

Plataforma interativa e integradora para gestão do risco de inundação costeira

Interactive and integrative platform for coastal flood risk management

Anabela Oliveira^{1,*}, André B. Fortunato², Paula Freire³, João Rogeiro⁴, Alberto Azevedo⁵, Marta Rodrigues⁶, Luís M. David⁷, Elsa Alves⁸, Ana Mendes⁹, Joana Teixeira¹⁰

* Autor para correspondência: aoliveira@lnec.pt

¹ Doutora em Engenharia do Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

² Doutor em Engenharia do Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

³ Doutora em Geologia Económica e do Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁴ Mestre em Engenharia Informática, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁵ Doutor em Ciências Geofísicas e da Geoinformação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, Lisboa, Portugal

⁶ Doutora em Biologia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁷ Doutor em Engenharia Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁸ Doutora em Engenharia Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁹ Licenciada em Informática, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

¹⁰ Mestre em Sistemas de Informação Geográfica, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

RESUMO: Apresenta-se uma plataforma WebSIG para suporte à gestão do risco de inundação, aplicável do rio até ao oceano, incluindo a dimensão urbana. Permitindo o acesso diferenciado e produtos customizados para vários utilizadores, esta plataforma oferece um acesso central a toda a informação útil para a gestão da inundação, quer para o planeamento, quer para situações de emergência. Baseia-se no acoplamento de vários modelos que simulam todos os processos geradores de inundação: marés, sobrelevação de origem meteorológica, agitação marítima, escoamento fluvial, drenagem urbana e eventos de precipitação. Quando a interação entre processos é fundamental, o acoplamento é efetuado através da modelação integrada dos mesmos (para ter em conta p.ex. a interação entre a agitação marítima e as correntes). Este sistema de modelação está integrado na plataforma de previsão em tempo real do LNEC (*WIFF - Water Information Forecast Framework*) que produz diária e automaticamente previsões a 48 horas da inundação no caso de estudo escolhido. Estas previsões são depois disponibilizadas numa plataforma WebSIG, através de um conjunto de produtos customizados às necessidades do utilizador, como boletins de alerta, mapas de previsão da circulação e de inundação e séries temporais de grandezas em pontos pré-selecionados (sensores virtuais). Oferece ainda serviços de comparação automática com dados em tempo real e sistemas de alerta. Ilustra-se a valia desta plataforma numa aplicação à gestão da inundação no estuário do Tejo, com destaque para os alertas customizados ao interesse da Proteção Civil, desde a escala oceânica até à região estuarina de interesse.

Palavras-chave: Plataforma Web, previsão em tempo real, modelação integrada, mapas de inundação, sistema de alerta.

ABSTRACT: An innovative WebGIS platform for inundation management support is presented herein, targeting all relevant spatial scales from the rivers to the ocean including the urban dimension. This platform constitutes a central repository of all relevant information for inundation management, supporting planning and emergency operations alike, with different access levels and customized products for distinct users. It is based on the coupling of several models that simulate all inundation related processes: tides, storm surge, waves, river flow, urban drainage and precipitation events. When process

interaction is essential, coupling is achieved through integrated modeling (to account, for instance, the interaction between waves and currents). This modeling system is integrated in LNEC's real time forecast framework (WIFF - Water Information Forecast Framework) which generates daily in an automatic way 48-hour inundation predictions for the selected use case. These predictions are then uploaded to a WebGIS platform, through several customized products targeted at the users' needs, as well as early-warning bulletins, maps of circulation and inundation, and time series of selected variables at pre-defined places (virtual sensors). Automatic comparison with real time data and alert systems are also available. The gains provided by this platform are illustrated in a deployment for inundation management in the Tagus estuary, highlighting the Civil Protection customized alert system, applicable from the oceanic to the local estuarine scales.

Keywords: Web platform, real time forecasts, integrated numerical modeling, inundation maps, early-warning system.

1. INTRODUÇÃO

A base de dados internacional do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (<http://emdat.be>) mostra que, entre 2000 e 2015, os eventos de inundação na Europa foram responsáveis por 1892 mortes e por um prejuízo total de cerca de 95 biliões de dólares. Atualmente os decisores e as autoridades responsáveis pela gestão da água desenvolvem as suas funções sem tirar total partido dos avanços científicos e tecnológicos existentes, quer na modelação preditiva dos eventos, quer no uso das potentes ferramentas de tecnologias de informação.

A necessidade de prever de forma quantitativa eventos extremos (como tempestades e inundações) e de antecipar os impactos de acidentes

de natureza antropogénica (como derrames de hidrocarbonetos e descargas ilegais) nos meios aquáticos motivou o desenvolvimento pelo LNEC de um sistema de previsão em tempo real para aplicação à circulação e qualidade da água nestes meios. Os sistemas de previsão em tempo real produzem previsões a horizontes temporais curtos (dias), através da integração de modelos numéricos e dados recolhidos *in situ* (Baptista, 2006). São hoje ferramentas habituais de suporte à gestão costeira e portuária para análise de grandezas como a agitação marítima, os níveis e as velocidades da água (Anselmi-Molina *et al.*, 2012, Dietrich *et al.*, 2011, Oliveira *et al.*, 2014), e têm vindo a ser alargados à qualidade da água (Daniel *et al.*, 2004, Rodrigues *et al.*, 2015, Azevedo *et al.*, 2017). Designado por WIFF – *Water Information Forecast Framework*, o sistema

