

Simulação com o SAFEPORT do impacto da tempestade Célia nos navios amarrados no porto de Sines

A. H. Gomes (1), L. V. Pinheiro (1), C. J. E. Fortes (1) e J. A. Santos (2)(3)

(1) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas (NPE). Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA). Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). ahgomes@lnec.pt

(2) Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). Instituto Politécnico de Lisboa (IPL).

(3) Centro de Engenharia e Tecnologia Naval e Oceânica (CENTEC). Universidade de Lisboa (UL).

Resumo: Esta comunicação diz respeito à fase de testes do sistema SAFEPORT, tendo-se avaliado o seu desempenho numa situação de tempestade. Trata-se de um sistema desenvolvido para a segurança da navegação do porto de Sines, e, mais concretamente, nos seus terminais de Granéis Líquidos, Multiusos e Contentores. Para estes terminais, simulou-se o impacto da tempestade Célia nos esforços nos cabos de amarração de um navio petroleiro, de um navio de carga geral e de um navio porta-contentores, respetivamente. O sistema SAFEPORT demonstrou ser capaz de antecipar os efeitos nos navios amarrados dos estados de agitação associados à tempestade Célia.

Palavras-chave: navios amarrados, Sines, SAFEPORT, tempestade Célia.

1. INTRODUÇÃO

Os navios são o principal meio de transporte de cargas no comércio internacional e os portos surgem como elo entre o navio e o meio terrestre. Dada a importância capital de um porto na economia de um país ou de uma região, as autoridades portuárias apostam em ferramentas/instrumentos que garantam a máxima segurança de pessoas, equipamentos e navios nesse porto, bem como a máxima operacionalidade do porto.

Note-se que um dos aspetos que condiciona significativamente quer a segurança quer a operacionalidade do porto são as condições meteoceanográficas que ocorrem nesse porto. Por exemplo, em situações de tempestade, a segurança do navio amarrado e do cais podem ficar fortemente condicionadas, assim como as operações de carga e descarga, causando perdas financeiras significativas. Assim, é de fulcral importância o desenvolvimento de ferramentas para prever antecipadamente essas situações de emergência e que contribuam com informações para mitigar os problemas daí advindos.

O Porto de Sines é o porto de águas profundas de Portugal, líder nacional na quantidade de mercadorias movimentadas e fundamental no abastecimento energético do país. Opera 365 dias por ano, 24 horas por dia. Ciente da sua importância, a administração do porto tem apostado na modernização e dinamização do seu setor marítimo-portuário, assim como em manter os níveis de segurança.

O sistema de segurança para a navegação SAFEPORT, desenvolvido para o porto de Sines tem como objetivo ser um instrumento útil na gestão dos riscos associados aos navios amarrados (Gomes *et al.*, 2022).

O sistema SAFEPORT fornece previsões diárias para as próximas 72 horas, com intervalos de 3 horas, da agitação marítima na entrada e dentro do porto e das suas consequências nos navios em manobras ou amarrados. A caracterização da agitação marítima é assegurada pelos modelos numéricos WAM, NAVGEM, XTide, SWAN e DREAMS. A avaliação do comportamento dos navios amarrados é realizada com a aplicação dos modelos WAMIT e BAS.

O modelo WAM (WAMDI Group, 1988) fornece as previsões, com 3 dias de antecedência, da agitação marítima ao largo. Os modelos NAVGEM (Whitcomb, 2012) e XTide (Flater, 1998) são aplicados para produzir as estimativas de vento e maré, respetivamente. O modelo numérico SWAN (Booij *et al.*, 1996) transfere a agitação marítima do largo para a entrada do porto. O modelo DREAMS (Fortes, 2002), por sua vez, transfere as características de agitação da zona de entrada do porto para dentro da bacia abrigada. O modelo numérico WAMIT (Korsmeyer *et al.*, 1988) determina a resposta do navio livre nos 6 graus de liberdade, sob a ação das ondas. Com a informação hidrodinâmica obtida, é possível determinar a resposta do navio amarrado, através da aplicação do modelo numérico BAS (Mynett *et al.*, 1985).

