

## UTILIZAÇÃO DOS DADOS COPERNICUS MARINE SERVICE PARA SUPORTE A SERVIÇOS OPERACIONAIS DE ALTA RESOLUÇÃO

*Sofia Bartolomeu<sup>1</sup>, João G. Rodrigues<sup>1</sup>, Hélio Santos<sup>1</sup>, Adélio Silva<sup>1</sup>, José Chambel Leitão<sup>1</sup>  
Eduardo Aires<sup>1</sup>, Pedro Galvão<sup>1</sup>, João Ribeiro<sup>1</sup>, Paulo Chambel Leitão<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Hidromod-modelação em engenharia Lda.*

*<sup>1</sup>HIDROMOD, Rua Rui Teles Palhinha, 4, 1, 2740-278 Porto Salvo, Portugal  
(joao.rodrigues@hidromod.com)*

### Resumo

O crescimento acentuado da quantidade de dados de observações e de previsões atualmente disponibilizados por diferentes instituições veio permitir que diferentes *stakeholders* e utilizadores do meio marinho tomem decisões baseadas em informação objetiva. O *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) representa um destes exemplos, publicando diariamente um conjunto de dados e observações meteo-oceanográficas de acesso livre que podem representar mais-valias importantes em termos de eficiência e segurança para diferentes operações no meio marinho.

Ainda assim a generalidade destes serviços ainda apresenta algumas dificuldades para uma utilização diária pelo utilizador comum. Estas barreiras têm a ver com a desadequação das escalas a que é prestada a informação e das respostas que fornecem face às necessidades efetivas dos utilizadores mas também com a dificuldade que o utilizador comum poderá sentir em aceder aos dados (formatos, processo de importação, etc.) e em conjugá-los com outras fontes de dados igualmente relevantes (medidas locais, meteorologia, movimento dos navios, etc.).

Com vista a eliminar estas barreiras e levar efetivamente a informação a quem dela precisa na forma e pelos meios que ela prefere, a HIDROMOD tem vindo a disponibilizar serviços centrados na divulgação da informação para diferentes utilizadores costeiros finais (navegação, segurança, operação em portos marítimos, alertas de poluição, simulação de trajetórias de derrames, etc.). Este serviço, para além de permitir um acesso simples e efetivo às previsões e observações do serviço *Copernicus* sem que o utilizador se tenha de preocupar com qualquer detalhe, disponibiliza igualmente previsões de outras instituições (ex. NOAA) e, muito importante, previsões de modelos numéricos de alta resolução, observações em tempo real.

Para o utilizador, a vantagem deste sistema é obter um serviço que lhe proporciona a informação de que ele necessita e que resulta da integração de diferentes conjuntos de dados através de um único ponto de acesso. Além disso, o *downscaling* dos modelos globais para a escala costeira possibilita a manutenção de um serviço de previsões que presta informações com escalas compatíveis com as atividades costeiras a que se destina.

O serviço é suportado pela plataforma AQUASAFE que é responsável pela centralização de toda a informação, controlo dos fluxos de informação, gestão das simulações dos modelos de previsão e finalmente pela publicação dos resultados em diferentes plataformas (desktop, web, mobile). A informação é prestada ao utilizador de modo fácil e intuitivo na forma de séries temporais, mapas, tabelas e relatórios.

**Palavras-chave:** *AQUASAFE, Copernicus, Operacional, alta resolução*

## **Introdução**

Durante os últimos anos observou-se um elevado aumento de dados meteo-oceanográficos disponibilizados por diferentes instituições permitindo a tomada de decisões focada em informação objetiva. No entanto, a grande parte destes serviços, mostra algumas dificuldades de acesso para um utilizador comum. A desadequação das escalas a que é prestada a informação às necessidades efetivas dos utilizadores como a dificuldade que o utilizador comum poderá sentir em aceder aos dados (formatos, processo de importação, etc.) e em conjugá-los com outras fontes de dados igualmente relevantes (medidas locais, meteorologia, movimento dos navios, etc.) são algumas das principais dificuldades.