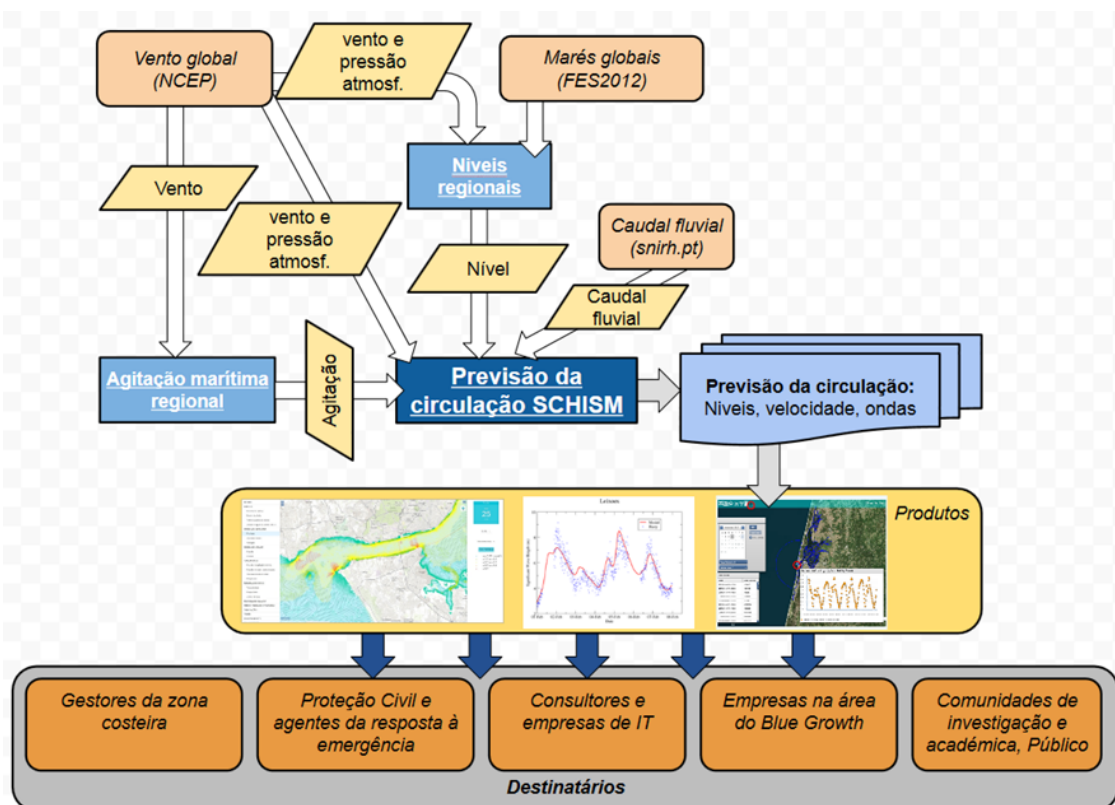


Figura 1. Exemplo de aplicação da infraestrutura de previsão WIFF à inundação em ambientes estuarinos onde os processos associados à interação ondas-correntes são relevantes.

de previsão em tempo real do LNEC agrega escalas espaciais desde o oceano até aos rios, incluindo a interface com as cidades (Figura 1, Oliveira *et al.*, 2014), e permite efetuar a previsão de grandezas relevantes em meios aquáticos e zonas urbanas adjacentes.

O aumento da presença das tecnologias de informação na atividade diária dos cidadãos, aliado a maiores recursos computacionais e à melhor capacitação dos técnicos no uso dos sistemas de informação, tem conduzido a uma mudança de paradigma na gestão do risco de inundação (Herold *et al.*, 2005). Estas tarefas são crescentemente suportadas por sistemas automáticos, que preveem e geram alertas de eventos. A informação gerada fica disponível através de interfaces *Web* que permitem aceder a toda a informação relevante para a gestão do risco e da emergência (Kulkarni *et al.*, 2014, Gomes *et al.*, 2017). Estas interfaces oferecem ainda a possibilidade de interação com o utilizador (e.g., pesquisa de resultados da previsão em locais escolhidos pelo utilizador, simulações a pedido ou carregamento de informação dos agentes de Proteção Civil no terreno para análise integrada dos eventos).

Este artigo apresenta assim uma plataforma WebSIG para apoio à gestão do risco e à resposta à emergência de inundação, que permite integrar produtos de previsão em tempo real e alerta, assim como os resultados de uma análise de risco detalhada (secção 2). É ainda sumariamente apresentado o sistema WIFF e os sistemas de modelação que o sustentam. Esta ferramenta é ilustrada numa aplicação à gestão da inundação no estuário do Tejo. Finalmente as considerações finais e direções futuras de investigação são apresentadas na secção 3.

2. PLATAFORMA WEBSIG PARA APOIO À GESTÃO DA INUNDAÇÃO EM MEIOS AQUÁTICOS E URBANOS

2.1 Infraestrutura de previsão e monitorização em tempo real WIFF

A WIFF é uma plataforma de previsão em tempo real genérica, adaptável a qualquer localização geográfica. Foi desenvolvida no LNEC para vários tipos de aplicações em meios aquáticos e suas interfaces urbanas (Figura 1) e integra um conjunto de modelos numéricos que corre diariamente em ambientes de elevada performance (Rogeiro *et al.*, 2017). Este sistema produz previsões a horizontes temporais curtos (2 dias) (Fortunato *et al.*, 2017),

através da operacionalização de modelos numéricos e sua interligação com dados de campo.

A WIFF é operada num sistema LINUX e é baseada num conjunto de *scripts*, orquestrados para correr periodicamente, que preparam e lançam as simulações para cada modelo de previsão (Figura 1). Estes *scripts* interagem com uma base de dados PostgreSQL para obterem os dados de forçamento dos modelos (tais como caudais fluviais, temperatura da água ou informação atmosférica). Diariamente, a WIFF cria o ambiente de computação para a previsão desse dia, obtém os dados de forçamento e recolhe as previsões do dia anterior (para poder tirar partido das funcionalidades de *hotstart* do sistema de modelos, reiniciando a simulação a partir da previsão do dia anterior, e ser mais eficiente e preciso). Com base em serviços de *ssh* e *scripts bash*, esta infraestrutura pode ser operada de modo seguro, fiável e flexível em qualquer ambiente de computação de forma transparente (Rogeiro *et al.*, 2017).

A disponibilização atempada das previsões é outro requisito dos sistemas de previsão. O LNEC opera as várias aplicações do sistema de previsão de forma redundante utilizando várias estações de trabalho e nós do *cluster* MEDUSA (integrado na Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída – INCD, Rogeiro *et al.*, 2017). Cada implementação da WIFF é ainda otimizada para a aplicação escolhida e para os recursos disponíveis, permitindo dessa forma uma utilização sustentável e eficiente dos recursos computacionais (Rogeiro *et al.*, 2017).

Cada aplicação da WIFF é validada automaticamente por comparação com os dados disponíveis *online* em tempo real (Figura 2), permitindo aos utilizadores aferir de forma independente a qualidade dos resultados. A WIFF integra uma rede de sensores em tempo real, operada pelo LNEC em vários sistemas aquáticos portugueses (Gomes *et al.*, 2013, Rodrigues *et al.*, 2015), assim como dados de outras redes *online* dos sistemas de interesse. Todos os dados da rede do LNEC são transmitidos por GSM/GPRS, processados para controlo de qualidade e arquivados nos servidores do Centro de Dados do DHA (Gomes *et al.*, 2013).

2.2 Sistemas de modelação de suporte às previsões da WIFF

A modelação na plataforma WIFF é efetuada de forma acoplada, tipicamente através da imposição de condições de fronteira de um modelo para o seguinte, podendo ainda ser usadas estratégias de acoplamento em círculo (e.g. os níveis de maré são usados para forçar as condições de fronteira de jusante de níveis num modelo de drenagem

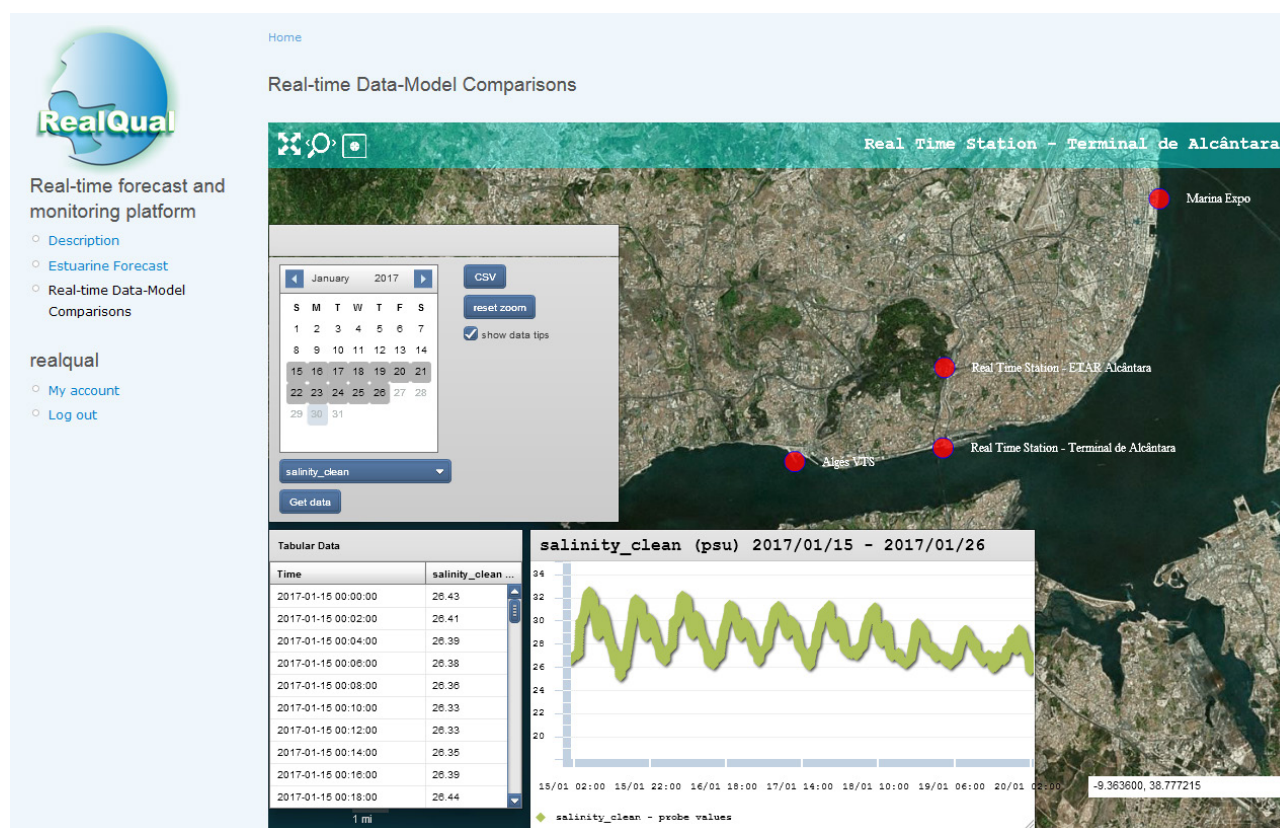


Figura 2. Exemplo de nó da rede de monitorização do estuário do Tejo da aplicação do WIFF no projeto FLAD RealQual - Towards real-time high-resolution monitoring and prediction of water quality in estuaries and coastal areas.

urbano, sendo depois os resultados de caudal deste modelo usados como aporte de descarga urbana no modelo do estuário). Quando a interação entre processos é relevante para o problema em simulação, o acoplamento é feito de forma mais completa e complexa, através da modelação integrada dos processos (e.g., a interação entre a agitação marítima e as correntes).

O sistema de modelos SCHISM (*Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model*, Zhang et al., 2016) constitui a base do sistema de modelação usado, graças à sua abrangência de simulação de processos fluviais, estuarinos e costeiros, boas propriedades numéricas a nível da precisão e conservação de massa (mesmo a nível das zonas intertidais) e elevada eficiência a nível computacional. Acresce a política de disponibilização do modelo – modelo de acesso e código abertos, enquadrado numa vasta comunidade mundial de utilizadores, a qual confere robustez e confiabilidade à sua utilização. O SCHISM é um sistema de modelos totalmente paralelizado para a simulação tridimensional baroclínica a escalas que vão do rio ao oceano. Utiliza malhas não estruturadas, métodos semi-implícitos de elementos e volumes finitos combinados com

algoritmos Eulerianos-Lagrangianos para resolver as equações de águas pouco profundas.

A modelação regional da agitação marítima é efetuada através do modelo WW3 (Tolman, 2009) e a modelação da drenagem e da qualidade da água urbana é feita através do modelo SWMM (Rossman, 2007). Quando o conhecimento dos processos é insuficiente para a integração de modelos genéricos, baseados em equações, podem ser ainda usados modelos empíricos e simplificados, baseados em dados e/ou em conhecimento pericial, os quais apenas são válidos para o caso de estudo em causa. Com base neste sistema de modelação, o LNEC opera sistemas operacionais regionais de agitação marítima e de níveis (Fortunato et al., 2017), da gestão do risco de derrames na Ria de Aveiro (Azevedo et al., 2017) e de inundação costeira (Freire et al., 2016, Fortunato et al., 2017) e qualidade da água (David et al., 2015, Rodrigues et al., 2015) no estuário do Tejo. Cada uma destas aplicações foi devidamente calibrada e validada com dados históricos, baseada em trabalhos anteriores de estabelecimento dos vários modelos. Destaca-se ainda o sistema operacional desenvolvido no âmbito do projeto SI-GeA, no qual foi desenvolvido o acoplamento dos modelos do sistema de

drenagem e da ETAR de Alcântara, e do estuário do Tejo, suportado por uma rede de monitorização em tempo real na ETAR e na zona de descarga do Caneiro utilizando espectrofotómetros e outros equipamentos. Este sistema visava o suporte à gestão integrada, em tempo real, dos riscos de inundação e de contaminação fecal no estuário do Tejo, integrando as aflúências urbanas e a dinâmica estuarina (David *et al.*, 2015, Rodrigues *et al.*, 2015).

2.3 Sistema de alerta multi-escala para a inundação em zonas costeiras

A conceção de um sistema de alerta para as zonas costeiras e estuarinas tem de ter em conta os vários

mecanismos forçadores e os vários processos em jogo. Dependendo da dimensão da área em estudo e da informação disponível (quer a nível da previsão quer a nível dos elementos expostos), este sistema poderá ser mais agregador ou mais detalhado.

Assim, no âmbito do projeto MOLINES foi conceptualizada uma cadeia de sistemas de alerta, adaptada às necessidades de cada destinatário, sendo o respetivo boletim enviado em situação de alerta e disponibilizado diariamente na plataforma. A informação incluída nos boletins de alerta é customizada às escalas relevantes e ilustrada aqui através da aplicação desde a plataforma costeira até à Baía do Seixal (Figura 3).

a)

