



CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO NO INTERIOR DO PORTO DE PESCA DA PÓVOA DE VARZIM COM RECURSO A SENSORES DE BAIXO CUSTO E MODELAÇÃO

Theo Moura; Adélio Silva; Paulo Leitão
HIDROMOD, Lda

theo.moura@hidromod.com; adelio@hidromod.com; paulo.chambel@hidromod.com

Resumo

Tendo por objetivo de caracterizar as condições de agitação interior do Porto de Pesca da Póvoa de Varzim, com especial foco no potencial efeito de ondas de infragravidade nas condições de estacionamento dos navios aí estacionados, foi realizada uma campanha de medições com recurso a sensores de baixo custo conjugada com a simulação das condições observadas em modelo. Com este objetivo foram instalados 4 sensores de medição do nível do mar em alta frequência por um período de aproximadamente 30 dias em lugares distintos do porto e efetuadas simulações com recurso ao modelo FUNWAVE.

Como resultado foi possível identificar as componentes, mais relevantes, que contribuem para a agitação no interior do porto, verificando-se a existência duma partilha da contribuição da ondulação e de ondas de infragravidade, sendo que a ondulação e as ondas de infragravidade de menor período representam as componentes com maior potencial para causar problemas nas condições de estacionamento acima referidas.

As medidas demonstram ainda a existência duma relação direta entre a amplitude e a direção de propagação da ondulação e as condições de abrigo, verificando-se, como seria de esperar, uma maior exposição do porto para ondas do quadrante oeste e uma maior proteção para as ondas de quadrante norte mas, já em relação às ondas infra gravíticas, observa-se alguma vulnerabilidade mesmo para as ondulações mais rodadas a norte.

Foi igualmente possível comprovar a importância do nível da maré na modulação da agitação no interior do porto, verificando-se existir uma relação direta entre os níveis de maré e a capacidade de propagação das ondas para o interior do porto. Tendo por objetivo avaliar o papel da maré na modulação agitação, foram também realizadas simulações em modelo. Os resultados destas simulações permitiram corroborar as observações tendo sido identificado o mesmo comportamento hidrodinâmico das diferentes gamas de períodos medidas no interior do Porto.

Com resultado deste estudo foi possível concluir que o Porto da Póvoa do Varzim se encontra parcialmente exposto a uma vasta gama de períodos de onda que abrangem desde o período das ondas geradas pelo vento até a os períodos das ondas de infragravidade. Porém o efeito dessas ondas varia de acordo com a região do porto e nível da maré, sendo esta última componente de extrema importância na modulação da amplitude tanto da ondulação como das ondas de infragravidade de menor período.

Introdução

O Porto de Pesca da Póvoa de Varzim encontra-se exposto a fortes ondulações que chegam a costa portuguesa verificando-se que nalgumas situações, apesar do abrigo fornecido pelos molhes, ainda se verificam condições desfavoráveis sobretudo para pequenas embarcações de recreio.

Em resultado da construção de uma nova obra de abrigo em frente às pontes-cais localizadas na zona norte da bacia portuária (Figura 1 - linha amarela) têm vindo a ser apresentadas queixas pelos armadores que argumentam um aumento da agitação na bacia. Com o objetivo de verificar tal hipótese a DocaPesca encomendou um estudo para caracterizar as condições hidrodinâmicas e de agitação marítima existentes antes e após a construção da obra e avaliar os potenciais impactes desta construção nos locais de acostagem e estacionamento de embarcações.

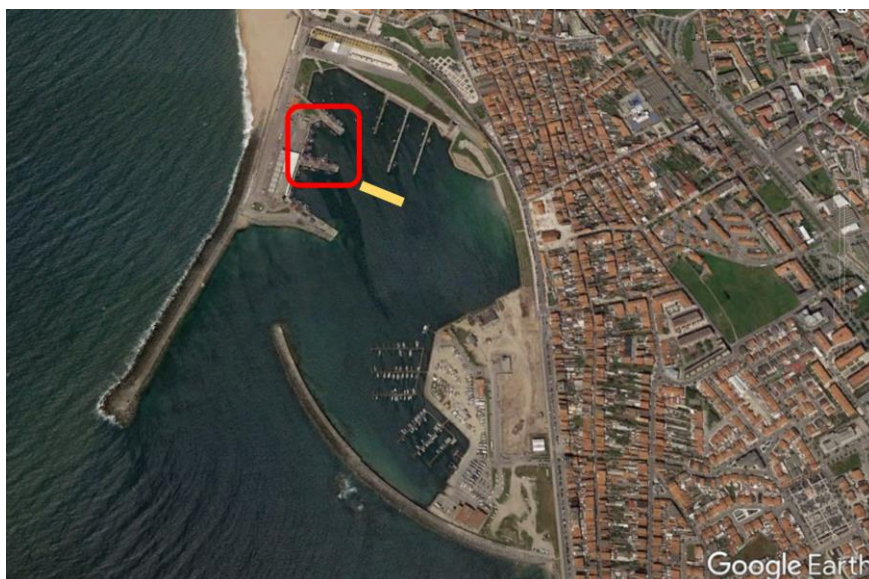


Figura 1: Porto de Pesca da Póvoa de Varzim. Destaque para a localização da estrutura (linha amarela) e do cais (vermelho) onde se reporta a deterioração das condições de estacionamento.

Inicialmente foi adotada uma estratégia de investigação tradicional, onde foram realizadas um conjunto de simulações (ondas regulares e irregulares) em modelo numérico, para caracterizar os padrões de propagação de ondas no interior do porto com e sem a presença da estrutura. Porém, os resultados das simulações não indicaram impactos significativos da estrutura nas condições de agitação nos locais referenciados como problemáticos, corroborando os resultados obtidos durante o estudo realizado previamente à construção da estrutura.

Apesar da robusta indicação numérica do impacto mínimo da nova estrutura na agitação no cais de atracação, e atendendo que as reclamações continuavam em cima da mesa, foi sugerida a opção de identificar de forma mais detalhada os processos físicos associados à hidrodinâmica no interior do porto através da realização duma campanha de medições que permitisse identificar em que condições poderiam ocorrer os eventos em causa. Com este objetivo foram instalados 4 sensores de medição do nível do mar em alta frequência por um período de aproximadamente 30 dias em lugares distintos do porto.

Como resultado desta campanha de medição foi possível identificar as componentes mais relevantes que contribuem para a agitação no interior do porto, verificando-se a existência duma partilha da contribuição da ondulação e de ondas de infragravidade, sendo que são a ondulação e as ondas de infragravidade de menor período com mais potencial para causar os problemas reportados.

Foi igualmente possível comprovar a importância do nível da maré na modulação da agitação no interior do porto, verificando-se existir uma relação direta com os níveis de maré e a capacidade de propagação das ondas para o interior do porto. Sendo assim é importante destacar que os resultados sugerem que o processo de dragagem do canal do porto pode ter um impacto no aumento da agitação no interior do Porto. Uma análise preliminar tendo por base as simulações numéricas, indicia que alterações nas cotas de entrada do porto podem reduzir a amplitude dessas componentes nos dois cais de atracação.

Metodologia

Descrição e Instalação dos sensores

Durante o período de medições foram instalados 4 sensores em diferentes regiões do porto (Figura 2). Três sensores (S1, S2 e S3) foram instalados durante os primeiros 15 dias e um quarto sensor (S4) instalado na segunda campanha de instalação. Cada instrumento é equipado com um sensor ultrassónico que mede, em alta frequência (2 Hz), a distância entre o sensor e a superfície da água (Figura 2). O sistema é alimentado por baterias recarregadas por painel solar. O instrumento tem a capacidade para armazenar os dados brutos (medidos em alta frequência) e transferir em tempo real dados processados como o nível da maré, altura significativa, período de pico entre outros.

