



COMPORTAMENTO DE NAVIOS AMARRADOS NOS PORTOS DE SÃO ROQUE E DE MADALENA DO PICO DURANTE AS TEMPESTADES LORENZO E ELSA

Liliana PINHEIRO¹, Conceição Juana FORTES¹, João Alfredo SANTOS²

1. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, lpinheiro@lneec.pt, jfortes@lneec.pt

2. ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Lisboa, Portugal, jasantos@dec.isel.ipl.pt

RESUMO

Neste trabalho apresentam-se os resultados de simulações numéricas do comportamento de um navio ferry amarrado nos dois portos da ilha do Pico, São Roque e Madalena, durante a passagem recente de duas grandes tempestades, nomeadamente o furacão Lorenzo entre 2 e 5 de outubro de 2019 e a depressão Elsa entre 19 e 22 de dezembro de 2019. No âmbito do projeto ECOMARPORT encontra-se em desenvolvimento um sistema de alerta para os riscos de navios amarrados nos referidos portos. Este sistema permite prever com 72 horas de antecedência os efeitos da agitação marítima em navios amarrados, mais concretamente, os seus movimentos e forças no sistema e amarração. A comparação destes resultados com os limites de segurança e de operacionalidade do terminal portuário permite avaliar o risco e tomar medidas preventivas. Os resultados obtidos em cada um dos portos permite comparar a eficácia da amarração proposta.

Palavras-Chave: Navios, Amarras, Movimentos, Tempestade, Risco

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos excessivos dos navios amarrados induzidos pela agitação marítima podem perturbar as atividades de carga e descarga dos navios e causar problemas significativos relacionados com a rotura de amarras ou a colisão do navio com o cais.

O sistema de previsão, alerta e avaliação de risco de eventos perigosos associados à navegação em áreas portuárias e ao comportamento dos navios amarrados, SWAMS_ALERTA permite a avaliação, em tempo real, de situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, da navegação e das atividades associadas.

O Furacão Lorenzo foi o segundo furacão de categoria 5 da temporada de furacões no Atlântico de 2019 e o mais forte a atingir o arquipélago dos Açores desde há 20 anos. Observaram-se ventos da ordem de 90 km/h, com rajadas até 145km/h no Faial e Flores, enquanto rajadas de 163 km/h foram observadas na ilha do Corvo. As ondas chegaram aos 15 m de altura máxima registada do estado de agitação ao largo da ilha do Pico com direções de Sudoeste.

A depressão Elsa atingiu o arquipélago a 19 de dezembro tendo-se observado ventos da ordem de 70 km/h, com rajadas até 112km/h e ondas de até 9m de altura máxima registada do estado de agitação e direção de Oeste, Fig. 1.

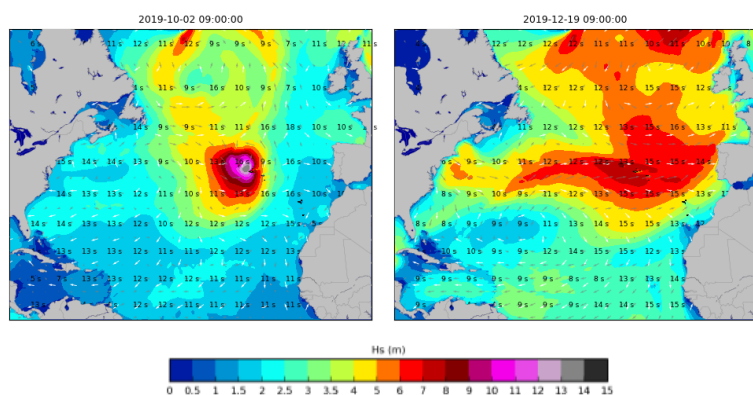


Fig. 1. Passagem pelos açores do furacão Lorenzo (esq.) e da depressão Elsa (Dir.).

2. ENQUADRAMENTO

Utiliza-se o pacote numérico SWAMS - Simulation of Wave Action on Moored Ships (Pinheiro *et al.* 2018) para a caracterização da resposta de navios amarrados, sujeitos à ação de ondas, ventos e correntes. Utilizando as características da agitação marítima medidas ou previstas, o sistema determina os seus efeitos em termos dos movimentos do um navio amarrado, bem como das forças exercidas nas amarrações e na estrutura do cais. A comparação dos valores previstos com valores máximos pré-definidos permite a avaliação, em tempo real, de possíveis situações de emergência ou capazes de comprometer a segurança das operações portuárias. Os limites estabelecidos aos movimentos e forças dependem das consequências associadas. Existem limites operacionais, a partir dos quais a movimentação de carga fica condicionada ou mesmo impossibilitada e limites de segurança, a partir dos quais existe risco para pessoas, bens ou estruturas.