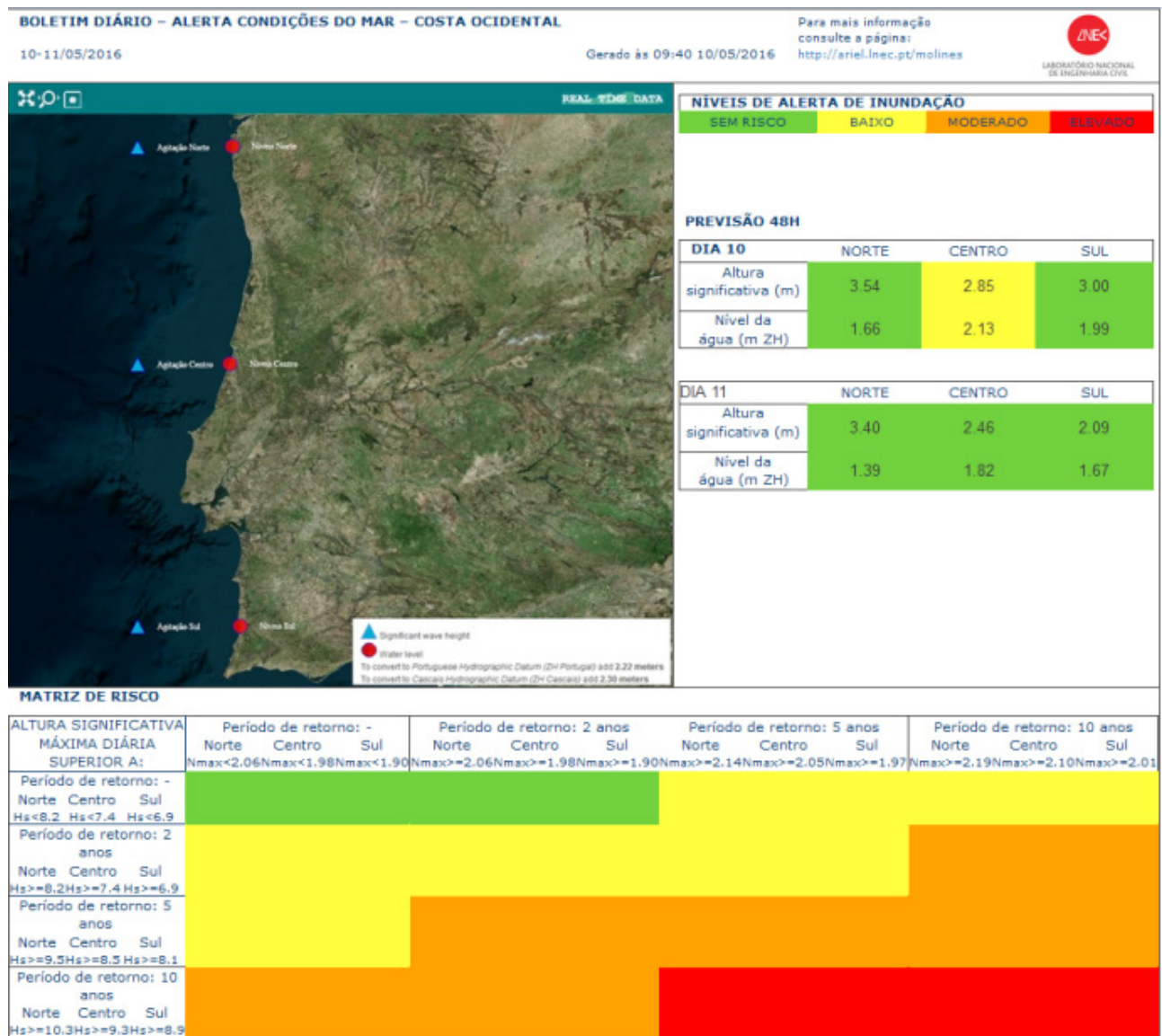


Figura 3. Boletim de alerta multi-escalas. Exemplo de aplicação à:

a) Costa portuguesa; b) Estuário do Tejo; e c) Baía do Seixal.

b)

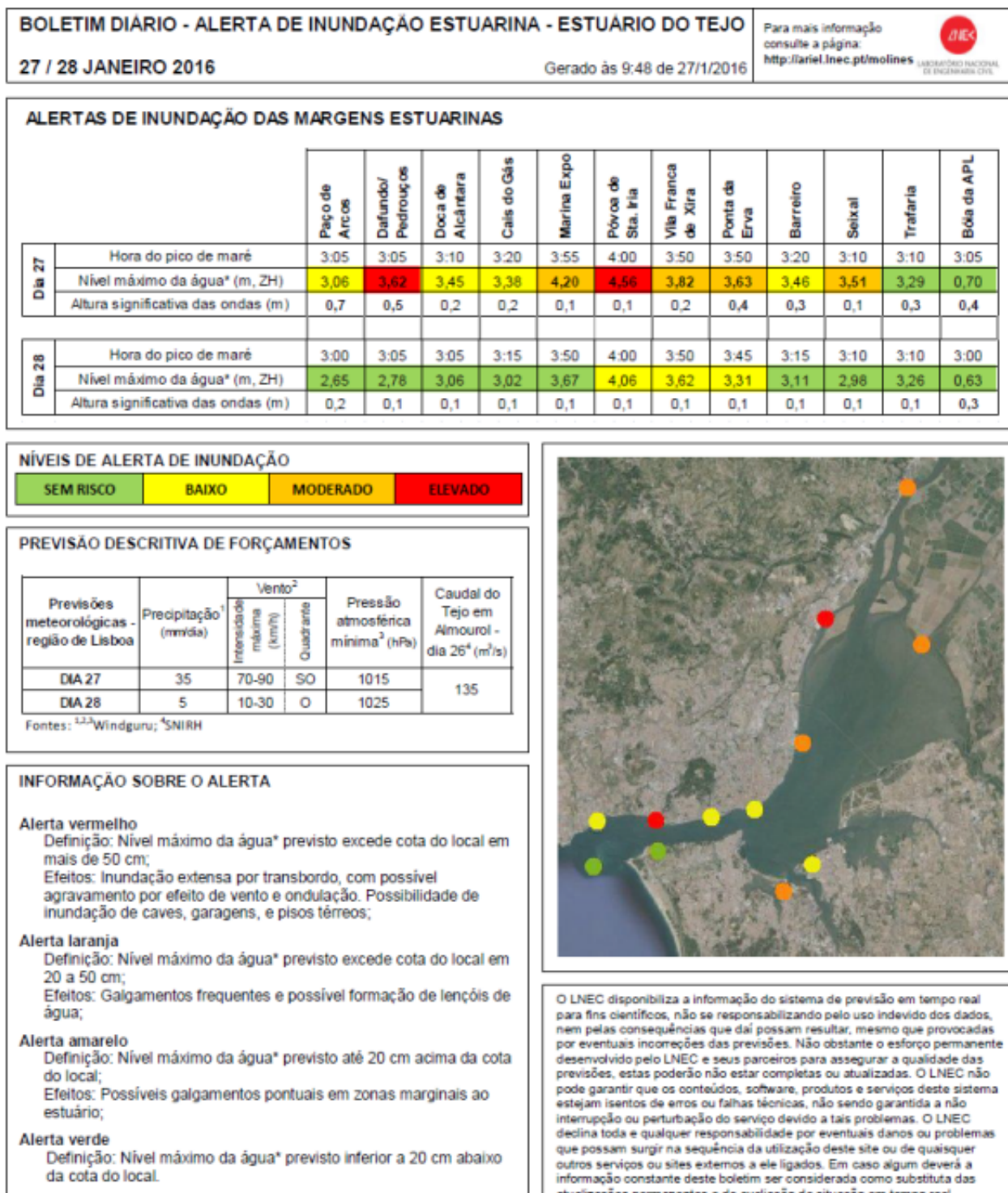


Figura 3. Continuação.

c)