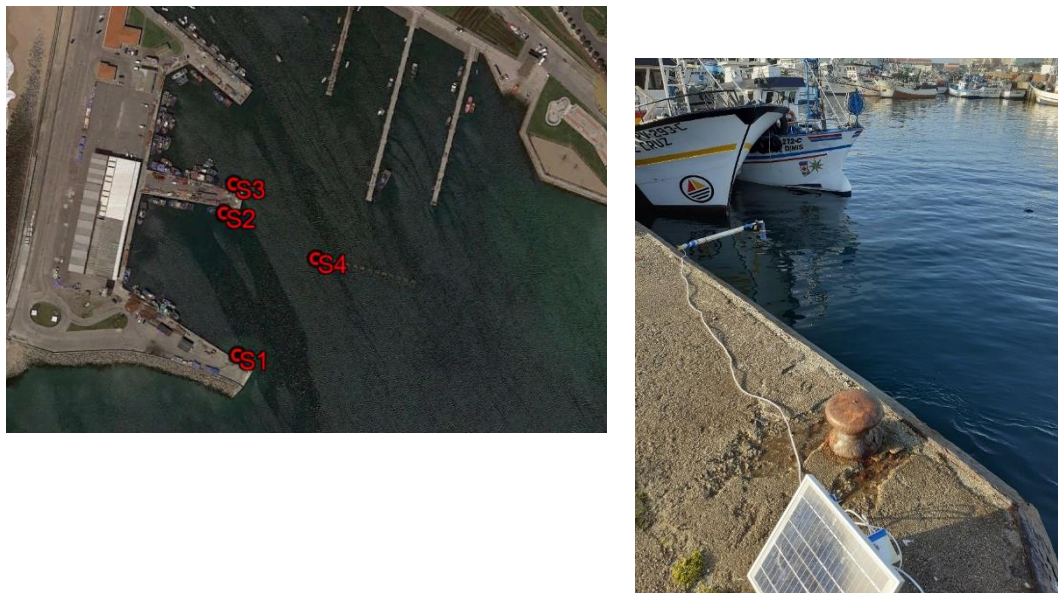


Figura 2: Esquerda: Localização dos sensores. Direita: Instalação sensor S3.

Processamento de dados

Para a interpretação dos dados foram utilizados métodos típicos de análise de agitação, sendo eles: a análise espectral para a identificação das frequências/períodos; a análise individual das componentes identificadas nos espectros utilizando filtros de Fourier.

Para as condições de agitação no exterior foram utilizados os parâmetros integrais medidos na boia de Leixões. Foi também utilizado o marégrafo de Leixões para nivelar os sensores instalado no Porto da Póvoa de Varzim.

Modelo FUNWAVE

Com o objetivo de representar os processos observados nos sensores numericamente foi utilizado o modelo FUNWAVE (FULLY Non-linear WAVE model), originalmente desenvolvido por Kirby et al. (1998) e posteriormente aprimorado por Shi et al. (2012). O modelo resolve as equações de Boussinesq derivadas por Chen (2006) e Shi et al. (2012) utilizando um método numérico híbrido de volume finitos e diferenças finitas.

As duas equações resolvidas no modelo são a equação do balanço da quantidade de movimento (integrada na vertical) e a conservação de massa. A derivação completa das equações, esquemas numéricos, mecanismos de rebentação entre outros se encontra em Shi et al. (2012). O modelo é amplamente utilizado para resolver problemas de propagação e transformação em regiões costeiras (Choi et al., 2015, Fengyan et al., 2013, Johnson and Pattiaratchi, 2006, Kirby



et al., 1998, Shi et al., 2012, Moura, 2017).

Resultados e Discussão

Períodos de oscilação observados no interior do porto

Com base na análise espectral realizada nos dados medidos nos 4 locais indicados na Figura 2 foi identificada a presença de diferentes períodos/frequências de oscilações as quais foram agrupadas de acordo com seu mecanismo de geração e comportamento no interior do porto, sendo elas:

- 1- Vagas e ondulação - Wind wave: - com período entre 3 e 20 segundos;
- 2- Infragravidade de alta frequência – High infragravity - período entre 20-150 s;
- 3- Infragravidade de baixa frequência – low infragravity - período entre 150-400s;
- 4- Infragravidade de muito baixa frequência – Far infragravity - período entre 400-1500s.

As ondas de infragravidade são produto da interação não-linear onda-onda, estando diretamente relacionadas a propagação dos grupos de ondas e do comportamento na rebentação. Porém, por essas ondas apresentarem uma vasta gama de frequência/períodos (20-1500 segundos) e sua resposta hidrodinâmica também é variada. A dissipação de ondas de infragravidade na zona de rebentação e de espraiamento varia amplamente de acordo com seu período. As ondas mais curtas tendem a sofrer maior dissipação e por consequência menor reflexão quando comparadas a ondas de infragravidade mais longas. O comportamento dessas ondas é ainda objeto de investigação na academia existindo uma vasta bibliografia sobre o tema. Porém, independentemente dos processos físicos que estão associados à sua formação e dissipação, pode-se através das medições realizadas descrever o seu comportamento e impacto no interior do porto bem como sugerir alternativas de mitigação.

A Figura 3 mostra a oscilação total do nível medido no sensor S3 durante um evento com agitação costeira com H_s de 6 metros (19 e 20 de dezembro). Decompondo esse sinal nas bandas de frequência descritas resultam as variações de nível representadas na Figura 4.

É importante salientar que essas componentes estão presentes em todos os pontos de medição, como maior ou menor intensidade, variando de acordo com a localização. Por exemplo, as regiões onde foram instalados os sensores S1, S2 e S4 estão mais expostas a ondulação que se propaga para o interior do porto que a região onde foi instalado o sensor S3.