Nesta comunicação apresenta-se a aplicação do sistema de segurança para a navegação SAFEPORT, numa situação de tempestade. Em concreto, simula-se o impacto da tempestade Célia no porto de Sines, e em particular num navio petroleiro, num navio de carga geral e num navio porta-contentores, amarrados no Terminal de Granéis Líquidos (TGL), no Terminal Multiusos (TMS) e no Terminal de Contentores (TXXI), respetivamente.

2. TEMPESTADE CÉLIA

A tempestade Célia chegou a Portugal a 14 março de 2022. Foi a primeira tempestade, após um inverno caracterizado pela ausência de chuva, devido a um anticiclone de bloqueio.

O arquipélago da Madeira foi o local mais afetado pela tempestade Célia. Provocou vento forte, neve, granizo, chuva e temperaturas negativas. No Alentejo (Sines) e no Algarve foram registados aguaceiros, vento forte e trovoadas. Durante a passagem da tempestade Célia, a boia do Instituto Hidrográfico instalada em frente ao porto de Sines registou estados de agitação com alturas significativas entre 2 m e 3,8 m e uma altura máxima de onda 7,4 m.

2.1. Caracterização da Agitação Marítima

Os parâmetros de agitação marítima avaliados pelo sistema SAFEPORT são a altura significativa (H_s), o período de pico (T_p) e a direção média (θ_m) dos estados de agitação marítima.

O modelo WAM previu ondas formadas devido à tempestade Célia (Figura 1) com H_s entre 3 m e 5,6 m nas fronteiras norte e oeste da malha de cálculo do SWAN e entre 2,8 m e 5,1 m na fronteira sul do mesmo domínio. Os valores T_p variaram de 10,9 s a 15,8 s na fronteira norte, de 10,6 s a 15,7 s na fronteira oeste e de 12,4 s a 15,8 s na fronteira sul. Relativamente ao θ_m , predominaram os rumos de norte e de noroeste.

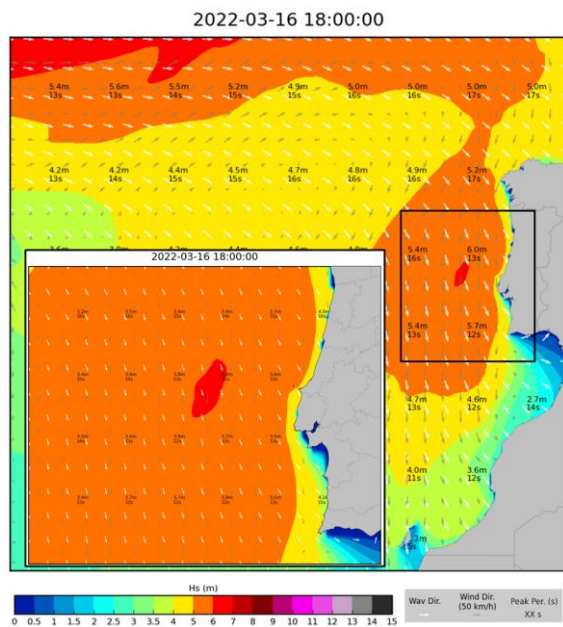


Fig. 1. Resultados do modelo WAM na costa ocidental de Portugal (H_s , T_p e θ_m) para o dia 16 de março de 2022 às 18h.

Com as previsões de agitação marítima, de vento e de maré, o modelo SWAN fez a caracterização das ondas formadas devido à tempestade Célia, na zona de entrada do porto de Sines (Figura 2).

Assim, segundo as simulações do SWAN, a tempestade caracterizou-se por ondas de H_s entre 2,9

m e 5,2 m, T_p entre 11 s e 15 s e θ_m entre 302° e 332° . A H_s máxima (pico da tempestade) ocorreu a 16 de março de 2022 às 18h, com o valor de 5,2 m.

A transferência da agitação marítima para dentro do porto de Sines, com o modelo DREAMS, resultou na caracterização das ondas que chegaram a cada terminal (Figura 3). Embora à entrada do porto o valor máximo de H_s tenha ocorrido no dia 16 de março de 2022 pelas 18h, nos terminais ocorreu durante o fim do dia 14 de março de 2022 e o início do dia 15 de março de 2022.