Com vista a eliminar estas barreiras e levar efetivamente a informação a quem dela precisa na forma e pelos meios que ela prefere, a HIDROMOD tem vindo a disponibilizar serviços centrados na divulgação da informação para diferentes utilizadores costeiros finais (navegação, segurança, operação em portos marítimos, alertas de poluição, simulação de trajetórias de derrames, etc.). Este serviço, para além de permitir um acesso simples e efetivo às previsões e observações do serviço *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS), disponibiliza igualmente previsões de outras instituições (ex. NOAA e MeteoGalicia) e, muito importante, previsões de modelos numéricos de alta resolução e observações em tempo real.

A cadeia de serviços operacionais integra os dados e previsões disponibilizados por diferentes operadores (estações meteorológicas, boias ondógrafo, marégrafos, dados de satélite e radar, previsões globais e regionais, etc.) e previsões oceanográficas de alta resolução produzidas pela Hidromod sendo principalmente dirigido a utilizadores profissionais que deles possam tirar partido

para aumentar a segurança e eficiência das operações porque são responsáveis. O serviço prestado inclui a capacidade de: (1) aceder a dados em tempo real (se disponíveis); (2) disponibilizar várias soluções de modelos meteorológicos e oceanográficos; (3) disponibilizar relatórios de validação de modelos; (4) disponibilizar relatórios periódicos de auditoria sobre a qualidade do serviço.

A informação é personalizada de acordo com os requisitos dos utilizadores sendo distribuída através de uma base pública gratuita (principalmente para fins de divulgação) de serviços *premium* pagos que disponibilizam um serviço detalhado específico para o local de interesse. Os serviços *premium* englobam previsões de modelos meteorológicos e oceanográficos de alta resolução, dados locais não públicos, relatórios personalizados, alertas específicos, entre outros elementos.

Este sistema permite fornecer previsões em tempo real e previsões para os próximos dias permitindo assim otimizar o planeamento de operações, manter serviços de alerta precoce para condições meteorológicas e oceanográficas adversas em locais específicos, dar apoio a respostas a riscos ambientais (derrames de petróleo, missões de buscar e salvamento) monitorizar impactes na qualidade da água decorrentes de descargas costeiras, etc.

As principais vantagens prendem-se com a disponibilidade de melhores serviços de previsão, a centralização da informação num só ponto de acesso e com a redução dos riscos no processo de tomada de decisão. Outra das mais-valias do serviço é a manutenção dum sistema de validação que disponibiliza a comparação dos resultados dos modelos com as observações em diferentes escalas temporais: semestral (em auditorias), semanal (gráficos de análise gerados de forma automática) e em tempo real (desde que os dados sejam disponibilizados pelas estações de monitorização).

Toda a gestão da cadeia operacional é mantida pela plataforma AQUASAFE que é responsável por todas as tarefas desde a aquisição de dados à disponibilização da informação aos utilizadores.

## **Dados e Sistema Operacional**

A cadeia de serviços operacionais depende de diferentes conjuntos de dados e produtos operacionais fornecidos por diferentes provedores externos e em modelos de alta resolução implementados e mantidos pela HIDROMOD.

Como condições fronteiras, para os modelos de alta resolução operados em modo operacional, são utilizados os modelos globais. As condições atmosféricas utilizadas são geradas pelo modelo Global Forecast System (GFS) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) com atualizações a cada 6 horas, com uma resolução de 0.25°. De acordo com a região, são também utilizadas previsões meteorológicas locais de alta resolução, de outras instituições (por exemplo, MeteoGalícia). Para o forçamento dos modelos hidrodinâmicos (correntes, salinidade e temperatura da água) são utilizados os dados do Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

O sistema inclui ainda dados de várias estações de monitorização, provenientes de diferentes entidades (bóias ondógrafo, marégrafos, radar, estações meteorológicas, etc.).

### **Produtos CMEMS**

O programa Copernicus ([marine.copernicus.eu](http://marine.copernicus.eu)) nasceu do Tratado de Lisboa em 2007, sendo dividido em três componentes fundamentais: componente Espacial, componente *InSitu* e componente de Serviços. O CMEMS é o principal fornecedor externo de dados oceanográficos que contribui com dados (usados para produzir informações adaptadas ao utilizador e para validação de modelos de alta resolução) e com previsões globais e regionais. As soluções disponíveis variam entre os 1/12° para a solução global verticalmente discretizada com 50 camadas com um passo temporal horário (com exceção do parâmetro salinidade) e solução para a região Ibéria+Biscaia+Irlanda com uma resolução de 0.02° e com 70 camadas.