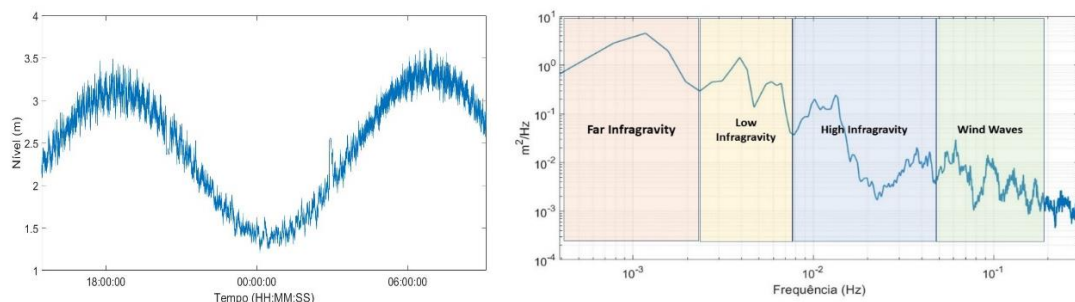


Figura 3: Nível total medido no sensor S3 entre o dia 19 e 20 de dezembro 2020 e separação do sinal por bandas de frequência

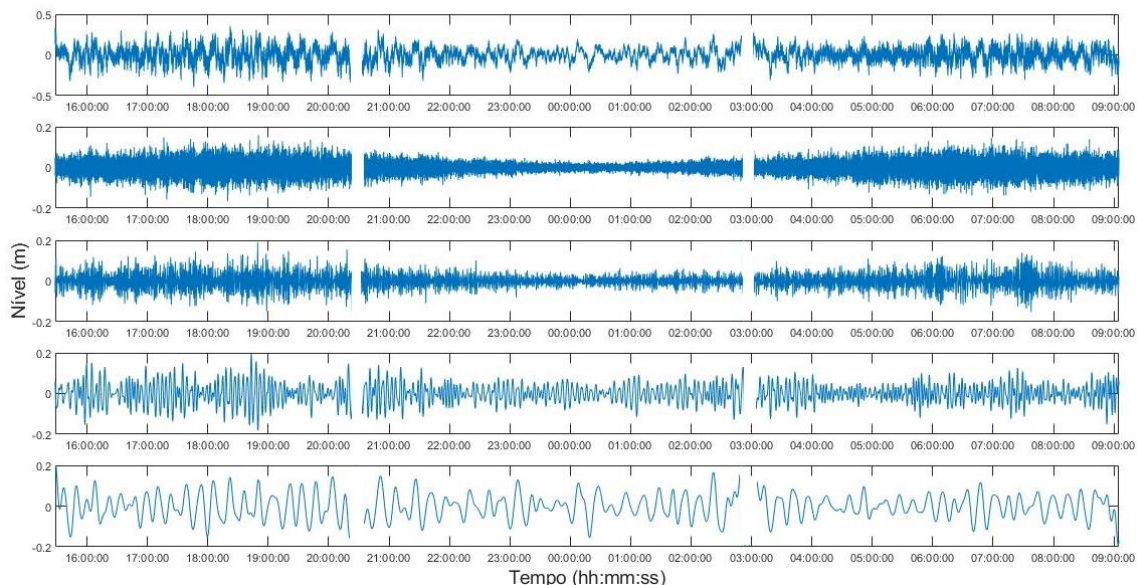


Figura 4: Nível medido no sensor S3 filtrado por bandas de período. Medições realizadas entre o dia 19 e 20 de dezembro 2020.

A relação entre a ondulação costeira e a agitação no interior do Porto

Como se pode concluir das Figura 5 e Figura 6 existe uma relação direta entre a amplitude da agitação na região costeira e no interior do porto. É possível também identificar que a direção de propagação das ondas também influencia a agitação no interior do porto, o que está em concordância com os resultados das simulações realizadas previamente. Como indicado na Figura 6 existe uma maior exposição do porto para ondas do quadrante oeste, estando mais protegida para as ondas de quadrante norte. No dia 23/12, a altura significativa (H_s) no sensor S2 atingiu valores de 0.28 metros para uma ondulação na região costeira na ordem dos 4 metros e direção de noroeste. Já nos dias 28/12 e 29/12 na boia de Leixões foram registados valores de H_s próximos de 6 metros, com direção mais rodada a norte. Para essa condição o valor de H_s no sensor S2 permaneceu próximo dos 0.25 m. Diferentemente, no que respeita à infragravidade, observa-se uma menor capacidade de proteção do porto mesmo para as ondulações mais rodadas ao norte.

Modulação da agitação no interior do Porto pela maré

Através das medições realizadas foi possível identificar que o nível da maré tem um grande impacto na modulação da amplitude de parte do espectro de energia de ondas no interior do porto, sendo que esse padrão foi observado em todos os pontos de medição (Figuras 5, 6 e 7). De forma mais detalhada, pode identificar-se que o nível da maré tem um forte impacto na dissipação da ondulação e das ondas de infragravidade mais curtas, tendo um efeito reduzido nos períodos de infragravidade mais longos (Figura 6).

Durante a instalação dos instrumentos foi observado que durante períodos de maré mais baixa se forma em frente ao acesso ao porto uma zona de rebentação, não observada durante períodos de maré alta. Tal observação sugere que a diminuição da ondulação no interior do porto durante marés mais baixas pode estar associada também a dissipação das ondas por rebentação. Este tipo de comportamento, em que as ondas de infragravidade mais curtas tendem a sofrer maior dissipação na zona de rebentação quando comparadas a ondas de infragravidade de período mais longo, foi igualmente reportado em Batjes (2004) e Moura (2016). Esse processo poderia explicar o efeito da maré na forte modulação das ondas de infragravidade mais curtas.



É também importante destacar que os modos mais longos estão provavelmente associados a modos ressonantes, frequência natural de oscilação do porto. Tal se verifica para as infragravidades muito longas (*Far infragravity*) que podem apresentar amplitudes significativas mesmo durante períodos de baixa agitação costeira.

O registo dessas ondas muito longas durante períodos de baixa agitação ocorre de forma frequente também nos marégrafos localizados em Leixões e Sines, estando estes modos associados aos períodos naturais de oscilações desses portos.

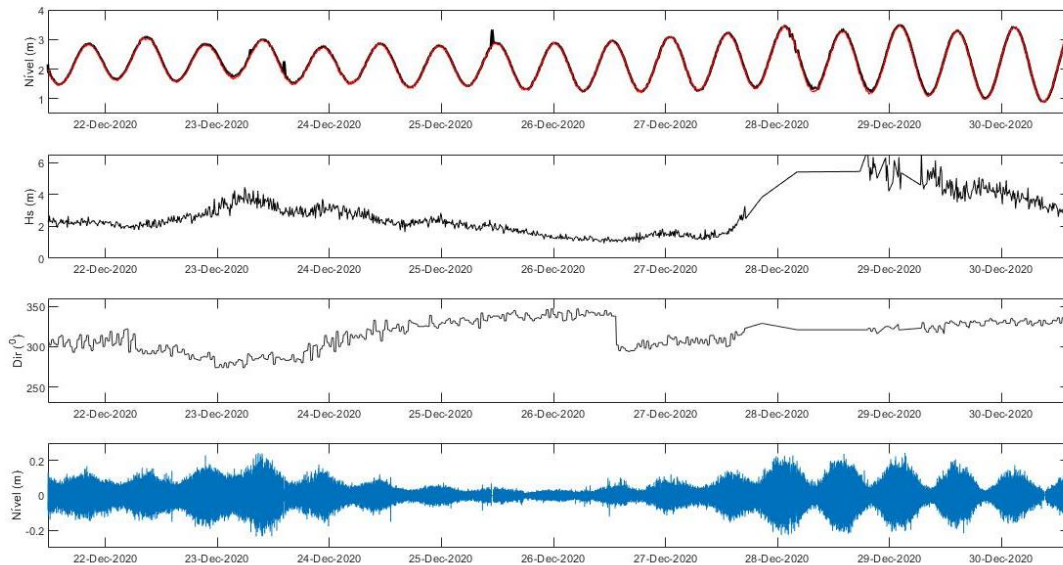


Figura 5: (a) Nível da maré filtrada para o Sensor 2 (preto) e o marégrafo de Leixões (vermelho). (b) Altura significativa e direção (c) na boia de Leixões. (d) elevação da superfície livre filtrada na gama da vaga e ondulação.

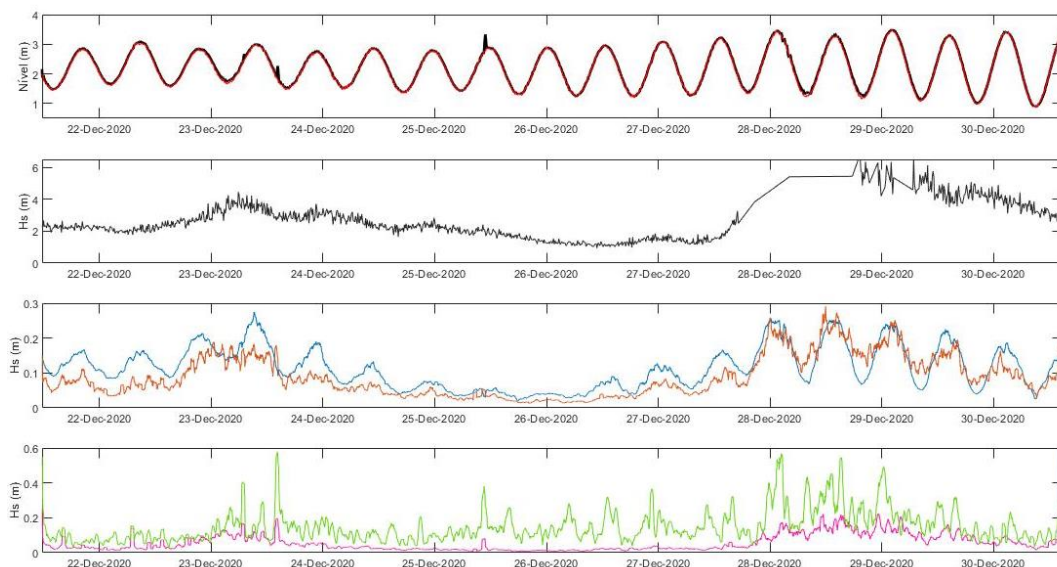


Figura 6: (a) Nível da maré filtrada para o Sensor 2 (preto) e o marégrafo de Leixões (vermelho). (b) Altura significativa na boia de Leixões. (c) e (d) altura significativa no sensor dois para as ondas geradas pelo vento (azul), infragravidade de alta frequência (vermelho), infragravidade de baixa (magenta) e muito baixa frequência (verde).

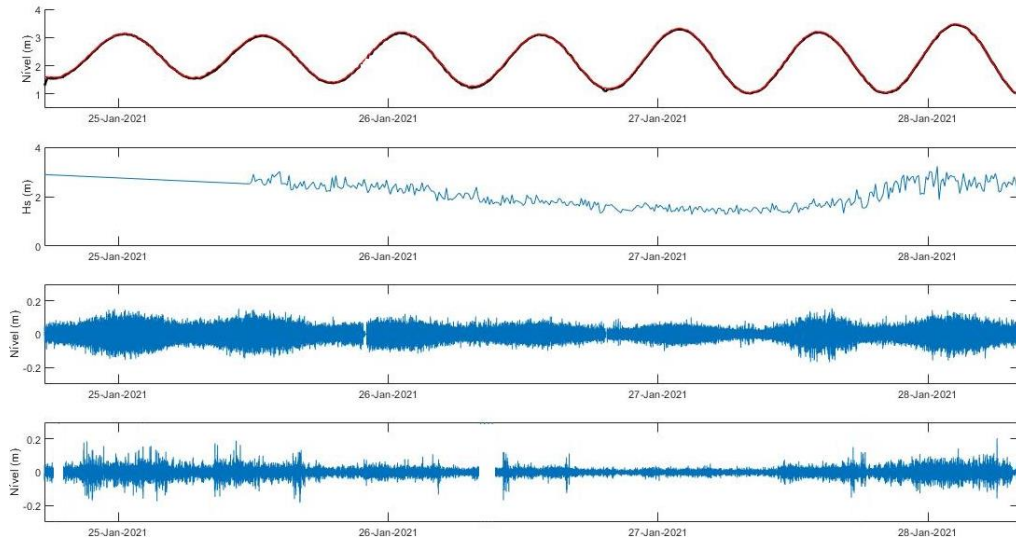


Figura 7: (a) Nível da maré filtrada para o Sensor 4 (preto) e o marégrafo de Leixões (vermelho). (b) Altura significativa na boia de Leixões. Elevação da superfície livre filtrada na gama da vaga e ondulação no sensor S4 (c) e S1(d).

Verificação numérica: Modulação amplitude a agitação pela maré

Com objetivo de avaliar o impacto da maré na modulação agitação no interior do porto observada nas medições, foram realizadas simulações para uma condição de agitação de oeste, $H_s=3.5$ m e $T_p=16$ s para níveis de maré de 0, 1, 2 e 3 metros.

Os resultados destas simulações numéricas corroboram as observações, tendo sido identificado o mesmo comportamento hidrodinâmico das diferentes gamas de períodos medidas como se pode confirmar pelos resultados apresentados nas Figuras 8 e 9.

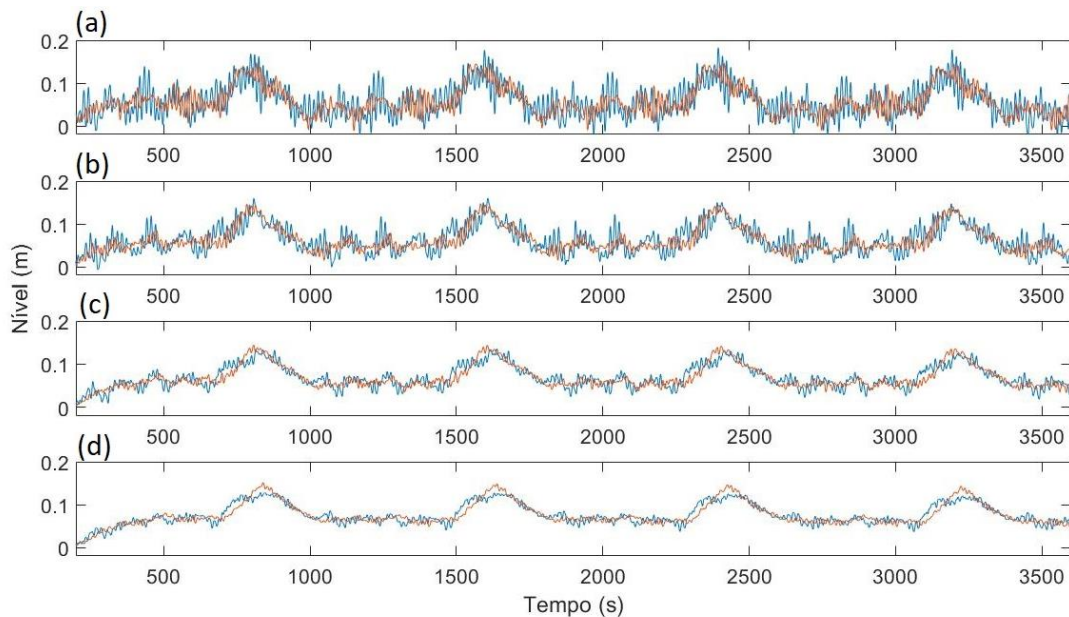


Figura 8: Nível total extraído na posição dos sensores S2 (linha azul) e S3 (linha vermelha), Figura, para diferentes níveis de maré. (a) maré = 3 m, (b) maré = 2 m, (c) maré = 1 m e (d) maré = 0 m.

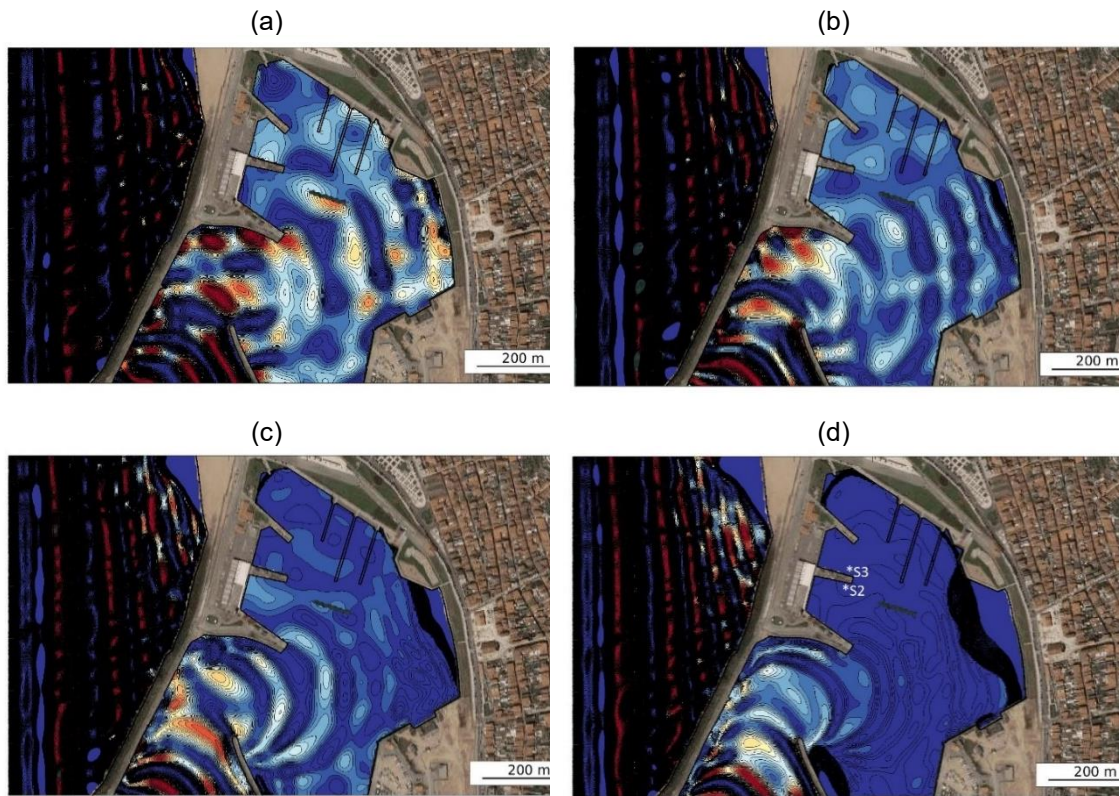


Figura 9: Elevação da superfície livre para o mesmo instante de tempo em 4 níveis diferente de maré. (a) maré = 3 m, (b) maré = 2 m, (c) maré= 1 m e (d) maré=0 m.

Apesar de não terem sido realizadas simulações específicas considerando o aprofundamento do canal, cabe aqui salientar que esse padrão de modulação da agitação sugere que o aprofundamento do canal de acesso (dragagem) pode resultar na intensificação da agitação no interior.

Conclusões

Com base na análise de dados apresentada pode-se concluir que o porto da Póvoa do Varzim encontra-se parcialmente exposto a uma vasta gama de períodos de onda que abrangem desde o período das ondas geradas pelo vento até os períodos das ondas de infragravidade. O impacto dessas ondas varia de acordo com a região do porto e nível da maré, sendo esta última componente de extrema importância na modulação da amplitude tanto da ondulação como das ondas de infragravidade de menor período. Sendo assim pode concluir-se nomeadamente que:

- 1- A agitação no interior do porto gerada pela ondulação está diretamente relacionada a agitação costeira. Quanto maior a agitação na costa maior a agitação no interior;
- 2- Similar à ondulação, a maior parte dos períodos na gama da infragravidade estão diretamente relacionados a agitação costeira com exceção para os períodos mais longos (*far infragravity*) que podem também ocorrer com amplitude significativa durante períodos de baixa agitação costeira;
- 3- Tanto a ondulação como a infragravidade de período mais curto têm suas respectivas amplitudes fortemente moduladas pela maré;



- 4- Existe uma forte dissipação tanto da ondulação como das ondas de infragravidade mais curtas durante níveis de maré mais baixos, sendo a uma provável explicação para parte da dissipação dessas ondas a formação de uma zona de rebentação próximo a entrada do porto;
- 5- As ondas de infragravidade longas (150-400s) apesar de também estarem associadas a agitação costeira não apresentam modulação significativa com o nível da maré, sendo a provável explicação o fato dessas ondas serem muito longas e sofrerem pouca dissipação na entrada do porto.
- 6- Similar ao identificado no primeiro relatório, não foi identificado nas simulações numéricas um agravamento da agitação no cais dada a presença da estrutura instalada no interior do Porto;
- 7- Alterações na geometria da entrada do porto pode resultar numa redução expressiva da penetração da ondulação e ondas de infragravidade mais curtas para o interior;

Referências

Andrade, C., Pires, H. O., Silva, P., Taborda, R. e Freitas, M. C., 2006, *Zonas Costeiras*. In: Santos, F. D. e Miranda, P. (Eds). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*. Projecto SIAM II, Gradiva, pp. 169-208.

Antunes, C., 2019, *Assessment of Sea Level Rise at West Coast of Portugal Mainland and Its Projection for the 21st Century*. J. Mar. Sci. Eng. Int., 7(3), 61, doi.org/10.3390/jmse7030061

Beniston M, Stephenson DB. (2004) Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions, *Global and Planetary Change*, volume 44, pages 1-9, DOI:10.1016/j.gloplacha.2004.06.001

Copernicus (2020). Water level change indicators for the European coast from 1977 to 2100 derived from climate projections. DOI: 10.24381/cds.b6473cc1

Mathiesen M., Goda Y., Hawkes P., Mansard E., María J.M. & Peltier E., F. Thompson E. & Vledder G., 1994. Recommended practice for extreme wave analysis. *Journal of Hydraulic Research - J HYDRAUL RES.* 32. 803-814. 10.1080/00221689409498691

Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari, 2019: Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Stephenson DB. (2008) Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events, *Climate Extremes and Society*, 11-23, DOI:10.1017/CBO9780511535840.003.