O pacote SWAMS inclui dois módulos: WAVEPROP, para a geração e propagação de ondas; e MOORNAV para o comportamento de navios amarrados. Cada módulo contém vários modelos numéricos e respetivas rotinas de pré e pós-processamento de dados e resultados. O módulo de propagação de ondas, WAVEPROP, inclui 3 modelos numéricos para a propagação de ondas e um gerador de malhas de elementos finitos:

- SWAN é um modelo não linear espectral, Booij *et al.* (1999), baseado na equação de conservação da ação da onda e capaz de simular a propagação de espectros de ondas irregulares;
- DREAMS é um modelo linear de elementos finitos, Fortes (2002), baseado na equação de declive suave para simular a propagação de ondas regulares;
- BOUSS-WMH é um modelo não linear de elementos finitos, Pinheiro *et al.* (2012), baseado nas equações de Boussinesq estendidas deduzidas por Nwogu (1993), sendo capaz de simular a propagação de ondas regulares e irregulares;
- GMALHA é um gerador de malhas de elementos finitos triangulares, especialmente definidas para serem utilizadas pelos modelos DREAMS e BOUSS-WMH, sendo a densidade de nós das malhas variável de acordo com o comprimento de onda local e a sua construção otimizada de forma a reduzir recursos computacionais.

O módulo de comportamento de navios amarrados MOORNAV inclui 2 modelos numéricos, (Santos, 1994):

- WAMIT (Korsemeier *et al.*, 1988) que resolve, no domínio da frequência, os problemas de radiação e de difração da interação de um corpo flutuante livre com as ondas nele incidentes;
- BAS (Mynett *et al.*, 1985) que monta e resolve, no domínio do tempo, as equações de movimento de um navio amarrado no posto de acostagem levando em conta as séries temporais das forças devidas às ondas incidentes no navio, as funções de resposta a impulso do navio e as relações constitutivas dos elementos do sistema de amarração (cabos de amarração e defensas).

3. RESULTADOS

Os modelos numéricos de propagação de ondas permitem determinar as condições de agitação junto ao posto de acostagem do navio, Fig. 2. Os modelos de previsão atmosférica fornecem as condições de vento que incide sobre o navio, Fig. 2. Com uma correcta representação do sistema de amarração, Fig. 3, e das respotas hidrodinâmicas do navio, é então possível determinar a resposta do navio durante as duas tempestades analisadas neste trabalho.

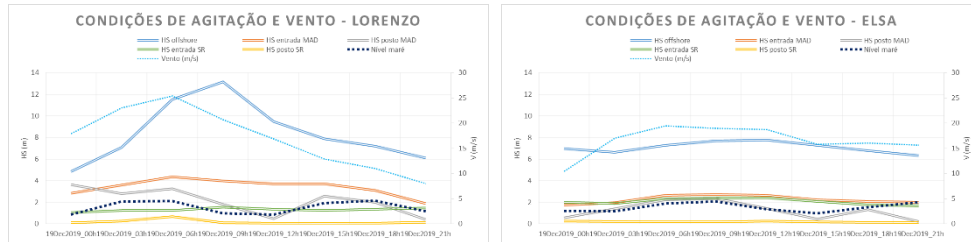


Fig. 2. Condições de mar e de vento durante o furacão Lorenzo (2 de outubro de 2019) e a depressão Elsa (19 de dezembro de 2019).

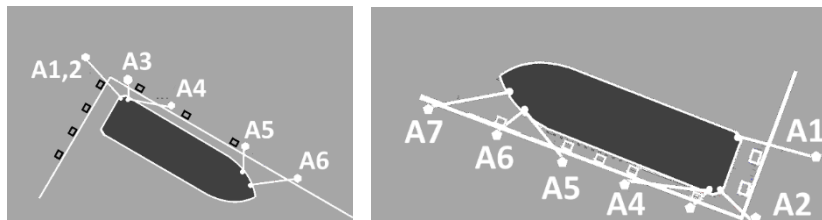


Fig. 3. Esquema de amarração do navio do tipo Ferry nos portos de São Roque do Pico (esq.) e Madalena do Pico (dir.).