O CMEMS é também responsável pela distribuição contínua de observações de dados de deteção remota para todo o globo. Uma destas soluções é desenvolvida em conjunto com o Meteo France CMS, disponibilizando uma solução de deteção remota L4 da temperatura da superfície do mar. Recentemente, começaram a ser disponibilizadas observações remotas da intensidade do vento com uma resolução 0.25° a cada 6 horas, trazendo um novo nível de validação para um dos principais forçamentos dos modelos hidrodinâmicos.

### **Modelos de alta resolução**

A existência de fenómenos locais leva a necessidade de implementação de modelos de alta resolução que os consigam reproduzir. Fortes movimentos de *upwelling*, plumas de rios ou estuários, descargas estuarinas são exemplos que apenas os modelos de alta resolução conseguem reproduzir, quer a nível espacial como temporal. Consoante a necessidade e objetivo do utilizador, pode ser necessário realizar *downscaling* para resoluções na ordem dos metros. Para realizar este tipo de refinamento, é necessário recorrer ao melhor conjunto de dados disponíveis, em especial dados batimétricos de elevada resolução.

### **A plataforma AQUASAFE**

A plataforma AQUASAFE tem por objetivo tornar mais eficiente a gestão da cadeia de processos que suportam os serviços integrando dados em tempo real com ferramentas de previsão e diagnóstico. De acordo com os conceitos implementados no AQUASAFE, esta integração é feita gerindo de uma maneira uniforme os dados medidos (sensores e deteção remota) e os dados modelados.

Os diferentes formatos de dados utilizados pelas diferentes instituições (NOAA, CMEMS, dados locais, etc.) são convertidos para um único formato e indexados a uma base de dados (Figura 1).

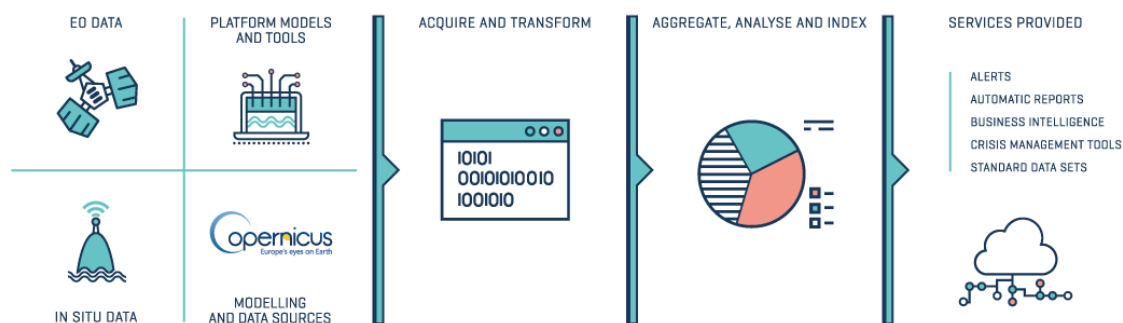


Figura 1 – Fluxograma esquemático do serviço descrito neste artigo baseado na plataforma AQUASAFE

## Interfaces com o utilizador

Existem diversas formas de disseminar a informação operacional (e.g. previsões de alta resolução, observações em tempo real). Estas formas vão desde relatórios enviados via email, aplicações móveis e páginas web culminando num cliente desktop que permite fazer operações complexas sobre os dados.

### Cliente desktop

O cliente desktop representa a forma mais completa de aceder e manipular a informação disponível no sistema. Este cliente apresenta um elevado grau de versatilidade podendo ser integralmente configurado pelo utilizador. Permite combinar de forma arbitrária séries temporais e mapas representando os dados selecionados pelo utilizador, adicionar novas fontes de dados, adicionar novos modelos, programar tarefas, produzir novos dados a partir da combinação dos existentes, criar indicadores de performance, configurar alertas, criar relatórios, entre outros *gadgets*, como mostra o exemplo da Figura 2.

### Cliente móvel

Através do cliente móvel, o utilizador pode aceder à informação que pretende em qualquer lugar e a qualquer hora. As previsões e registos das estações de monitorização estão em constante atualização de modo a disponibilizar as melhores soluções possíveis. A informação é disponibilizada em forma de gráfico de séries temporais, mapas e amostradores do valor atual (Figura 3).

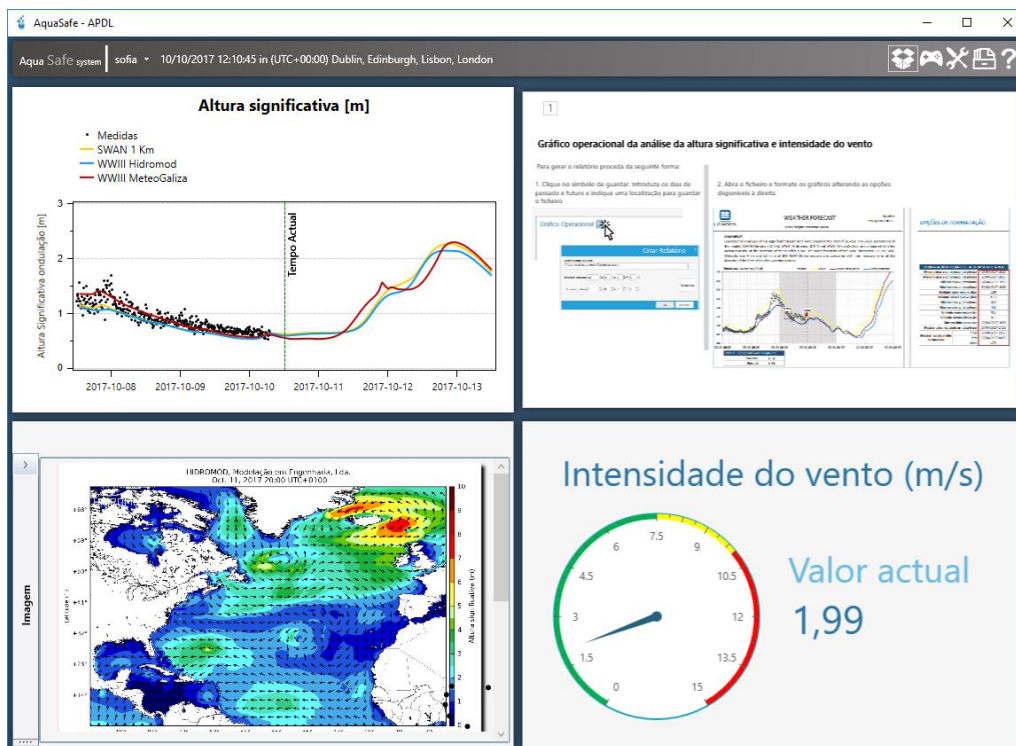


Figura 2 - Exemplo de um layout da aplicação do cliente desktop para o Porto de Leixões.

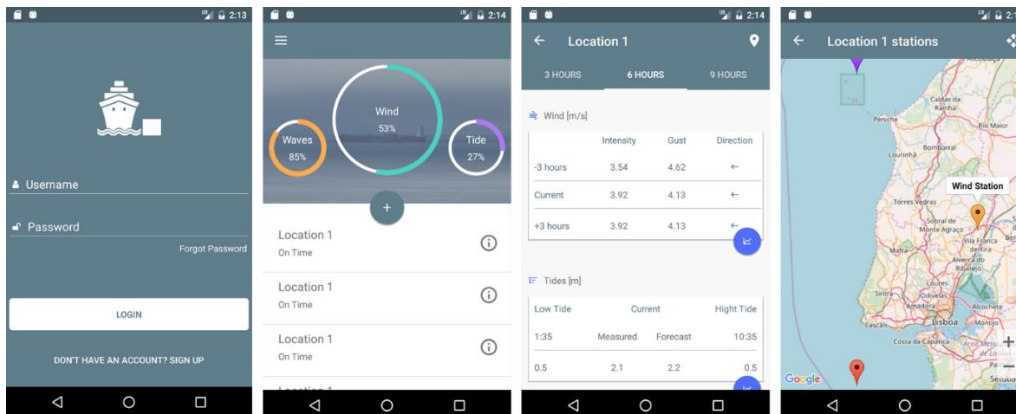


Figura 3 – Cliente móvel.

## Cliente web

Uma forma expedita de aceder à informação disponível no serviço é através dum cliente web. Este cliente acessível a partir do endereço [forecast.hidromod.com](http://forecast.hidromod.com) permite consultar parte da informação disponível em formatos predefinidos. O serviço web disponibiliza acesso a séries temporais em diferentes pontos, mapas com a evolução espacial de diferentes parâmetros e informações sobre a validação dos modelos.

## Tabelas resumo

Por vezes, os utilizadores recebem demasiada informação o que torna difícil a sua análise. De modo a sumarizar a informação, foram implementadas tabelas com as melhores previsões meteo-oceanográficas disponíveis, para diferentes locais e parâmetros (vento, agitação, temperatura do ar e água, etc.). As previsões são apresentadas para os próximos dias, de três em três horas, como mostra o exemplo da Figura 4. Clicando sobre cada uma das propriedades é possível consultar as previsões em forma de gráfico.

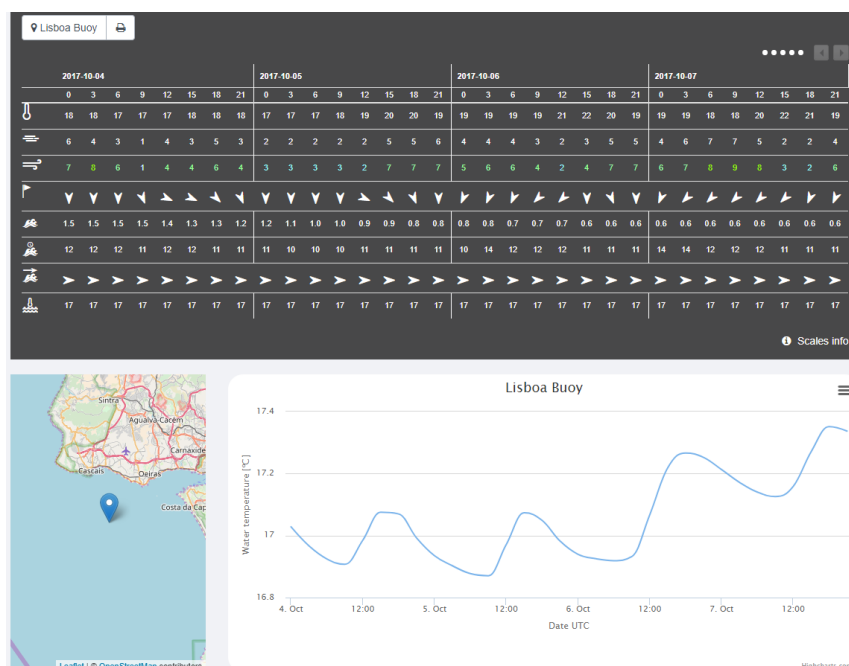


Figura 4 - Exemplo de uma tabela para Ponta Delgada (Açores)

## Observações vs múltiplas previsões

Para uma análise mais detalhada foi desenvolvido um gráfico dinâmico que contém múltiplas informações para cada propriedade e observações (nos locais onde existem estações de monitorização). Cada uma das séries pode ser adicionada ou removida do gráfico clicando sobre o respetivo nome na legenda do gráfico. Este tipo de informação tem como objetivo demonstrar a performance das previsões dos últimos 2 dias de modo a permitir ao utilizador ter ou não confiança nas próximas previsões que são fornecidas. A Figura 5 mostra a comparação do nível do mar medido no marégrafo com as previsões do modelo MOHID e a tabela de maré do Instituto Hidrográfico. Este gadget permite uma validação qualitativa das previsões quando existem dados em tempo real.

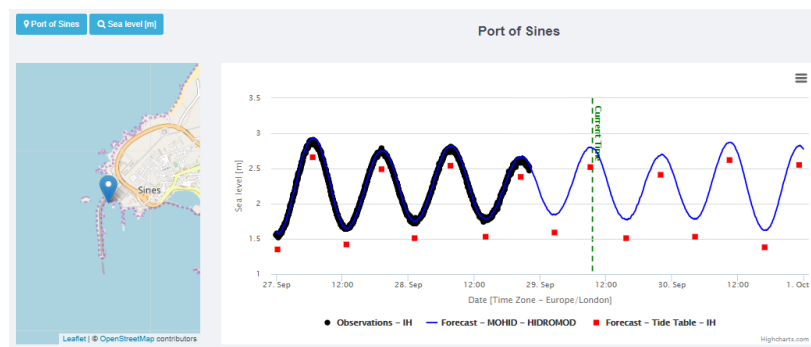


Figura 5 – Nível do mar no local do marégrafo de Sines: observações marcadas a preto; previsões a azul e tabela de maré (Instituto Hidrográfico) a vermelho.

## Mapas

Os mapas mostram a previsão em termo espacial ao longo dos próximos dias. Estes são produzidos para os principais parâmetros, utilizando as melhores soluções de acordo com a região apresentada. A Figura 6 mostra um exemplo de um campo de correntes para o porto de Leixões. As imagens são geradas a cada hora e atualizadas diariamente.

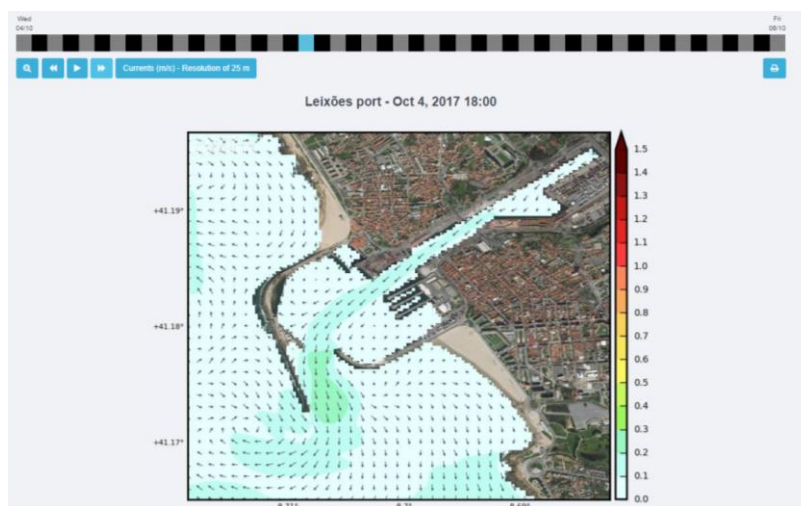


Figura 6 – Mapa da intensidade e direção da corrente para o porto de Leixões

## Relatórios personalizados

Os relatórios reúnem todos os elementos anteriores num formado texto distribuído de forma automática a diferentes utilizadores. As tabelas podem ser configuradas apresentando uma ou mais soluções, para um horizonte temporal até ao período disponibilizado pelos modelos e com o espaçamento temporal pedido pelo utilizador. O relatório é um agregador muito eficiente de toda a informação considerada indispensável pelo utilizador podendo ser consultado todos os dias através de um site da internet (atualizado a cada hora), mail ou telemóvel.



Vários tipos de alertas podem também ser configurados, assim como informação externa ao sistema como por exemplo informação sobre a movimentação dos navios no porto, fases da lua ou hora de todos os crepúsculos para os próximos dias. A Figura 7 mostra parte de um relatório que inclui uma tabela de previsões com a altura significativa, período de pico, direção e potência da onda de duas em duas horas para o primeiro dia e de três em três horas do segundo ao quarto dia. Na mesma tabela foram criados alertas amarelos e vermelhos (sombreado o valor) para quando a intensidade do vento e potência da onda atinge um dado patamar. A informação é também mostrada em forma de gráfico, com a comparação dos dados registados pela estação de monitorização.

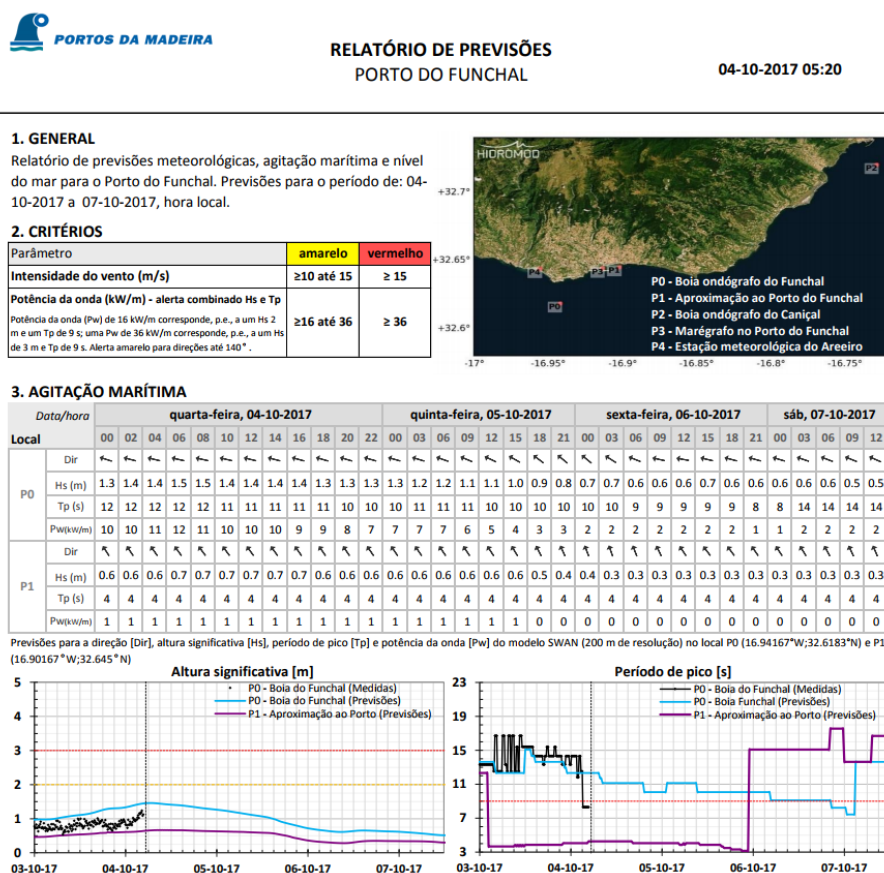


Figura 7 – Exemplo de uma parte de um relatório diário com previsões para os próximos quatro dias, composto por gráficos de séries temporais e uma tabela com alertas para a intensidade do vento e para a potência da onda.

## Validação

A validação é uma das principais mais-valias que o sistema apresenta. Estas são realizadas a uma escala de seis meses (em auditorias), de sete dias (gráficos de análise gerados de forma automática) e em tempo real (desde que as previsões sejam disponibilizadas por parte da estação de monitorização).

A validação semestral é efetuada no âmbito das auditorias regulares auditorias à qualidade do serviço permitindo identificar: (1) os níveis de acessibilidade e funcionalidade do sistema AQUASAFE; (2) o nível de eficiência da disponibilidade de todas fontes de dados; (3) a qualidade das previsões, validando as previsões contra as observações; (4) o nível de sucesso de envio dos relatórios enviados automaticamente para o cliente. A qualidade dos modelos é avaliada com base no cálculo de diferentes indicadores estatísticos como seja: R (Coeficiente de correlação), raiz do erro médio quadrático (RMSE), raiz do erro médio quadrático normalizado (NRMSE), erro médio (BIAS) e skill score (SKILL).

Diariamente é também efetuada uma validação dos últimos de sete dias para as principais propriedades meteorológicas e oceanográficas. Esta validação permite identificar possíveis problemas, como por exemplo, soluções com alteração do fuso horários ou correções nos níveis de referência dos marégrafos, por parte da fonte responsável pela disponibilização dos dados das estações de monitorização. A Figura 8 mostra a comparação das previsões do modelo com as observações para os últimos sete dias no local da boia ondógrafo de Sines.

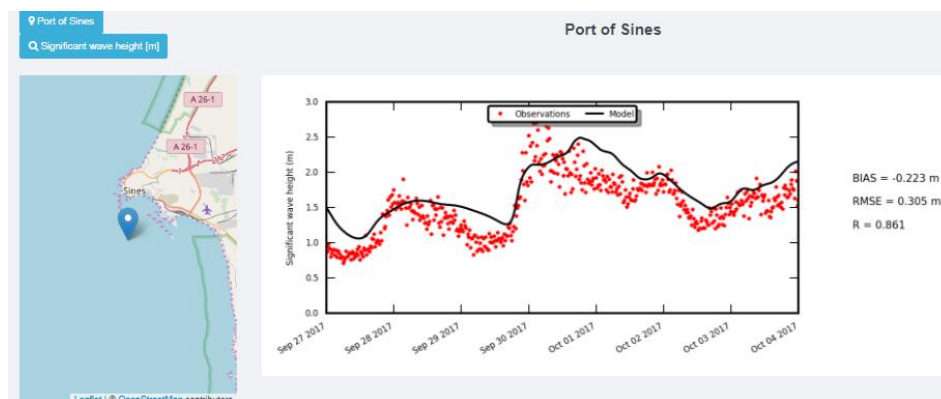


Figura 8 – Validação semanal da altura significativa no boia ondógrafo de Sines, com base nos indicadores estatísticos BIAS, RMSE e Coeficiente de correlação.