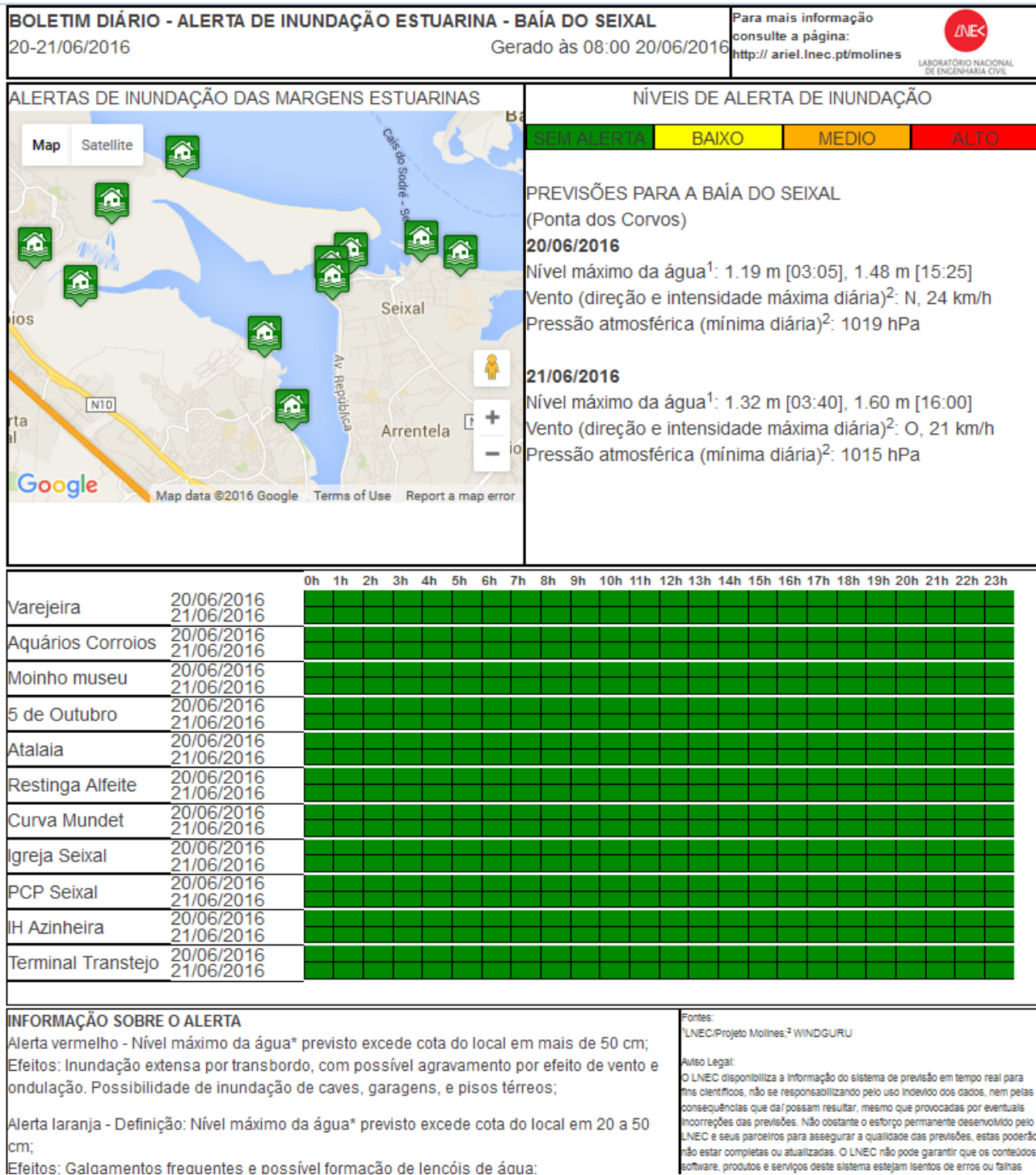
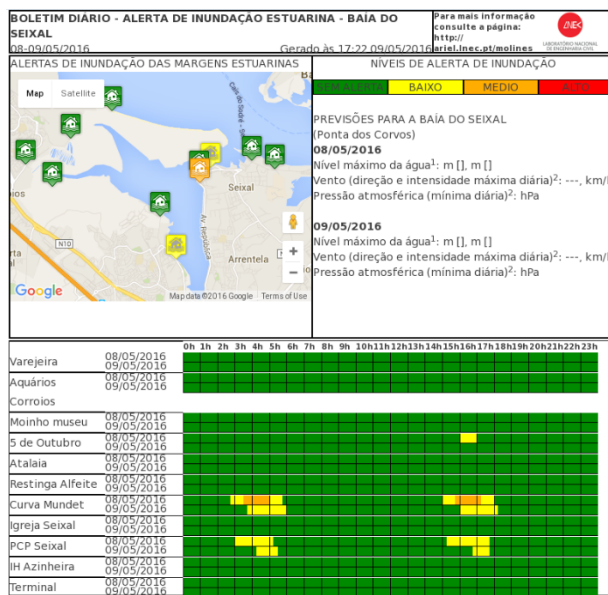


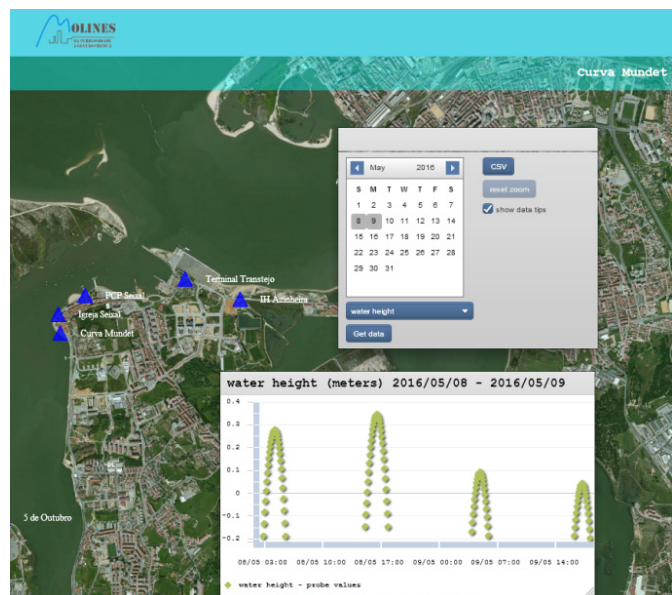
Figura 3. Continuação.

O sistema de alerta para as escalas mais finas foi concebido com base na noção de pontos críticos, onde o historial de eventos passados é grave e/ou os recursos em risco são elevados. Em cada ponto é calculada diariamente a previsão das alturas de água, com base nas previsões do modelo de circulação. Quando estas alturas ultrapassam o valor limite de inundação (definido ponto a ponto), emite-se um boletim de alerta (Figura 3), o qual fica disponível na plataforma WebSIG (descrita na próxima seção) e é também enviado às autoridades competentes por correio eletrónico. O nível de

alerta depende das alturas da água em cada ponto crítico, estando as respetivas séries temporais disponíveis para as entidades gestoras com a definição precisa dos níveis máximos expectáveis e os períodos expectáveis de inundação (Figura 4). O limite de inundação inclui ainda uma margem de erro para contabilizar a incerteza dos forçamentos, do modelo e da topografia (Figura 5). Esta margem de erro é definida consoante a precisão do modelo, avaliada em sede de validação do mesmo, e permite evitar a ocorrência de falsos negativos e dar robustez ao apoio à emergência.



a)



b)



c)



d)

Figura 4. a) Boletim de alerta para um evento de inundação; b) respetiva série temporal de alturas de água numa zona inundada; c) e d) fotos da zona inundada na Curva da Mundet, gentilmente cedidas pelos Serviços de Proteção Civil da C.M. Seixal.

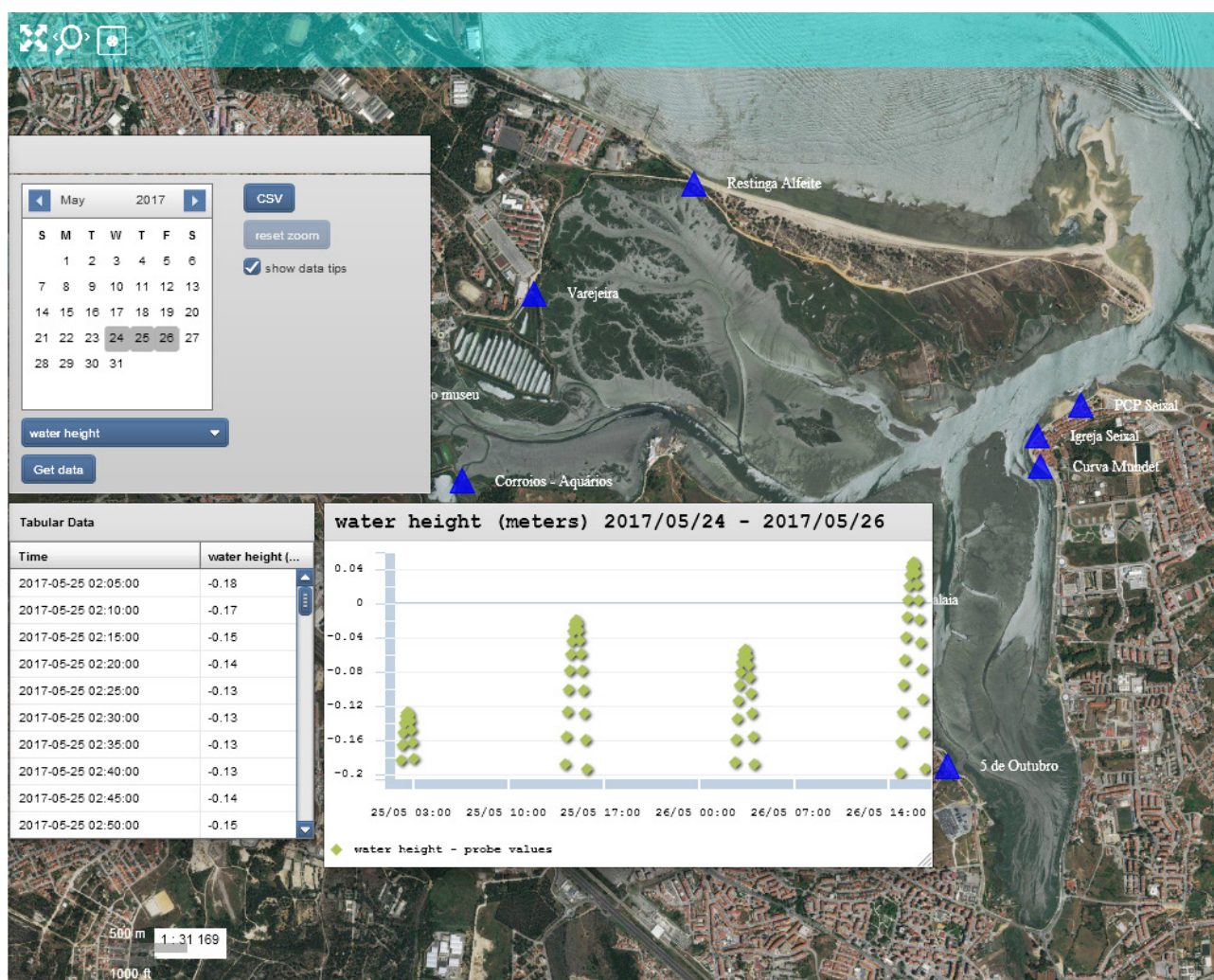


Figura 5. Séries temporais de alturas de água em zonas inundadas, ilustrando situações em que o nível de inundação está dentro da margem de erro do modelo e outras em que foi prevista inundação efetiva (i.e. quando as alturas de água previstas foram positivas, superiores à cota do terreno).

2.4 Plataforma WebSIG para gestão e apoio à emergência de inundações

Os resultados dos sistemas de previsão e monitorização são disponibilizados aos utilizadores através de interfaces *web*. Estas plataformas tiram partido de novas tecnologias para providenciar o acesso *online*, de forma intuitiva e georeferenciada, aos dados e previsões em tempo real, assim como a serviços customizados aos utilizadores, pré-definidos ou a pedido. O acesso pode ser livre (exemplo: <http://ariel.Inec.pt>) ou restrito às entidades gestoras (exemplo: <http://ariel.Inec.pt/molines>), de forma a assegurar a confidencialidade da informação.

No projeto MOLINES, os resultados da WIFF foram integrados numa plataforma *WebSIG* organizada ao longo de 4 eixos: 1) informação de alerta, às escalas regionais e locais; 2) previsões da inundação estuarina, com séries temporais em sensores virtuais

e produtos SIG das variáveis relevantes e validação com os dados *online*; 3) previsões em tempo real da inundação urbana; e 4) produtos de análise de risco, suportados por análise de perigosidade e de vulnerabilidade territorial.

Foi efetuada uma análise de exposição e impactos na Baía do Seixal (Freire *et al.*, 2016) e identificados os pontos críticos pelos serviços de proteção civil da Câmara Municipal do Seixal (Oliveira *et al.*, 2016). Esta análise constituiu a base da implementação do sistema de alerta, o qual foi validado operacionalmente com o evento de inundação em 8 de maio de 2016, onde a Curva da Mundet foi alagada (Figura 4), em concordância com as previsões. O alerta de inundação é apresentado de várias formas, quer mapeado freguesia a freguesia, quer de forma global para toda a baía.

A inundação é prevista diariamente através de simulações do modelo SCHISM, tendo em conta os efeitos acoplados das ondas e das correntes,

forçado por simulações regionais de ondas e de níveis (maré, vento e sobrelevação de origem meteorológica, Figura 1, Fortunato et al., 2017). Os mapas de inundação constituem um dos produtos detalhados disponíveis na plataforma Web, permitindo ao utilizador visualizar em ambiente SIG as zonas que são inundadas e a propagação da frente de inundação (Figura 6). Em locais pré-selecionados, foram ainda definidos sensores virtuais, onde é possível visualizar e descarregar séries temporais das previsões de níveis dentro do domínio em estudo. Para melhor compreensão dos processos conducentes aos eventos de inundação, o utilizador pode ainda aceder às previsões forçadoras de ondas e níveis regionais e às previsões de precipitação.

Em termos tecnológicos, esta plataforma utiliza a *framework CakePHP*, bases de dados *PostgreSQL*, várias instâncias de *Geoserver* e um conjunto de *scripts Perl* e *Python* que asseguram funcionalidades não cobertas pelas componentes anteriores. O *Geoserver* gere e disponibiliza os mapas georreferenciados, armazenados em bases de dados *PostGIS*, e resultados dos modelos de previsão, em formato *shapefile*. A interface é uma aplicação Web, desenhada não só para computadores mas também para dispositivos móveis, que permite ao utilizador visualizar e interagir com a informação gerada, tirando partido de tecnologias web como *HTML5*, *CSS3*, *AngularJS*, *Google Polymer* e *OpenLayers* (Gomes et al., 2017).

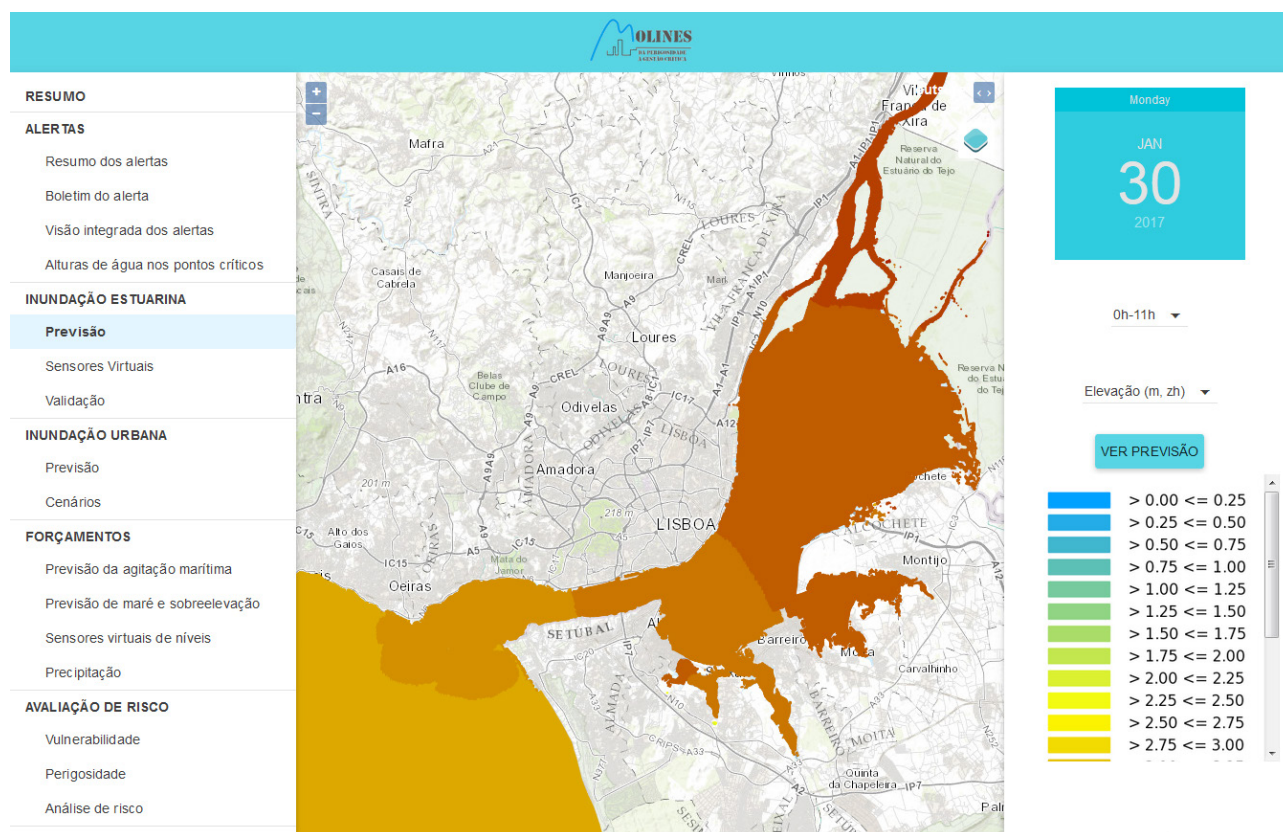


Figura 6. Previsão em tempo real dos níveis no estuário do Tejo.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DIREÇÕES FUTURAS DE INVESTIGAÇÃO

Neste artigo apresentaram-se as linhas mestras da plataforma *WebSIG* do LNEC para suporte à gestão de meios aquáticos, ilustrando a sua flexibilidade e abrangência na previsão de eventos de inundação no estuário do Tejo. Esta plataforma é genérica e tem vindo a ser incrementalmente melhorada e alargada a um conjunto de processos aquáticos, desde a circulação e propagação da agitação marítima até à qualidade da água, frequentemente integrada em sistemas de apoio à gestão do risco. A sua operação é, no entanto, exigente, quer na aplicação a novos casos de estudo, quer na sua manutenção com fiabilidade e robustez, requerendo uma vasta equipa multidisciplinar que integra especialistas em processos aquáticos, em modelação numérica e em tecnologias da informação. Neste enquadramento, a capacidade de desenvolver e manter estes sistemas é restrita a algumas equipas em Portugal e tem custos significativos, sendo assim limitada a facilidade de se promover a sua adoção para todas as zonas costeiras e ribeirinhas em Portugal.

De modo a poder alcançar este objetivo para as zonas costeiras portuguesas, o LNEC está a desenvolver uma infraestrutura genérica que permita estabelecer, de forma interativa, por um utilizador com conhecimentos básicos de modelação, um sistema de previsão em tempo real da circulação costeira aplicado a um trecho da costa Portuguesa à sua escolha. Esta aplicação, designada *OPENCoastS* (Teixeira et al., 2017) e enquadrada no projeto FCT INCD (Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída - <http://www.incd.pt>), será suportada pela infraestrutura computacional do Roteiro Nacional de Infraestruturas e permitirá aos gestores da zona costeira usufruir de uma ferramenta avançada e amigável para gestão costeira. Permitirá ainda apoiar os agentes da Proteção Civil a antecipar eventos de inundação e planear a devida resposta.

Uma vez que o serviço *OPENCoastS* irá promover o paradigma de total acesso aos dados gerados, prevê-se que os sistemas operacionais gerados por este serviço alimentem uma base de dados global de resultados numéricos que, por sua vez, podem ser utilizados por todos os utilizadores em estudos climatológicos das zonas costeiras. Esta base de dados pode beneficiar ainda o sector privado, o qual pode desenvolver novos serviços e produtos alimentados pelos resultados dos sistemas de previsão em tempo real desenvolvidos no serviço *OPENCoastS*. Simultaneamente esta ferramenta será uma mais-valia para a comunidade

científica, permitindo uma melhor compreensão dos processos físicos, e para a formação avançada em engenharia costeira, permitindo aos alunos a compreensão do que é um sistema de previsão, seus requisitos de modelação e de como se podem estabelecer estas ferramentas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito dos projetos UBEST (PTDC/AAG-MAA/6899/2014), MOLINES (PTDC/AAG-MAA/2811/2012), Piloto Cloud e Roteiro de Infraestruturas INCD (projeto nº22153), financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), SI-GeA, financiado pela Agência de Inovação, e REALQUAL, financiado pela FLAD – Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento. A sexta autora é co-financiada pela bolsa SFRH/BPD/87512/2012 da FCT.

Os autores agradecem às equipas que desenvolvem os modelos WW3 e SCHISM a disponibilização dos seus modelos, à NOAA e ao Windguru pelas previsões atmosféricas e às várias entidades que detêm redes de monitorização em tempo real pela disponibilização dos seus dados. Agradecem ainda à ANPC e à Câmara Municipal do Seixal por todo o apoio prestado durante o projeto MOLINES. Agradecem também aos colegas do LIP e da FCCN/FCT o apoio e a disponibilização de recursos computacionais para as previsões dos vários projetos, e a todos os parceiros dos projetos MOLINES, SI-GeA e RealQual pelo apoio no desenvolvimento dos modelos e participação nas campanhas de campo.

REFERÊNCIAS

- Anselmi-Molina C.M., Canals M., Morell J., Gonzalez J., Capella J., Mercado A. (2012). Development of an operational nearshore wave forecast system for Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. *Journal of Coastal Research*. 28:1049–1056.
- Azevedo, A., A.B. Fortunato, B. Epifânio, S. den Boer, E.R. Oliveira, F.L. Alves, G. Jesus, J.L. Gomes, A. Oliveira. (2017). An oil risk management system based on high-resolution hazard and vulnerability calculations. *Ocean & Coastal Management*, Volume 136, Pages 1–18, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.11.014>.
- Baptista A.M. (2006). CORIE: the first decade of a coastal-margin collaborative observatory. *Oceans'06, MTS/IEEE*. Boston, MA, 6 pp, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4099047>.

- Daniel P., Josse P., Dandin P., Lefevre J.M., Lery G., Cabioc'h F., Gouriou V. (2004). Forecasting the prestige oil spills. *Proceedings of the Interspill 2004*, 17 pp.
- David L.M., Rodrigues M., Fortunato A.B., Oliveira A., Mota T., Costa J., Rogeiro J., Jesus G., Gomes J.L., Menaia J., David C., Póvoa P., Frazão A., Matos R.S. (2015). Chapter 1.4 Demonstration system for early warning of faecal contamination in recreational waters in Lisbon. In *Climate Change, Water Supply and Sanitation: Risk Assessment, Management, Mitigation and Reduction*. Hulsman A. et al. (Eds), IWA Pub., p.18-23.
- Dietrich J.C., Zijlema M., Westerink J.J., Holthuijsen L.H., Dawson C., Luettich R.A. Jr, Jensen R.E., Smith J.M., Stelling G.S., Stone G.W. (2011). Modeling hurricane waves and storm surge using integrally-coupled, scalable computations. *Coastal Engineering*. 58:45–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2010.08.001>.
- Freire, P., Tavares, A.O., Sá, L., Oliveira, A., Fortunato, A.B., Santos, P.P., Rilo, A., Gomes, J.L., Rogeiro, J., Pablo, R., Pinto, P.J. (2016) A local-scale approach to estuarine flood risk management, *Natural Hazards*, 84/3: 1–35, <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-016-2510-y>.
- Fortunato, A.B., Oliveira A., Rogeiro, J., Costa, R.T., Gomes, J.L., Li, K., Jesus, G., Freire, P., Rilo, A., Mendes, A., Rodrigues, M., Azevedo, A. (2017). Operational forecast framework applied to extreme sea levels at regional and local scales. *Journal of Operational Oceanography*, 10/1: 1-15. <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2016.1255471>.
- Gomes, J.L., Jesus, G., Rodrigues, M., Rogeiro, J., Azevedo, A. and Oliveira, A. (2013). Managing a Coastal Sensors Network in a Nowcast-forecast Information System, *Proceedings of the Sixth Int. Workshop on Next Generation of Wireless and Mobile Networks* (NGWMN-2013), 6 pages.
- Gomes J.L., Jesus G., Rogeiro J., Oliveira A., Costa R., Fortunato A. (2017). An Innovative Platform for Flood Risk Management, M. Grzenda et al. (eds.), *Advances in Network Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing* 461, 271–231.
- Herold S., Sawada M., Wellar B. (2005). Integrating geographic information systems, spatial databases and the internet: a framework for disaster management. *Proceedings of the 98th Annual Canadian Institute of Geomatics Conference*, p. 13–15.
- Kulkarni A.T., Mohanty J., Eldho T.I., Rao E.P., Mohan B.K. (2014). A web GIS based integrated flood assessment modeling tool for coastal urban watersheds. *Computers & Geosciences*. 64:7–14. doi:10.1016/J.CAGEO.2013.11.002.
- Oliveira, A., Jesus, G., Gomes, J.L., Rogeiro, J., Azevedo, A., Rodrigues, M., Fortunato, A.B., Dias, J.M., Tomas, L.M., Oliveira, E.R. Alves, F.L., den Boer, S., (2014). An interactive WebGIS observatory platform for enhanced support of coastal management. In: Green, A.N. and Cooper, J.A.G. (eds.), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 66, pp. 507-512, ISSN 0749-0208.
- Oliveira, A., Rogeiro, J., Gomes, J.L., Pinto, P., Fortunato, A.B., Freire, P., Costa, R.T., Sá, L., Pablo, R., Mendes, A. (2016). Plataforma integrada WebSIG para apoio à gestão da emergência em eventos de inundação em estuários, *Actas das 4as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, 121-124.
- Rodrigues M., David L.M., Oliveira A., Fortunato A.B., Menaia J., Costa J., Mota T., Rogeiro J., Jesus G., Morais P., Palma J., Matos R. (2015). Chapter 3.9 On-line monitoring of CSO: sewer and receiving waters. In *Climate Change, Water Supply and Sanitation: Risk Assessment, Management, Mitigation and Reduction*. A. Hulsman, G. Grützmacher, G. van den Berg, W. Rauch, A.L. Jensen, V. Popovych, M.R. Mazzola, L. S. Vamvakieridou-Lyroudia and D.A. Savic (Eds), IWA Publishing, p. 181-188. ISBN 9781780404998.
- Rogeiro, J., M. Rodrigues, A. Azevedo, A. Oliveira, J. P. Martins, M. David, J. Pina, N. Dias, J. Gomes. (2017). Running high resolution coastal models in forecast systems: moving from workstations and HPC cluster to cloud resources, *Advances in Engineering Software*, <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.04.002>.
- Rossman L.A. (2007). *Stormwater Management Model User's Manual*.
- Teixeira, J.J. Rogeiro, A. Oliveira, A.B. Fortunato, A. Azevedo, M. Rodrigues (2017). OPENCoastS.pt – serviço de previsão em tempo real a pedido para a circulação e agitação marítima na costa portuguesa, 9as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, 19 pp, http://www.pianc.pt/Jornadas_novembro_2017/22AOliveira.pdf.
- Tolman H.L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III, version 3.14. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note 276, 194 p.
- Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S. (2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM, *Ocean Modelling*, 102, 64-81, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2016.05.002>.