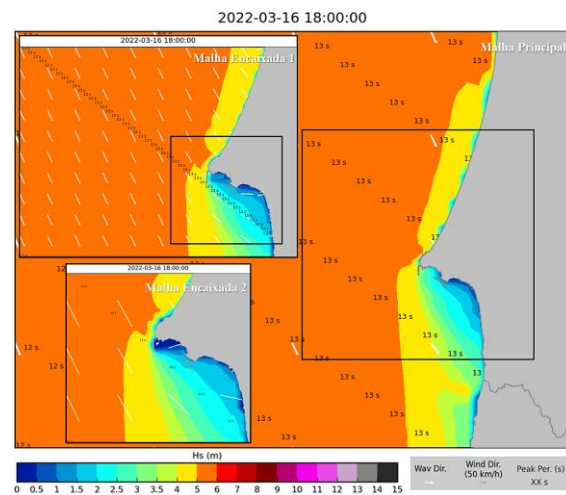


Fig. 2. Resultados do modelo SWAN ao largo do Porto de Sines (H_s , T_p e θ_m) para o dia 16 de março de 2022 às 18h.

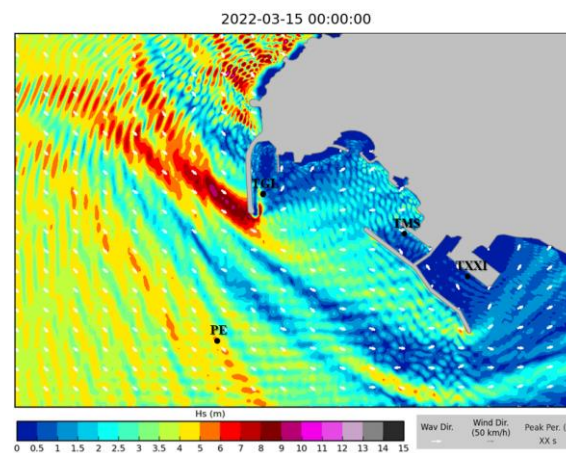


Fig. 3. Resultados do modelo DREAMS junto ao Porto de Sines e no seu interior (H_s , T_p e θ_m) para o dia 15 de março de 2022 às 00h.

No TGL, as características da agitação marítima foram θ_m de 160° a 253° e H_s entre 0,02 m e 1,32 m, sendo que o H_s máximo (1,32 m) ocorreu a 14 de março de 2022 às 21h. No TMS, as características da agitação marítima foram θ_m entre 274° e 283° e H_s de 0,02 m a 0,92 m. O pico ocorreu no dia 15 de março de 2022 às 00h, com o valor de 0,92 m de H_s . Por fim, no TXXI o impacto da tempestade Célia resultou nas seguintes características da agitação marítima: θ_m de 163° a 175° e H_s de 0,01 m a 1,1 m. A H_s máxima (pico da tempestade) ocorreu a 15 de março de 2022 às 06h, com o valor de 1,1 m.

2.2. Resposta dos Navios

Os navios simulados no sistema SAFEPART representam de forma o mais abrangente possível os navios que operam no Porto de Sines. As superfícies molhadas dos cascos dos três navios foram discretizados em painéis planos triangulares e retangulares (Figura 4) para serem utilizadas como malha de cálculo do modelo WAMIT.



Fig. 4. Características dos modelos dos navios simulados.

As simulações do modelo WAMIT foram realizadas para as possíveis direções de onda que se aproximam de cada terminal e uma gama de 89 frequências. Os resultados do modelo WAMIT, nomeadamente, os coeficientes hidrodinâmicos e as forças de excitação das ondas, constituem uma base de dados hidrodinâmica que é utilizada pelo modelo numérico BAS para determinar a resposta dos navios amarrados. Para cada navio foram considerados os esquemas de amarração apresentados na Figura 5.

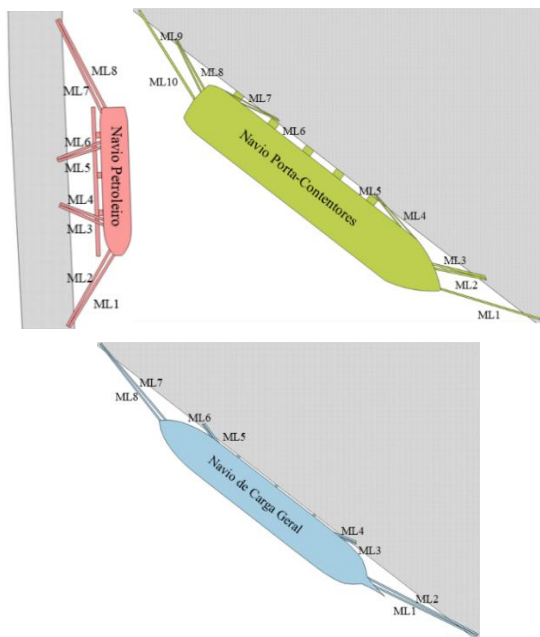


Fig. 5. Esquemas de amarração dos navios simulados.