Para além de proceder a uma validação suportada por observações registadas em diferentes estações de monitorização o sistema inclui ainda a validação espacial a partir de imagens de satélite. Utilizando dados disponibilizados pelo CMEMS foi desenvolvida uma ferramenta que permite efetuar uma validação espacial e temporal, como mostra a Figura 9. Na parte superior são apresentadas as médias das observações e modelo. No canto inferior esquerdo mostra-se a diferença média e do lado direito os indicadores estatísticos R, BIAS e RMSE.

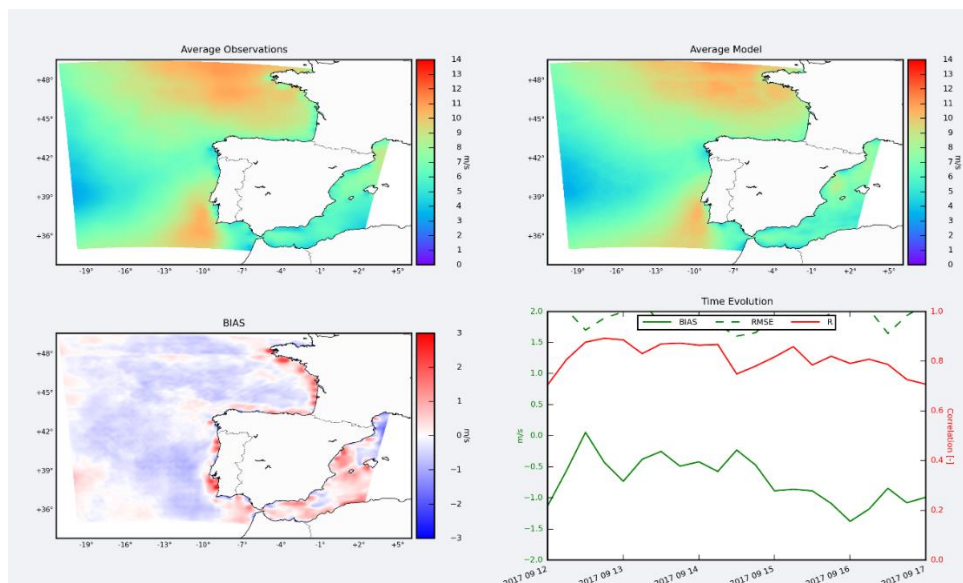


Figura 9 – Comparação da solução de satélite com as previsões do modelo para a intensidade do vento

## Conclusões

O serviço de informação de parâmetros meteo-oceanográficos permite reunir informação gerada por diferentes provedores num único sistema. As soluções dos modelos globais (CMEMS, NOAA, etc.) são disponibilizadas diretamente neste sistema, mas são também utilizadas como forçadores de modelos de alta resolução, que podem ser implementados para qualquer parte do mundo. Os modelos de alta resolução são fornecidos na versão *premium* assim como outro tipo de informação específico de região de estudo (como por exemplo, registos de estações de monitorização).

A informação é disponibilizada em forma de tabelas, gráficos e mapas. Nas tabelas são apresentadas as melhores previsões para um local; nos gráficos de séries temporais, para cada um dos parâmetros são mostradas todas as soluções existentes; os mapas são produzidos para diferentes soluções e são atualizados diariamente. Toda a informação visível em cada um destes elementos pode ainda ser reunida em relatórios personalizados. Os relatórios são altamente configuráveis de modo a apresentar toda a informação necessária e segundo uma estrutura delineada pelo utilizador.

Para completar este sistema, as previsões estão constantemente a ser validadas com as medições disponíveis. Esta contante validação é essencial para garantir a precisão das previsões fornecidas no sistema. A validação é realizada numa escala semestral (em auditorias), semanal (diariamente são validados os últimos 7 dias de performance do modelo em forma de gráfico) e em tempo atual (desde que os dados estejam disponíveis).