

SERVIÇOS DE PREVISÃO DE ALTA RESOLUÇÃO DE CONDIÇÕES METEO-OCEANOGRÁFICAS E DE EVENTOS DE POLUIÇÃO COSTEIRA

P. LEITÃO¹, J. LEITÃO², R. RIBEIRO³, A. SAMPAIO⁴, P. GALVÃO⁵, J. RIBEIRO⁶, A. SILVA⁷

RESUMO

Diversas instituições estão a disponibilizar, com base na plataforma AQUASAFE, um conjunto de serviços de previsão de alta resolução para diferentes zonas costeiras com especial enfoque nas operações portuárias e na prevenção de eventos de poluição costeira decorrentes de acidentes, descargas de rios, sistemas de drenagem urbana, instalações industriais ou de tratamento de águas residuais. A implementação e manutenção deste tipo de serviços implicam a existência duma infra-estrutura complexa, suportada pela plataforma informática já referida, que é responsável pela automatização do funcionamento de diferentes modelos de previsão, pela importação e formatação adequada de diferentes fontes de dados e pela geração de relatórios e alertas que estejam de acordo com as necessidades específicas de diferentes utilizadores. Em paralelo suporta a manutenção de serviços de auditoria que permitem antecipar e/ou corrigir eventuais anomalias e que garantem a qualidade e fiabilidade dos serviços prestados. Para além de garantirem o fornecimento de informação em locais precisos e às escalas requeridas, os serviços prestados disponibilizam informação de base de grande valia que garante igualmente o suporte à resposta em caso de eventos de poluição, permitindo simular a pedido as potenciais trajetórias e locais de deposição e/ou manter sistemas de alerta da qualidade da água. No âmbito desta comunicação será apresentada uma descrição da arquitetura do sistema e dos serviços que garantem atualmente previsões diárias a diferentes entidades em Portugal, Brasil, Estreitos de Malaca e Colômbia com especial enfoque no sistema que está sendo implementado no Sistema Estuarino de Santos-São Vicente (Brasil) em parceria

¹ Eng. Civil, Doutor em Eng. do Ambiente; Hidromod; Rua Rui Teles Palhinha, Nº 4, Piso1, Leião 2740-278 Porto Salvo, Portugal; paulo.chambel@hidromod.com, Telefone: +351 21 8486427.

² Eng. Civil, Doutor em Eng. Mecânica; Hidromod; jcleitao@hidromod.com.

³ Biólogo, Mestre em Ciênc. Ambiental e Professora; Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas Universidade Santa Cecília Rua Oswaldo Cruz, 277, Santos-SP, Brasil; renanribeiro@unisanta.br, Telefone: +55 13 3202-7100.

⁴ Eng.^a Civil, Mestre em Ciênc. Ambiental e Professora; Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas Universidade Santa Cecília; canastra@unisanta.br.

⁵ Mestre Ambiente,; Hidromod; pedro.galvao@hidromod.com.

⁶ Geofísico; Hidromod; joao.ribeiro@hidromod.com.

⁷ Eng. Civil, Doutor em Eng. Mecânica; Hidromod; adelio@hidromod.com.

com a UNISANTA (Universidade Santa Cecília, Brasil) para fornecer serviços de alerta de qualidade da água nas praias e estuário e suporte à navegação.

Palavras-chave: Dispersão; correntes; ondas; operacional; portos; previsão; zona balnear.

1. INTRODUÇÃO

Tem sido feito um esforço mundial muito importante na implementação de sensores em zonas costeiras que permitem o acesso a dados em tempo real. Um sinal claro desse esforço é o *Global Sea Level Observing System* (<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>) que permite o acesso a 794 marégrafos (a maioria em tempo real ou em quase tempo real) espalhados por todo o mundo pertencentes a 136 instituições. Este número de marégrafos mostra o grande investimento que diversos países têm feito nas suas redes de monitorização costeira. Para além de marégrafos existem diversas redes de carácter nacional que disponibilizam dados de ondas (e.g. boias ondógrafos) e correntes (e.g. ADCP's, HF-Radar). Paralelamente, instituições públicas, grupos de investigação e empresas de consultoria têm implementado e validado uma grande variedade de modelos numéricos no âmbito de projetos científicos e estudos de mais diversa natureza. O investimento nesta área, apesar de mais difuso, também tem sido bastante significativo.

Os Sistemas de Observação do Oceano Costeiro (SOOC), em inglês, *Coastal Ocean Observing Systems*, surgem neste contexto como uma forma de potenciar os investimentos feitos ao nível das redes de sensores e da modelação numérica. Este tipo de sistemas visa disponibilizar de uma forma eficiente aos operadores focados em atividades costeiras específicas (e.g. portos, empresas de saneamento, armadores de navios, proteção civil, praticantes de desportos náuticos) dados meteo-oceanográficos, medidos e modelados, em tempo real. Um SOOC, na sua versão mais simplista, pode ser definido como uma cadeia de processos que permite disponibilizar dados medidos em tempo real e em alguns casos correr de forma periódica em modo de previsão e/ou diagnóstico modelos numéricos. Estes modelos devem ser validados de forma periódica. Um aspeto crítico é a disseminação de resultados também em tempo real via plataformas (e.g. web, mobile) e formatos (e.g. imagens) de fácil acesso para os utilizadores finais.

De uma forma geral, os SOOC tem sido promovidos por instituições com uma capacidade muito significativa tanto em termos técnicos como financeiros como é o caso da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration* dos Estados Unidos) ou da iniciativa MyOcean na Europa. Um dos grandes desafios atuais é a democratização dos sistemas de modelação operacional costeiros. Neste trabalho é descrita a plataforma AQUASAFE, desenvolvida pela empresa HIDROMOD, que visa a democratização referida anteriormente. Como exemplo, é apresentada a implementação de um SOOC ao Sistema Estuarino de Santos-São Vicente no âmbito de um projeto liderado pela UNISANTA.