No modelo BAS do navio petroleiro e do navio de carga geral, foram definidos 8 cabos de amarração agrupados em dois e 5 defensas. Para o modelo do navio porta-contentores, um total de 10 cabos de amarração e 5 defensas foram preconizados.

As relações constitutivas de todos os cabos de amarração são lineares. Para um alongamento de 4%, a carga máxima nos cabos de amarração do petroleiro é de 2100 kN, no navio de carga geral é de 1900 kN e, no porta-contentores é de 1860 kN. Todas as

defensas tinham as mesmas relações: uma compressão linear com uma força máxima de 8900 kN para uma deflexão de 1 m.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas previsões de agitação marítima, com 72h de antecedência, o sistema SAFEPART estima as forças nos cabos de amarração de navios amarrados em terminais do porto de Sines e emite alertas, baseados em níveis de perigo associados à carga de rotura dos cabos (MBL) ().

Tab. i. Níveis de perigo e os correspondentes limiares e símbolos utilizados no sistema SAFEPART para emitir alertas.

Níveis de Perigo	Força	Alerta
0	<50% MBL	
1	50% MBL	
2	80% MBL	
3	100% MBL	

No gráfico da Figura 6 apresentam-se as forças nos cabos de amarração dos três navios sob a ação das ondas formadas devido a tempestade Célia.

Durante a tempestade Célia, não foram emitidos alertas para os cabos de amarração do navio petroleiro amarrado no Terminal de Granéis Líquidos. A força máxima exercida nas suas amarras foi de 403 kN no cabo 6, um valor muito próximo do limiar do alerta amarelo (nível de perigo 1).

Quanto ao navio de carga geral amarrado no Terminal Multiusos, foram emitidos alertas amarelos para os cabos de amarração 3, 4 e 7, alertas laranjas (nível de perigo 2) para os cabos de amarração 2 e 8, e alertas vermelhos (nível de perigo 3 - nível máximo) para os cabos 1 e 6. A força máxima exercida nos cabos de amarração do navio de carga geral foi de 1538 kN no cabo 1.

Durante a passagem da tempestade Célia, as operações de carga e descarga do navio de carga geral deveriam ser suspensas e o esquema de amarração reforçado pois, com o esquema adotado existe a possibilidade de rotura de cabos.

Finalmente, para o navio porta-contentores amarrado no Terminal de Contentores, o sistema emitiu 3 alertas amarelos para as regeiras 4, 6 e 7. As forças exercidas nos cabos de amarração ultrapassaram ligeiramente o limiar estabelecido para emitir alertas amarelos, sendo a força máxima de 595 kN estimada para o cabo 7. Nestas condições as operações de carga e descarga do navio devem ser suspensas.