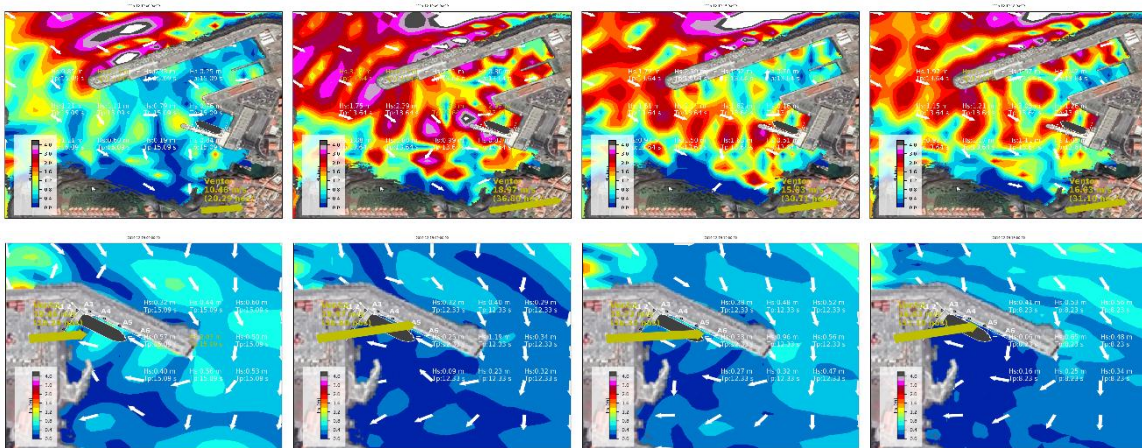


Fig. 4. Condições de mar e de vento no interior da bacia portuária da madalena do Pico (cima) e S Roque do Pico (baixo), durante a depressão Elsa (19 de dezembro de 2019, às 00h, 9h, 12h e 18h).

O resultado da simulação numérica consiste em séries temporais de movimentos e rotações do centro de gravidade do navio e forças nas amarras e defensas. São então determinados os valores máximos em cada simulação com uma duração de 30 minutos. Esses máximos das forças a cada 3 h são apresentados nas Fig. 5 e 6.

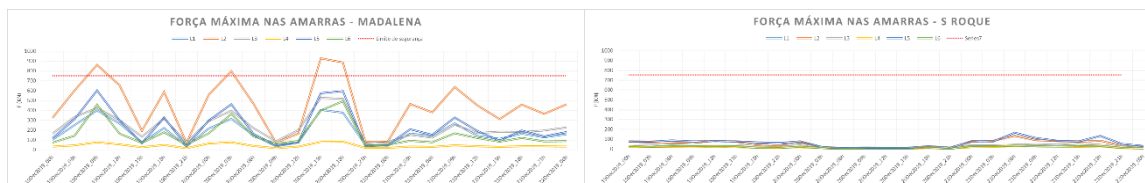


Fig. 5. Força máxima nas amarras do navio durante a depressão Elsa (19 a 22 de dezembro de 2019).

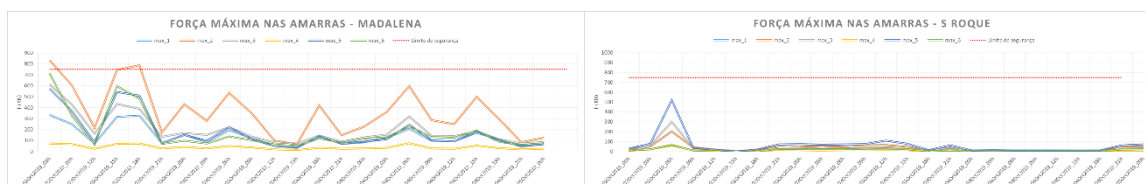


Fig. 6. Força máxima nas amarras do navio durante o furacão Lorenzo (02 de outubro de 2019).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração dos Portos dos Açores e o financiamento através dos projetos ECOMARPORT (MAC/1.1b/081) – INTERREG MAC 2014-2020 e M&MShips - Navios em Manobra e Amarrados em Portos Modelação Física e Numérica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Booij N, Ris RC, Holthuijsen LH (1999) A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geographical Res.*, C4, 104, 7649-7666.
- Fortes CJEM (2002) Transformações Não Lineares de Ondas em Zonas Portuárias. Análise pelo Método dos Elementos Finitos. PhD Thesis, IST-UL.
- Korsemeier FT, Lee C-H, Newman JN, Sclavounos PD (1988) The analysis of wave effects on tension-leg platforms, 7th International Conference Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Houston, Texas, pp. 1-14.
- Mynett AE, Keunig PJ, Vis FC (1985) The dynamic behaviour of moored vessels inside a harbour configuration, *Int. Conf. on Numerical Modelling of Ports and Harbours*, Birmingham, England: 23-25 April 1985. Cranfield: BHRA, The Fluid Engineering Centre.
- Nwogu O (1993) Alternative form of Boussinesq equations for nearshore wave propagation. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, 119:6.
- Pinheiro, LV, Fortes CJEM, Santos JA (2018) Risk Analysis and Management of Moored Ships in Ports. In *Proc. 37th Int. Conf. Ocean, Off. Arctic Eng. OMAE2018*, n.78396.
- Pinheiro LV, Fortes CJEM, Santos JA, Fernandes L, Walkley M (2012) Boussinesq-Type Numerical Model for Wave Propagation Near Shore and Wave Penetration In Harbors. *Maritime Engineering and Technology – Guedes Soares et al.* Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-62146-5.
- Santos JA (1994) MOORNAV – Numerical model for the behaviour of moored ships, Final report, Lisbon: Report 3/94-B, Projecto NATO PO-Waves.