2. OBJETIVOS

Apresentação de uma metodologia materializada na plataforma AQUASAFE que permite gerir de forma automática serviços de previsão de alta resolução focados em diferentes

atividades costeiras operacionais, nomeadamente: operação portuária, previsão de qualidade de águas balneares, emergência marítima (apoio a navios em necessidade, derrames de hidrocarbonetos, busca e salvamento).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo será descrita a plataforma AQUASAFE do ponto de vista da arquitetura de programação e dos conceitos que estão na sua origem. De forma a ilustrar a potencialidade da plataforma é apresentada a estratégia seguida na sua implementação ao Sistema Estuarino de Santos-São Vicente e o tipo de respostas operacionais que são possíveis.

3.1 Plataforma AQUASAFE

Atualmente é comum verificar-se a disponibilidade de grandes quantidades de dados adquiridos em tempo real por diferentes tipos de sensores (e.g. marégrafos, boias ondógrafo, radares-HF, estações meteorológicas, radares de precipitação, udómetros). Para estes dados se transformarem em informação útil é necessário tratar, organizar e reportar. A plataforma AQUASAFE (distinguida pela IWA) permite gerir diferentes fontes de dados e modelos numéricos usados para fornecer as previsões de alta resolução, controlar a interface com os utilizadores através de diferentes clientes (desktop, web, móvel) e emitir relatórios e alertas automáticos. A plataforma AQUASAFE disponibiliza igualmente capacidades de tratamento e cruzamento de dados que podem ser usadas para melhorar o conhecimento dos sistemas. Também é possível integrar toda a informação recolhida no âmbito de campanhas de monitorização de qualidade da água e reportar essa informação e procurar relações com outras variáveis do sistema (precipitação, caudal, contaminação fecal).

3.1.1 Arquitetura

A plataforma AQUASAFE é baseada numa filosofia Cliente-Servidor sendo assim composta por duas componentes principais: AQUASAFE *server* e AQUASAFE *client*. O AQUASAFE *server* permite armazenar e indexar dados gerados internamente pelo sistema (modelos) ou através de ligações externas (e.g. FTP, Open DAP, web services). Além do papel de distribuidor de dados permite agendar uma grande diversidade de tarefas como correr modelos, criar relatórios, etc.

Existem diversos clientes AQUASAFE focados em diferentes tipos de contextos: utilizador (e.g. modelador, operador, público em geral), plataforma tecnológica (desktop, web, mobile). Um dos clientes Desktop é focado na simulação de trajetórias de derrames de hidrocarbonetos (Fernandes *et al.*, 2013). Um outro cliente permite via web a um utilizador simular descargas de contaminação fecal (Leitão *et al.*, 2013). Foi também desenvolvido um cliente mobile focado nas necessidades de todos os técnicos associados à atividade portuária.

No presente artigo via-se dar especial destaque a um cliente desktop que foi desenvolvido com o objetivo de disseminar dados em tempo real em salas de operações. Este AQUASAFE *client* permite ao utilizador ter acesso ao servidor para interpretação de dados em tempo real ou a análise de períodos específicos. Adicionalmente para os utilizadores com privilégios de administração permite a configuração do servidor. As funcionalidades (e.g. gis, gráficos, relatórios) foram encapsuladas em controlos que podem ser agrupados pelo administrador em espaços de trabalho. Cada espaço de trabalho pode ser atribuído a um utilizador individual ou a um grupo de utilizadores (Figura 1).

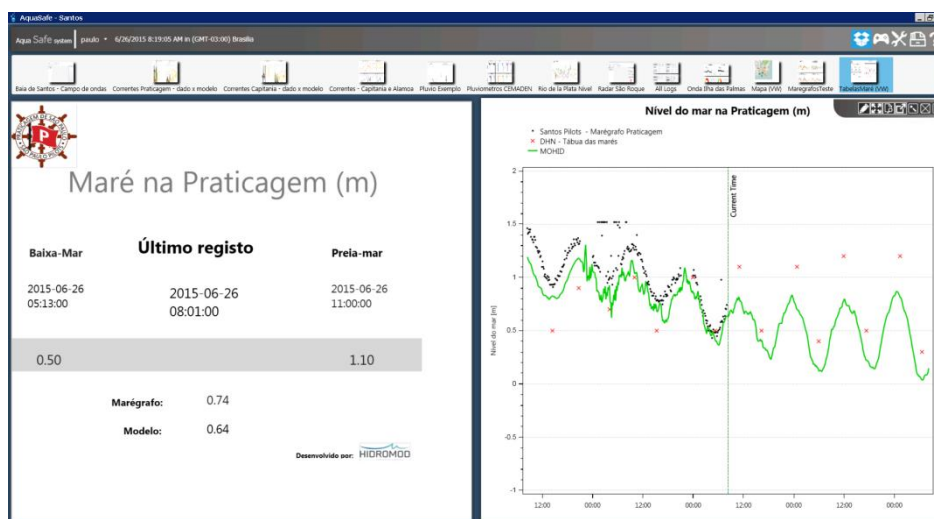


Figura 1. Exemplo de um espaço de trabalho focado na previsão de nível no Estuário de Santos. Gráfico XY: medição (pontos a preto), modelo hidrodinâmico (linha verde) e tabela de maré (pontos vermelhos).

A lista de utilizadores da plataforma AQUASAFE inclui empresas das áreas da energia (EDP, Portugal) e das águas (SimTejo em Portugal, PAEH em Oman), portos (Leixões, Viana e Setúbal em Portugal e Santos no Brasil), administração pública (APA, DGRM, Direcção Geral Marítima Colombiana, INTECMAR, Galiza), Instituições Internacionais (*International Maritime Organization*), Universidades (Lisboa, Algarve, Santa Cecília, Brasil), empresas de consultoria informática (GMV), serviços de navegação (NAVTOR), página de internet dedicada ao surf (BEACHCAM).

3.1.2 Fontes de dados

A plataforma AQUASAFE é um agregador de fontes de dados em tempo real. Estas fontes de dados podem ter origem em dados medidos ou dados resultantes de simulações numéricas. As fontes de dados baseadas resultados de modelos numéricos podem ser externas ou internas. Uma fonte de dados é interna quando se tratam de resultados de modelos numéricos corridos pela plataforma AQUASAFE. Todas as fontes de dados medidos são consideradas fontes externas.

O AQUASAFE liga-se às fontes externas através de *plug-in's*. Atualmente o AQUASAFE tem *plugin's* para se ligar a uma grande variedade de fontes de dados via web: MyOcean, NOAA (via ficheiro e OpenDAP), GLOSS, Instituto Hidrográfico, Puertos Del Estado,

CPTEC, etc. Via rede interna a plataforma pode-se ligar a sistemas SCADA ou apontar diretamente, via SQL *queries*, especificadas pelo utilizador, para séries temporais guardadas em base dados externas à plataforma AQUASAFE.

3.1.3 Previsões de alta resolução

As fontes de modelos externos normalmente providenciam soluções de escala global ou regional. O AQUASAFE permite correr uma grande variedade de modelos (WWIII, SWAN, MOHID Water, Delft3D) que permitem refinar soluções oceanográficas (correntes e ondas) de grande escala via modelos encaixados (Figura 3). Adicionalmente permite correr modelos hidrológicos (SWAT, MOHID Land) e de redes de drenagem (SWMM e SewerGEM) que permitem prever caudais afluentes à zona costeira. Estas afluências têm um papel fundamental na estratificação do meio e na qualidade da água.

3.1.4 Disseminação

Em termos de disseminação de resultados a plataforma AQUASAFE tem uma grande variedade de soluções. Os dados em bruto podem ser visualizados em tempo real via os clientes AQUASAFE na forma de mapas, gráficos XY, diagramas sinóticos. O utilizador pode também criar alertas ou gerar novas séries temporais resultante da combinação de séries temporais medidas ou simuladas. Os dados em bruto, alertas ou séries temporais compósitas podem ainda ser disseminados via relatórios Excel gerados e enviados por *email* de forma automática. Os *templates* destes relatórios são definidos pelos utilizadores. Os dados disponíveis na base de dados do AQUASAFE *server* podem também ser disseminados via *web services* de forma a alimentar clientes AQUASAFE ou clientes desenvolvidos por parceiros externos.

3.1.5 Validação

A implementação da plataforma AQUASAFE tem normalmente um serviço de validação que tem como componente central relatórios de auditoria semestrais que visam por lado avaliar o grau de acessibilidade dos dados, a robustez dos processos automáticos e validar quantitativamente as previsões disponibilizadas. O serviço de validação também inclui geração e envio automático de relatórios semanais onde é quantificado o erro das previsões na última semana. Por fim, são publicados gráficos XY em tempo real onde são validados qualitativamente as últimas previsões disponíveis por comparação visual com os últimos dados medidos.

3.2 Sistema Estuarino de Santos-São Vicente

O Sistema Estuarino de Santos-São Vicente está situado na Região Metropolitana da Baixada Santista (Figura 2), criada através de Lei Complementar Estadual (SÃO PAULO, Lei Complementar nº 815 de 30 de Julho de 1996). Localizado no centro-sul do litoral do estado de São Paulo, abrange os municípios de Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá, Praia Grande, São Vicente, Cubatão, Santos, Guarujá e Bertioga.

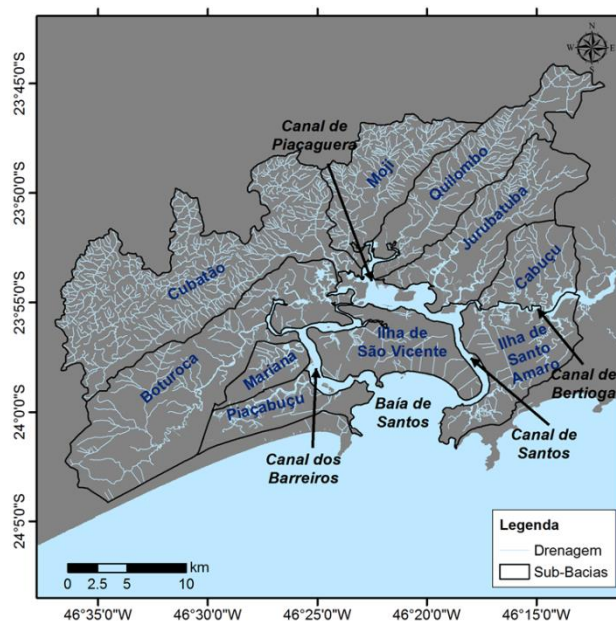


Figura 2. Área de estudo com a localização das sub-bacias que drenam para a região do sistema estuarino de Santos – São Vicente, bem como de seus principais canais naturais. Fonte: Adaptado de Mancuso e Ferreira (2007)

No estado de São Paulo, a presença marcante da Serra do Mar constitui-se em um divisor natural entre a drenagem atlântica e o sistema hidrográfico do planalto, configurando uma zona costeira estreita com pequena planície sedimentar, só alargada ao sul, no vale do único rio costeiro de maior porte, o Rio Ribeira de Iguape.

Os rios que drenam a Baixada Santista são acidentados em seu curso superior, devido à declividade natural da Serra do Mar, e podem apresentar-se meândricos no curso inferior por atravessarem as planícies sedimentares características dessa parte do litoral. Devido à proximidade da Serra do Mar esses rios são poucos extensos e de alta competência, destacando-se na área de interesse os rios Cubatão, Boturoca, Moji, Quilombo e Jurubatuba. Além dos rios, a região apresenta um sistema de canais naturais, dentre os quais se destacam o canal de Santos, São Vicente (Barreiros), Bertioga e Piaçaguera que apresentam pontos de alargamento, como Largo do Canéu, Largo de São Vicente, Largo do Candinho e Largo da Pompeba.

O clima da região da Baixada Santista pode ser caracterizado como clima tropical com temperaturas médias no mês mais frio maiores que 18°C, estação invernal ausente e forte precipitação anual com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano. A proximidade da Serra do Mar associada à influência de frentes frias, é responsável pelos altos índices pluviométricos da região, segundo Monteiro (1973) a pluviosidade anual média situa-se entre 2000 - 3000 mm, sendo o verão o período mais chuvoso e o outono o menos chuvoso. De acordo com os dados da estação meteorológica localizada na Base Aérea de Santos, durante os anos de 2003 a 2008 a temperatura máxima média foi de 26,3°C e a mínima média de 19,3°C com média anual igual a 23,5°C. A pressão atmosférica média foi de 1.015,6 mb e a umidade relativa média foi de 75,9% (Schmiegelow, 2009).

A maré dos canais estuarinos é irregular, de carácter misto e semidiurna, com período de 12h 42 min. A amplitude média de sizígia é de 1,23 m e a de quadratura 0,24 m (para o Porto de Santos). As frentes frias (frequentes na região, especialmente no inverno), produzem alterações no nível médio da maré, que podem ultrapassar 0,5 m (Harari *et al.*, 1999).

Afonso (2006) descreve que o histórico de ocupação na Baixada Santista se deu primeiramente pela fundação de vilas portuárias. No final do século XIX com a construção da ferrovia São Paulo Railway a região se desenvolveu com o incremento das atividades portuárias e a construção do polo industrial de Cubatão. As características geomorfológicas permitiram que extensas áreas florestadas fossem mantidas, principalmente as localizadas nas porções territoriais mais desfavoráveis a urbanização, como áreas íngremes da Serra do Mar, os manguezais situados junto aos canais estuarinos e as áreas cobertas por vegetação de restinga, situadas no interior da planície litorânea, distantes das praias e da faixa costeira já urbanizada e dos principais eixos de urbanização. Ainda segundo a autora, 40,3% da área da Baixada Santista é coberta por mata atlântica; 10,6% por vegetação de restinga; e 8,8% por manguezais.

Entretanto este modelo de desenvolvimento económico aliado à falta de planeamento e infraestrutura ocasionou a ocupação desordenada em áreas periféricas. Segundo levantamento do PRIMAH (2005), todos os municípios da Baixada Santista possuem habitações desconformes dentro de áreas de preservação permanente, sendo que grande parte dessas habitações estão localizadas nas margens dos rios ou sobre áreas de manguezais, assim contribuindo com descargas diretas de esgoto doméstico nos rios e estuários da região. Segundo dados do censo demográfico do IBGE (2000), a população da Baixada Santista é de 1.476.820 habitantes. Segundo levantamento realizado por Sampaio (2010) baseado no mesmo censo demográfico, a população residente na bacia hidrográfica que contribui para o Sistema Estuarino de Santos-São Vicente é de 1.087.273 habitantes. Ainda de acordo com a autora aproximadamente 21% dessa população está em áreas irregulares.

Ao longo do Canal de Santos fica localizado o Porto de Santos. Este é o principal porto brasileiro. A área de influência económica do porto concentra mais de 50% do produto interno bruto do país e abrange principalmente os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Aproximadamente 90% da base industrial paulista está localizada a menos de 200 quilómetros do porto santista. O Complexo Portuário de Santos responde por mais de um quarto da movimentação da balança comercial brasileira. Os produtos mais movimentados são o açúcar, soja, carga contentorizada, café, milho, trigo, sal, polpa cítrica, suco de laranja, papel, automóveis, álcool e outros granéis líquidos.

3.3 Implementação do AQUASAFE no Sistema Estuarino de Santos-São Vicente

A implementação da plataforma AQUASAFE no Sistema Estuarino de Santos-São Vicente teve desde da primeira hora como objectivo de criar um SOOC de referência no Brasil. Esta implementação foi coordenada pela UNISANTA que adicionalmente ficou responsável pela implementação dos modelos hidrodinâmicos, qualidade da água e de saneamento e sua validação. Toda a configuração da ferramenta ao nível da configuração dos espaços de

trabalho e relatórios automáticos e manutenção operacional do AQUASAFE server. A flexibilidade da plataforma AQUASAFE permitiu ao SOOC do Sistema Estuarino de Santos-São Vicente beneficiar do conhecimento da UNISANTA acumulado ao longo de quase 20 anos em termos de modelação numérica e dos processos que condicionam a qualidade da água. A HIDROMOD ficou responsável pela instalação do AQUASAFE server e de corrigir todos os problemas reportados pela equipa local e implementação em modo de previsão o modelo de agitação costeira. Um aspeto crítico neste tipo de sistemas trata-se na disseminação dos resultados de forma a ter impacte na operação dos atores locais. Este trabalho passa por instalação dos clientes AQUASAFE e por ações de formação/divulgação de forma a informar das potencialidades do sistema. Este trabalho tem sido levado a cabo também pela UNISANTA.

3.3.1 Mapeamento de fontes de dados externas

Numa primeira fase foram identificadas as fontes de dados públicas que disponibilizam em tempo real dados para a zona de interesse. Os seguintes sensores foram ligados em tempo real à plataforma AQUASAFE:

- CEMADEN: 33 udómetros;
- CPTEC: Radar de precipitação de São Roque;
- GLOSS: 4 marégrafos (nenhum local, 3 costa Argentina e 1 Brasil, Salvador). Estes marégrafos são utilizados para validar o modelo de larga escala. Em tempo real só existem dois marégrafos disponíveis via GLOSS: Salvador e Fortaleza ;
- Comando da Aeronáutica: Estação meteorológica (Base Aérea de Santos);
- Imagens de satélite de temperatura superficial do mar de escala regional do tipo L3 e L4 disponibilizadas via projeto MyOcean (SST_GLO_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_010 e SST_GLO_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_001).

De forma a complementar os sensores de acesso público a UNISANTA assinou um convénio de partilha de resultados com a Praticagem (pilotos) do Porto de Santos. Este convénio permitiu ligar ao AQUASAFE os seguintes sensores:

- Boia ondógrafo (Baía de Santos);
- 4 marégrafos (Baía e Canal de Santos);
- 4 ADCP's (Canal de Santos).

Em termos de fontes externas de modelos o AQUASAFE Santos faz o *download* periódico das previsões globais MyOcean (GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHYS_001_002 - nível, correntes, temperatura e salinidade). As previsões do MyOcean são complementadas com a solução global de maré FES2012. Em termos de previsões atmosféricas é feito o *download* periódico das previsões globais disponibilizadas pela NOAA (GFS) e das previsões regionais publicadas pelo CPTEC.

3.3.2 Cadeia de modelos numéricos

Os modelos de escala global/regional são por sua vez utilizados para definir as condições de fronteira de modelos hidrodinâmicos e de ondas de escala local que permitem disponibilizar previsões de alta resolução na zona de interesse (passo espacial da ordem

dos 50 m). Estas previsões de alta resolução são obtidas correndo uma cadeia de modelos interdependente em termos de processos e de escalas (Figura 3). Os modelos de ondas WWIII e SWAN são corridos utilizando uma cadeia de modelos encaixados que permite refinar de forma bastante detalhada a agitação na Baía de Santos. Estas previsões permitem previsões de agitação à entrada do Canal de Santos (Figura 2) que são muito importantes para a operação portuária. Uma metodologia semelhante é seguida na implementação do modelo hidrodinâmico MOHID onde é corrido uma cadeia de modelos encaixados em que na fronteira aberta do primeiro nível é imposta a solução MyOcean (maré meteorológica) + FES2012 (maré astronómica). Em termos de forçamento atmosférico o modelo é forçado com GFS+CPTEC. Uma solução compósita é construída em que é dada prioridade no espaço e no tempo à solução CPTEC, por ter maior resolução espacial. Esta maior resolução espacial permite reproduzir de forma mais precisa o efeito da Serra do Mar sobre a circulação atmosférica local.

A simulação da qualidade da água (indicadores fecais) é também prevista com o modelo MOHID havendo duas escalas de interesse: escala do estuário e praia de Santos. À escala do estuário as previsões visam suportar o município e a empresa SABESP na otimização do programa de monitorização e análise dos dados recolhidos. À escala da Praia de Santos são simulados vários cenários de descarga de caudal na praia com origem nos canais de drenagem de forma a suportar as ações de abertura/fecho que permitam ao mesmo tempo minimizar os impactes relativos a inundações e à contaminação fecal na praia. Os cenários de descarga de caudal na praia de Santos são simulados correndo o modelo de rede de saneamento SWMM para diferentes cenários de funcionamento das comportas (abertura/fecho). A previsão da dispersão na praia dos indicadores de contaminação fecal é feita impondo na condição de fronteira com terra do modelo MOHID os caudais simulados pelo modelo SWMM.

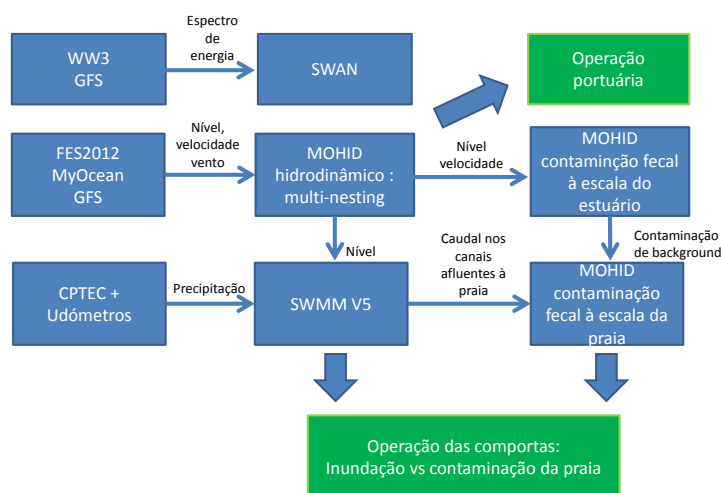


Figura 3. Cadeia de modelos corridos pela plataforma AQUASAFE para o caso do estuário de Santos.

3.3.3 Disseminação dos resultados junto dos atores locais

O principal objetivo do SOOC do Sistema Estuarino de Santos-São Vicente é permitir aos atores locais terem operações mais eficientes e seguras (e.g. abertura de comportas, programas de monitorização da qualidade da água, operação portuária). O objetivo é claro

mas a sua execução obriga a que rotinas já muito consolidadas pelos atores locais sejam alteradas. Esta mudança obriga a um trabalho persistente de divulgação, formação, suporte e monitorização que está a ser levado a cabo pela UNISANTA numa primeira fase focado no Município de Santos, SABESP e Praticagem do Porto de Santos. Foram instalados nestas instituições o AQUASAFE *client* na sua versão desktop com o objetivo de sensibilizar os técnicos para as vantagens de terem acesso a dados medidos em tempo real e previsões de alta resolução. No decorrer do projeto o AQUASAFE *client* será instalado também para outras Prefeituras Municipais, bem como para Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

4. RESULTADOS

A primeira versão do SOOC do Sistema Estuarino de Santos-São Vicente foi apresentada aos utilizadores finais no início de 2015. Numa primeira fase em termos de validação o enfoque foram os modelos de ondas e hidrodinâmico de alta resolução. Em termos de operação portuária as previsões de alta resolução podem já ser consultadas em tempo real na sala de operações da Praticagem de Santos. O modelo de previsão de contaminação fecal encontra-se em fase de validação.

4.1 Validação e disseminação das previsões meteo-oceanográficas de alta resolução

A maré no Sistema Estuarino de Santos-São Vicente tem uma variabilidade bastante complexa apresentando uma maré meteorológica com uma amplitude, associada a eventos persistentes ao longo do ano, da mesma ordem de grandeza da maré astronómica. O modelo MOHID é corrido em modo de previsão diariamente desde Março de 2015 e apresenta um elevado acerto com os dados medidos. Em termos estatísticos, durante o período entre Março e Junho de 2015, as diferenças entre o modelo e o marégrafo apresentam um bias de -7,7 cm, um RMSE de 14 cm (9,6 %) e uma correlação de 0,95. O RMSE unbias é de 11,7 cm (8%). Para o mesmo período a altura significativa apresenta um bias de 13,7 cm, um RMSE de 22,9 cm (18%) e uma correlação de 0,83. O RMSE unbias é 18,4 cm (14,6%).

No processo de disseminação das previsões foram configurados dois tipos de relatório em Excel que são gerados e enviados de forma automática para os parceiros do projeto e para uma primeira seleção de utilizadores finais (Figura 4). Um dos relatórios está focado na disseminação de previsões diárias e outro na validação quantitativa semanal das previsões. O relatório focado na disseminação das previsões disponibiliza os resultados em forma de tabela e é inspirado nas previsões de larga escala disponibilizadas pelo *site* WindGuru que é uma referência nos desportos náuticos.

O elevado acerto das previsões de alta resolução de ondas, níveis e correntes obtidas logo na primeira fase de implementação do sistema acelerou o processo de disseminação dos resultados junto da atividade portuária. A Praticagem de Santos (entidade responsável pela entrada em segurança no porto de Santos dos navios) já acede de forma operacional as previsões na sua atividade diária (Figura 5).

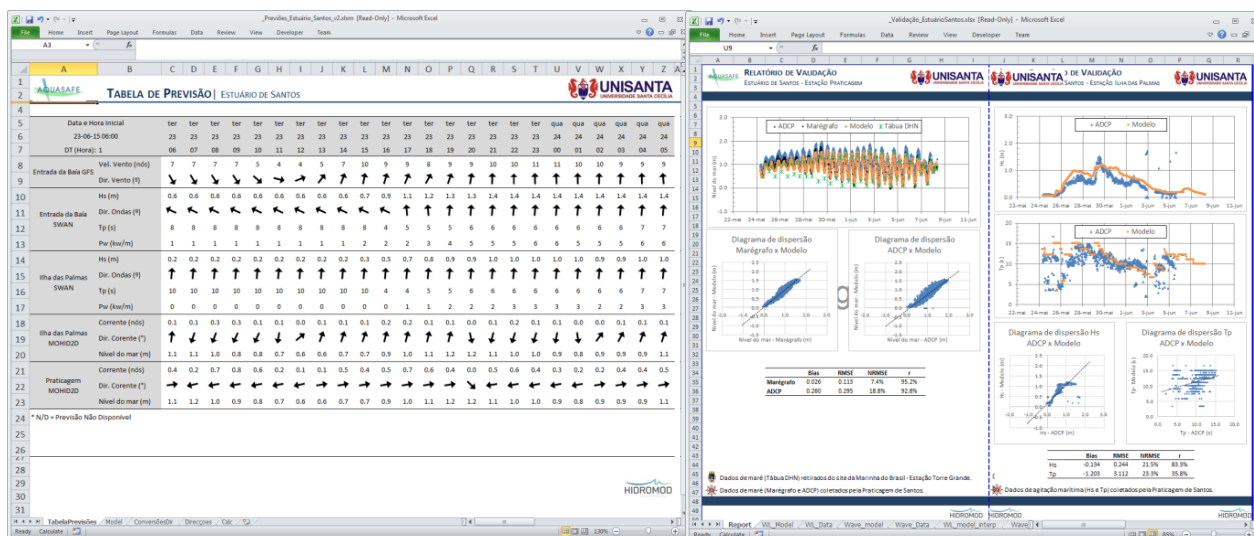


Figura 4. Exemplos de relatórios de Excel gerados e enviados de forma automática pela plataforma AQUASAFE (figura do lado esquerdo – previsões diárias em tabela, figura do lado direito – comparação das previsões com dados medidos em tempo real e parâmetros estatísticos que quantificam as diferenças: bias, rmse, correlação).



Figura 5. Presidente da Praticagem do Porto de Santos (Cláudio Paulino) mostrando resultados da previsão de ondas (altura significativa e período) para Baía de Santos à entrada do Canal de Santos (fonte: <https://www.facebook.com/praticagem.maraberto>).

4.2 Previsão da contaminação fecal do meio receptor

A Ilha de São Vicente tem seis canais de drenagem urbana com um sistema comportas que permanecem fechadas a maior parte do tempo. A água retida por essas comportas é captada por interceptores e direcionado para a EPC de Santos, entretanto em eventos de pluviosidade intensa essas comportas são abertas ocasionando o escoamento das águas para a região das praias e Baía de Santos, podendo afetar de maneira significativa a

balneabilidade nessas regiões. O modelo de previsão de contaminação fecal baseado no sistema MOHID complementado com o modelo de drenagem SWMM para prever cenários de descarga de caudal com origem nos canais de drenagem encontra-se em fase de testes (Figura 6).

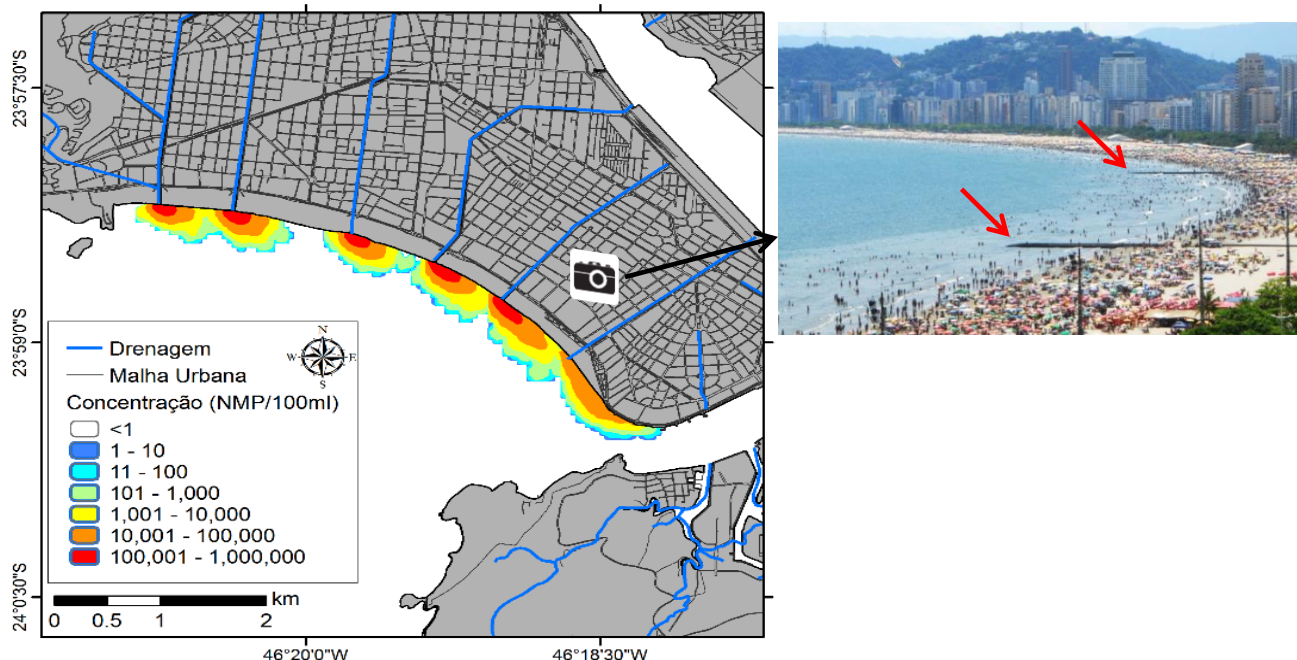


Figura 6. Resultados preliminares do modelo de previsão da contaminação fecal em função da abertura das comportas (à esquerda), trecho da Praia de Santos durante o final de semana, com destaque (em vermelho) de dois canais de drenagem (à direita, fonte: <http://noticias.uol.com.br/>).

5. DISCUSSÃO

5.1 Disseminação eficaz

Em PIANC (2012) é afirmado que “Um sistema de previsão só se torna bem-sucedido se o resultado é comunicado de forma eficiente e célere aos utilizadores finais. Esses utilizadores têm necessidades diferentes o que pode levar a requerer diferentes tipos de dados da previsão. Na sala de operações de um Porto, por exemplo, uma previsão detalhada pode ser exigida, incluindo parâmetros meteorológicos e hidrodinâmicos ao longo de todo o porto. Enquanto um piloto na ponte de um navio só precisa de informação específica ao longo da trajectória que tem que percorrer para entrar no porto.” Esta constatação é extensível a todos os sistemas de previsão que visem suportar operações complexas (e.g. gestão de uma rede de saneamento, de uma ETAR, sistemas de emergência costeiros, etc.). O AQUASAFE foi desenhado desde a sua génese para ser capaz de se adaptar às necessidades de cada utilizador de forma a ser possível que cada utilizador tenha a informação que quer. Esta é uma condição essencial, no entanto, não é suficiente. Adicionalmente é preciso também identificar o que o utilizador “quer”. Muitas das vezes os utilizadores têm rotinas e processos de decisão já muito consolidados recorrendo à experiência acumulada e/ou previsões de grande escala largamente disseminadas (e.g.

GFS via WinGuru). Para os resultados de um SOOC terem impacte na operação diária dos atores locais é preciso delinear uma estratégia que tem que passar por diferentes etapas:

- Avaliação de necessidades genéricas;
- Primeira disseminação dos resultados do SOOC formatados o mais possível à medida da avaliação das necessidades genéricas já levantadas;
- Plano de formação;
- Monitorização de dificuldades de utilização dos resultados do SOOC e levantamento de necessidades específicas;
- Disseminação dos resultados do SOOC de forma robusta adaptados às necessidades de cada utilizador.

5.2 Arquitetura do *software*

Tradicionalmente o fluxo de dados associados à implementação de um SOOC é desenvolvido, à medida, por técnicos com experiência em modelação numérica e em desenvolvimento de *software* de cariz científico. O desenvolvimento é normalmente feito utilizando um encadeamento de *scripts* que são executados de forma periódica. Esta abordagem tem como grande vantagem não necessitar conhecimentos avançados de informática. Todavia, tem como principal desvantagem não seguir padrões de desenvolvimento de *software* robustos que permitam a sua fácil reutilização em implementações com diferentes constrangimentos e necessidades específicas por parte do utilizador final. A plataforma AQUASAFE visa ser uma alternativa ao modo tradicional de gerir o fluxo de processos e dados associados aos SOOC. O AQUASAFE permite gerir os processos de recolha de dados externos, armazenamento, execução de modelos e ferramentas de análise e disseminação de resultados de forma mais eficiente que as abordagens tradicionais. Esta maior eficiência deve-se à sua arquitetura de cliente-servidor e permitir adicionar novas fontes de dados externas e novos modelos numéricos *via plugin's*. A disseminação de resultados *via web services* (que também podem ser adicionados como novos *plugin's*) permite também a ligação a uma vasta variedade de clientes.

5.3 Melhoria contínua

A disseminação dos resultados de um SOOC deve ser encarada como um serviço profissional desde o início. Consequentemente, tem de ter associado um sistema de qualidade que procure a melhoria contínua. No caso das implementações de SOOC's feitas com o AQUASAFE são realizadas auditorias semestrais ao sistema onde é avaliada a disponibilidade de cada fonte de dados e é feita uma validação quantitativa das previsões. Com base na auditoria são identificadas medidas corretivas e são estabelecidos novos objetivos que indiquem que o sistema melhorou desde a última auditora.

6. CONCLUSÕES

A UNISANTA e a HIDROMOD iniciaram a meio de 2014 a implementação de um SOOC no Sistema Estuarino de Santos-São Vicente. Apesar de ainda estar na fase de implementação

a disseminação dos resultados já está a ter um impacte relevante na operação de utilizadores finais importantes para a economia da região (e.g. Praticagem de Santos).

Este SOOC desde da primeira hora visa providenciar um serviço profissional de previsões da meteo-oceanográficos e de qualidade da água que permita melhorar a eficiência e segurança de todas as operações que interferem com o meio aquático. Tem associado um sistema de qualidade baseado em auditorias internas.

A plataforma AQUASAFE permite uma grande flexibilidade na disseminação dos resultados do SOOC. Esta flexibilidade permite que os resultados cheguem o mais possível adaptados às necessidades específicas de cada utilizador. A plataforma AQUASAFE permite uma disseminação eficiente dos resultados de um SOOC mas não garante à partida que seja eficaz. Para a plataforma AQUASAFE ser eficaz necessita de parceiros locais como a UNISANTA que demonstrem de uma forma pró-ativa aos utilizadores locais que podem aumentar a eficiência e segurança das suas operações de uma forma significativa.

AGRADECIMENTOS

Ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) pelo financiamento do projeto de implementação do SOOC no Sistema Estuarino de Santos-São Vicente, contrato nº 019/2014. A Praticagem de Santos pelo fornecimento dos dados meteo-oceanográficos em tempo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, C. M. A paisagem da Baixada Santista: urbanização, transformação e conservação. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo: FAPESP, 2006. 310p.

Fernandes R, Neves R, Viegas C, Leitão P (2013). *Integration of an oil and inert spill model in a framework for risk management of spills at sea - A case study for the Atlantic area*. 36th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, 4-6 June 2013, Halifax, Nova Scotia, Canada. pp. 326-353.

Harari, J.; Camargo, R. E Cacciari, P. L. *Implantação de um sistema de previsão de marés e de correntes de maré na Baixada Santista através de modelo numérico tridimensional*. Relatório Técnico do Instituto Oceanográfico da USP nº45 21p, 1999.

Leitão P, Galvão P, Aires E, Almeida L, Viegas C. Fecal contamination modeling in coastal waters using a web service approach. *Environmental Engineering and Management*. 2012; 11(5): 899-906.

Leitão, J.C., Leitão, P.C., Silva, A.J.R., Galvão, P., Ribeiro J., Malhadas, M., Santos, H., Aires, E. & Costa, J.L., 2013, Sistema AQUASAFE nos Portos de Leixões e Viana do Castelo, 8^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, LNEC, Outubro de 2013.

Mancuso, M. A. & Ferreira, J. P. L. *Groundwater modeling of the sedimentary aquifer on Santos Estuary basin using GIS mapping of hydrogeologic parameters*. Relatório Técnico do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa: LNEC, 2007. 32p.

Monteiro, C. A. De F. A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1973. 130p

P.R.I.M.A.H.D. *Programa Regional de Identificação e Monitoramento de Áreas de Habitação Desconforme da R.M.B.S. AGEM*. Relatório Final. 2005, 565p.

PIANC (2012). Use of Hydro/Meteo Information for Port Access and Operations. PIANC's Report, 117-2012.

Póvoa, P., Galvão, P., Silva, A.J.R., Pina, P., Leitão, P.C., 2011, Gestão Otimizada de Redes de Saneamento: o Exemplo do Subsistema de Beirolas, ENEG 2011, Santarém, Novembro, 2011.

Sampaio, A. F. P. *Avaliação da correlação entre parâmetros de qualidade da água e socioeconômicos no complexo estuarino de Santos - São Vicente, através de modelagem numérica ambiental*. Dissertação de Mestrado em Ciência Ambiental. Universidade de São Paulo, 2010. 171p.

Schmiegelow, J. M. M. *Manguezais do sistema estuarino de Santos (SP): Estrutura e produção de Serapilheira*. Tese de Doutorado em Oceanografia Biológica. Universidade de São Paulo, 2009. 161p.

Silva, A.J.R., Leitão, J.C., Leitão, P.C., Galvão, P., Ribeiro J., Carneiro, E. & Pinto, J., 2013, Sistemas Operacionais para suporte à atividade portuária, *8^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, LNEC, Outubro de 2013.