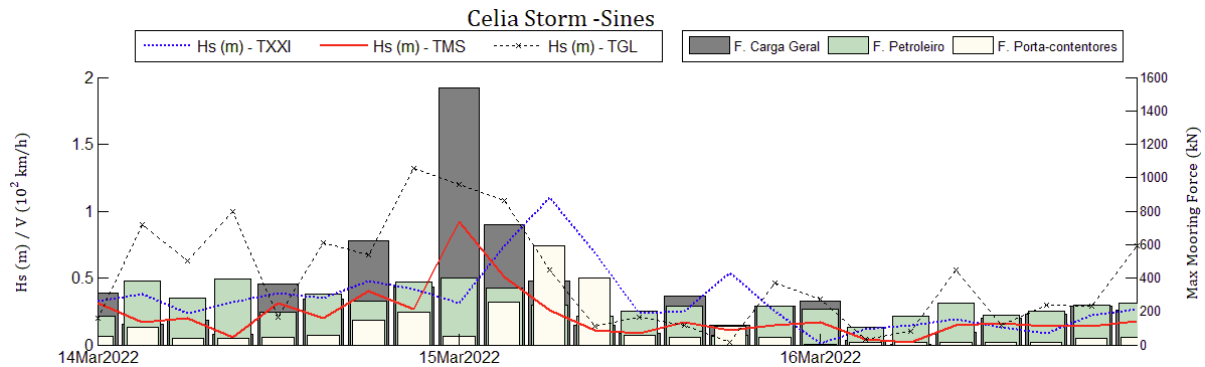


Figure 6. Forças nos cabos de amarração dos navios durante a passagem da tempestade Célia. Quay 1, Quay 2, Quay 3 representam o TXXI, o TMS e o TGL, respetivamente. Ship 1, Ship 2 e Ship 3 representam o navio de carga geral, o navio petroleiro e o navio porta-contentores, respetivamente.

4. CONCLUSÃO

O objetivo final do sistema SAFEPORT é antecipar estados marítimos e atmosféricos potencialmente perigosos, como por exemplo durante uma situação de tempestade, permitindo tomar decisões informadas sobre as rotas de navegação e os procedimentos de atracação e aumentar a segurança dos navios e do porto.

Esta investigação faz parte da fase de testes do sistema SAFEPORT. Este sistema foi aplicado a uma situação de tempestade e os resultados foram analisados. Nesta comunicação, o sistema SAFEPORT demonstrou ser capaz de antecipar os efeitos nos navios das ondas formadas devido à tempestade de Célia.

Durante a tempestade Célia não foram registadas ocorrências gravosas pelo que, não se esperavam valores elevados para as forças exercidas nos cabos de amarração. À exceção do navio de carga geral, as amarras dos navios não foram muito solicitadas, como esperado. Quanto ao navio de carga geral, é de salientar que ele estava amarrado no terminal onde foram previstas ondas de menores alturas significativas. Este caso deve ser analisado de modo a calibrar o sistema SAFEPORT.

Esta informação pode ser utilizada para otimizar os esquemas de amarração e aumentar o nível de segurança dos navios amarrados.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao projeto BLUESAFEPORT (ref: FA_04_2017_016), à Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída (INCD) por conceder acesso à infraestrutura digital de apoio à investigação, à Administração dos Portos de Sines e Algarve e ao Instituto Hidrográfico por conceder acesso aos dados da boia em frente ao Porto de Sines.

REFERÊNCIAS

Booij, N. R. R. C., Ris, R. C., and Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal

regions: 1. Model description and validation. *Journal of geophysical research: Oceans*, 104(C4):7649-7666.

<https://doi.org/10.1029/98JC02622>

Flater, D. (1998). XTide Manual: Harmonic Tide Clock and Tide Predictor. *Technical Report*, USA. Disponível online em: <https://flaterco.com/xtide>

Fortes, C.J.E.M. (2002). Transformações não lineares de ondas em portos. Análise pelo método dos elementos finitos. *Tese de doutoramento em Engenharia Mecânica*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal. Disponível em: http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/handle/1234_56789/8712

Gomes, A. H., Pinheiro, L. V., Fortes, C. J. E. M., and Santos, J. A. (2022). Applying the SAFEPORT System in a storm situation. *6th International Conference on Maritime Technology and Engineering (MARTECH 2022)*. Lisbon, Portugal. Unpublished.

Korsemeier, F.T., Lee, C.H., Newman, and J.N., Sclavounos, P.D. (1988). The analysis of wave effects on tension-leg platforms. *Proc. 7th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 1-14. Texas, Houston.

Mynett, A.E., Keunig, P.J., and Vis, F.C. (1985). The dynamic behaviour of moored vessels inside a harbour configuration. *Int. Conf. on Numerical Modelling of Ports and Harbour*, 23-25. Cranfield: BHRA. The Fluid Engineering Centre, April 1985. England: Birmingham.

WAMDI Group (1988). The WAM Model - A third generation ocean wave prediction model. *Journal Physical Oceanography* (18): 1775-1810.

Whitcomb, T. (2012) - Navy global forecast system, NAVGEM: Distribution and user support. *2nd Scientific Workshop on ONR DRI: Unified Parameterization for Extended Range Prediction*.