.F. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Panamjas**, Rio Claro, v.5, n.2, p. 277-286, 2010.
- MAIA, N.Z. **Avaliação da elevação do nível do mar e riscos de inundação costeira associados à passagem de ciclones no Balneário Hermenegildo, RS**. 2011. 104f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) - Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande.
- OLIVEIRA, M.P. **Análise de parâmetros meteorológicos e oceanográficos de um evento de maré meteorológica ocorrido em Tramandaí Rio Grande do Sul**. 2008. 59f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- OVERTON, M.F.; GRENIER, R.R.; JUDGE, E.K.; FISCHER, J.S. Identification and analysis of coastal erosion hazard areas: Dare and Brunswick Counties, North Carolina. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, n.28, p. 69–84, 1999.
- VIANNA, H. D. **Variabilidade do sistema praia-dunas para o litoral norte do Rio Grande do Sul (Palmares do Sul a Torres - Brasil) apoiado em dados laser scanner – Lidar**, 2013. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia