

Sistema de alerta e previsão em tempo real para apoio à gestão do risco em zonas costeiras e estuarinas

Anabela Oliveira

Investigadora Principal, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC (Av. do Brasil, 101, 1700-066-Lisboa, Portugal; Tel.: +351 21 844 3631; Fax.: + 351 21 844 3016; E-mail: aoliveira@lnec.pt)

Marta Rodrigues

Bolseira de Doutoramento, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC (Av. do Brasil, 101, 1700-066-Lisboa, Portugal; Tel.: +351 21 844 3613; Fax.: + 351 21 844 3016; E-mail: mfrdrigues@lnec.pt)

Gonçalo de Jesus

Bolseiro de Investigação, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC (Av. do Brasil, 101, 1700-066-Lisboa, Portugal; Tel.: +351 21 844 3748; Fax.: + 351 21 844 3016; E-mail: gjesus@lnec.pt)

André B. Fortunato

Investigador Principal com Habilitação, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC (Av. do Brasil, 101, 1700-066-Lisboa, Portugal; Tel.: +351 21 844 3425; Fax.: + 351 21 844 3016; E-mail: afortunato@lnec.pt)

Alexandre Ribeiro

Bolseiro de Investigação, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC (Av. do Brasil, 101, 1700-066-Lisboa, Portugal; Tel.: +351 21 844 3706 Fax.: + 351 21 844 37; E-mail: nribeiro@lnec.pt)

Luís David

Investigador Auxiliar, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC (Av. do Brasil, 101, 1700-066-Lisboa, Portugal; Tel.: +351 21 844 3839; Fax.: + 351 21 844 3016; E-mail: ldavid@lnec.pt)

Ricardo Tavares da Costa

Estagiário, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC (Av. do Brasil, 101, 1700-066-Lisboa, Portugal; Tel.: +351 21 844 3613; Fax.: + 351 21 844 3016; E-mail: rcosta@lnec.pt)

Rafaela de Saldanha Matos

Investigadora-Coordenadora, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC (Av. do Brasil, 101, 1700-066-Lisboa, Portugal; Tel.: +351 21 844 3420; Fax.: + 351 21 844 3016; E-mail: rmatos@lnec.pt)

RESUMO

O alerta precoce de emergências e catástrofes (cheias, eventos graves de poluição, tsunamis) pode contribuir para a protecção do património e da vida humana em zonas costeiras e ribeirinhas. A previsão atempada destes eventos é essencial para a gestão do risco em comunidades vulneráveis, contribuindo para suportar decisões sobre a evacuação da população, a alocação de recursos para proteger valores humanos e ambientais e a gestão eficiente do pessoal de apoio na resposta à emergência. Os sistemas de previsão em tempo real são ferramentas fundamentais para a gestão do risco nestas zonas, produzindo previsões a escalas de tempo curtas, através da integração de modelos e dados de campo. Estes sistemas podem ainda ser integrados com sistemas de alerta, para apoio às entidades gestoras.

A presente comunicação enquadra-se no projecto *PREPARED Enabling Change (7PQ)*. Este projecto inclui um conjunto de casos de demonstração, nos quais está incluída a cidade de Lisboa. Para esta cidade, será desenvolvido um sistema piloto de alerta para riscos de saúde pública associados a contaminação fecal das águas de recreio, aplicado à frente ribeirinha do estuário do Tejo. Este sistema está a ser desenvolvido com base na adaptação do sistema de previsão em tempo real do LNEC (RDFS-PT), actualmente em

operação para previsão da circulação em vários estuários e da agitação marítima na costa Portuguesa (<http://ariel.lnec.pt>), para a simulação conjunta do escoamento e transporte na rede de colectores e no meio receptor (estuário do Tejo), suportada por uma rede de sensores em tempo real e por estudos laboratoriais.

Esta comunicação apresenta o sistema actual de previsão da circulação em tempo real e a sua validação, por comparação com dados históricos e dados em tempo real, assim como a metodologia de abordagem para a criação do sistema de alerta. É ainda apresentado o modelo 3D acoplado da hidrodinâmica – contaminação fecal de Rodrigues et al. (2011), que constituirá a base de modelação para o sistema de alerta.

Palavras-chave: Gestão em Tempo Real, Sistemas de Alerta Precoce, Modelação numérica

Introdução

A protecção dos recursos naturais e das actividades humanas em zonas costeiras e ribeirinhas requer a concepção e implementação de sistemas de gestão do risco que permitam a coexistência de usos potencialmente antagónicos e evitem ou minimizem o impacto de emergências e catástrofes. Os sistemas de alerta precoce são parte integrante destes sistemas de gestão de risco, tendo sido implementados com sucesso para emergências e catástrofes como cheias (Jesus et al., 2010) ou tsunamis (Careem et al., 2006). A previsão atempada dos perigos é uma parte essencial da gestão do risco em comunidades vulneráveis, contribuindo para decisões de evacuação da população, alocação de recursos para protecção de valores humanos e ambientais e a gestão eficiente de recursos humanos de resposta à emergência.

Os alertas precoces que não correspondem a um evento de emergência (falsos positivos) ou a ocorrência de eventos não antecipados (falsos negativos) são uma das maiores limitações na resposta das populações aos alertas e avisos emitidos em caso de previsão de emergência. Assim, os sistemas de alerta precoce requerem a existência de uma rede de monitorização em tempo real adequada ao risco específico assim como instrumentos de previsão precisos que permitam antecipar com a maior fiabilidade possível a ocorrência de acidentes de poluição, e permitam tomar atempadamente decisões de gestão para minimizar os seus efeitos.

Graças aos novos sistemas automáticos de aquisição de dados, mais baratos e fiáveis, as redes de monitorização têm sofrido um enorme avanço nas últimas décadas, que suportam a capacidade de monitorização em tempo real de grandezas físicas, como os níveis, as correntes e a agitação marítima. Ao aliar estas redes aos novos modelos numéricos de elevada eficiência, com capacidade para aproveitar os novos recursos computacionais de elevado desempenho, foi possível alcançar a capacidade de simular escoamentos complexos, multi-escala, em tempo real, dando origem aos sistemas de previsão em tempo real (Baptista et al., 2008). Em resultado, os sistemas de previsão em tempo real para as zonas costeiras evoluíram nos últimos anos de ferramentas de investigação para instrumentos operacionais para a gestão de portos e das zonas costeiras, em suporte a operações regulares e de emergência, providenciando previsões precisas e atempadas das ondas, níveis e correntes.

Existe actualmente um conjunto de legislação europeia e nacional, focado na qualidade da água e na gestão sustentada dos recursos hídricos, que inclui a Directiva Quadro da Água e a nova Directiva das Águas Balneares. O cumprimento desta legislação tem enfatizado a necessidade de alargar o âmbito dos sistemas de alerta baseados em sistemas de previsão em tempo real e em redes de monitorização em tempo real, à previsão de acidentes de poluição.

A gestão sustentada das zonas urbanas ribeirinhas, nas quais os meios hídricos constituem também os meios receptores dos sistemas de drenagem de águas residuais e pluviais, requer a capacidade de alerta para o potencial de contaminação por descargas elevadas, em particular em tempo de chuva. Os sistemas de alerta para estes eventos dependem da capacidade de medição em tempo real dos parâmetros relevantes, assim como da previsão em tempo real da qualidade da água, quer nas redes de colectores, quer nos meios receptores, através de modelos de qualidade da água e ecológicos, devidamente validados por dados de campo e de laboratório.

No entanto, quer a monitorização quer a previsão de processos de contaminação fecal, em particular quando envolvem um meio receptor de matriz ambiental muito variável como os meios estuarinos, envolvem ainda um conjunto de desafios para que se possam obter alertas precoces com fiabilidade. Nos últimos anos tem-se verificado uma grande melhoria na abrangência dos sensores para parâmetros de qualidade da água em colectores, os quais necessitam agora de ser validados em ambientes de salinidade variável, e no conhecimento dos factores que determinam o decaimento dos contaminantes (Menaia et al., 2010, Cravo et al., 2010). Por outro lado, a capacidade dos modelos de previsão da qualidade da água tem também crescido, muito alimentada pelos avanços significativos nos recursos computacionais, em particular nos de elevado desempenho (Rodrigues et al., 2011).

No âmbito do projecto do 7º Programa Quadro *PREPARED – Enabling Change*, que pretende contribuir para a preparação de várias cidades para os impactos das alterações climáticas no ciclo urbano da água, está a ser desenvolvido um sistema piloto de alerta para riscos de saúde pública associados a contaminação fecal das águas de recreio, aplicado à frente ribeirinha do estuário do Tejo. O objectivo deste artigo é assim apresentar os desenvolvimentos preliminares deste sistema de alerta. Este sistema é baseado numa plataforma de previsão em tempo real para o estuário do Tejo RDFS-PT (<http://ariel.lnec.pt>), num conjunto de modelos matemáticos para o estuário do Tejo (Vargas et al., 2008) e para os colectores (Cardoso et al., 1997, David et al., 2010), a serem integrados para a previsão conjunta dos colectores e meio receptor, e numa rede de sensores cobrindo toda a zona em análise, apoiada pela rede já existente da entidade gestora do sistema de águas residuais em alta (SIMTEJO).

RDFS-PT: um sistema de previsão em tempo real para a costa Portuguesa

O LNEC e o CMOP (E.U.A.) desenvolveram um sistema de previsão em tempo real aplicável a toda a costa Portuguesa – RDFS-PT, *Rapid Deployment Forecast System*. O RDFS-PT é baseado no sistema genérico de Baptista (2006) e tira partido do desenvolvimento conjunto de modelos matemáticos de elevada performance e resolução espacial optimizada através de malhas não estruturadas e aninhadas. O RDFS-PT integra actualmente os modelos hidrodinâmicos de código aberto SELFE e ELCIRC (www.stccmop.org/knowledge_transfer/software, Zhang et al., 2004, Zhang e Baptista, 2008) e o modelo de agitação marítima WW3 (Tolman, 2009). Este sistema integra um conjunto de servidores integrados num sistema central, o qual arquiva os resultados das previsões dos modelos, o acesso aos dados e as ferramentas de gestão do acesso às previsões. Em cada servidor, um ou vários modelos são aplicados diariamente para produzir previsões, as quais podem ser acedidas através de *Web browsers*.

O RDFS é constituído por um conjunto de *scripts* automáticos que são implementados para cada aplicação. Estes *scripts* preparam e lançam as simulações de previsão, interagindo com um servidor de base de dados para obter as condições específicas para os dias a prever e os dados para estabelecimento das condições de fronteira. As simulações envolvem a execução dos modelos, as quais podem tirar partido da sua paralelização para usar recursos de elevado desempenho, como o *cluster* MEDUSA do LNEC (Costa et al., 2009) ou no servidor do RDFS-PT. Após conclusão das simulações, outro conjunto de *scripts* processa os resultados, compara-os com dados e gera produtos para publicação na Web. O utilizador pode visualizar estes produtos utilizando a interface do RDFS-PT, uma aplicação baseada na Web (Figura 1) que utiliza o Drupal, um sistema de gestão de conteúdos em PHP para aceder a meta-dados e produtos.

A Ria de Aveiro foi o primeiro sistema escolhido para a implementação do sistema RDFS-PT devido à sua elevada importância ambiental e económica, e ao potencial conflito entre os seus usos (Oliveira et al., 2010, Oliveira et al., 2011). Este sistema de previsão está em produção desde 2007, tendo sofrido sucessivas melhorias ao longo do tempo. O sistema RDFS-PT está também em operação para a previsão da agitação marítima do Atlântico Norte e da costa Portuguesa, e para a previsão da circulação no estuário do Tejo, podendo ser aplicado para qualquer outra região na costa Portuguesa (Ribeiro et al., 2011). Estas previsões são todas baseadas na aplicação de vários modelos numéricos de elevada precisão, devidamente calibrados e validados com dados de campo (Vargas et al., 2008, Rodrigues et al., 2009, Dodet et al., 2010).



RDFS
Rapid Deployment Forecast System

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

Forecasts

- ▶ Aveiro Forecast
- ▶ Tejo Forecast
- ▶ Regional Wave Forecast
- ▶ Portuguese Shelf Wave Forecast
- Publications
- Development Team

User login

Username: *

 Password: *

• Request new password

Rapid Deployment Forecast System



RDFS-PT: Sistema de previsão em tempo real para a costa Portuguesa

O RDFS-PT é um ambiente de integração da simulação numérica em tempo real e de dados on-line da costa Portuguesa. Esta plataforma disponibiliza resultados de previsões da circulação em sistemas costeiros seleccionados (níveis, correntes, salinidades e temperatura), validados por dados em tempo quasi-real. É baseada na tecnologia desenvolvida no Center for Coastal Margin Observation & Prediction (CMOP, E.U.A).

RDFS-PT: Nowcast-forecast system for Portuguese estuarine and coastal waters

RDFS-PT is a 4D (space-time) simulation environment that integrates state-of-the-art numerical models and near-real time data for the Portuguese coast. This infrastructure offers circulation forecasts at selected sites (water levels, salinity, temperature, and velocities). It is based on the forecast systems technology developed at CMOP (Center for Coastal Margin Observation & Prediction, U.S.A).

[Termos e condições](#)

[Folheto](#)

FUNDAÇÃO LUSO-AMERICANA



RDFS
Rapid Deployment Forecast System

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

Forecasts

- ▶ Aveiro Forecast
- ▼ Tejo Forecast
 - Description
 - Model Forecast
 - Model - Data comparison
 - Team
 - Acknowledgements

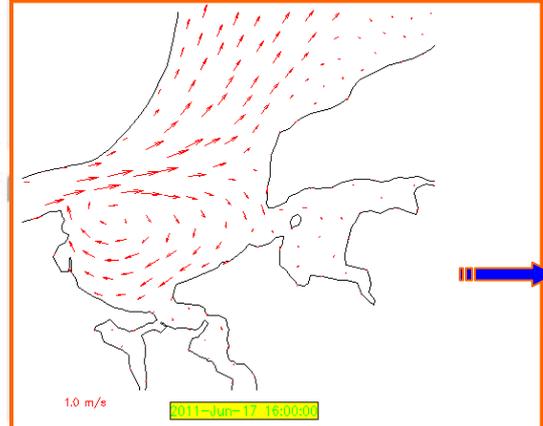
Home

Tejo Forecast: Model Forecast

Select day:

June 2011

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		



Choose pre-generated product:

Figura 1 – Em cima) Sistema RDFS-PT (<http://ariel.Inec.pt>); em baixo) detalhe da implementação ao estuário do Tejo

Previsão em tempo real da circulação no estuário do Tejo

O sistema de previsão em tempo real da hidrodinâmica do estuário do Tejo (Figura 1b), a operar em modo de produção desde 2010, baseia-se numa aplicação barotrópica tridimensional do modelo hidrodinâmico SELFE (Zhang e Baptista, 2008). O SELFE é um modelo de malhas não-estruturadas que simula a circulação baroclínica a diferentes escalas. Este modelo calcula a elevação da superfície livre e os campos tridimensionais de velocidade, salinidade e temperatura, resolvendo as equações tridimensionais de águas pouco profundas. Estas equações consideram as aproximações hidrostática e de Boussinesq e representam as leis de conservação de massa/volume, quantidade de movimento, sal e calor.

Na aplicação do SELFE ao Tejo são utilizados 31 níveis S na vertical e a resolução espacial varia entre 2 km e 30 m (Figura 2). São consideradas duas fronteiras abertas: uma oceânica, forçada por marés e uma fluvial. O passo de cálculo é de 180 s e considera-se um coeficiente de arrastamento de 0.001. O fecho de turbulência utilizado é o *Generic Length Scale KKL*, com a função de estabilidade de Kantha & Clayson. A fronteira fluvial é forçada com dados do SNIRH, da estação de Ómnias. A simulação apenas considera o escoamento barotrópico (sem resolução das equações de conservação de sal e calor).

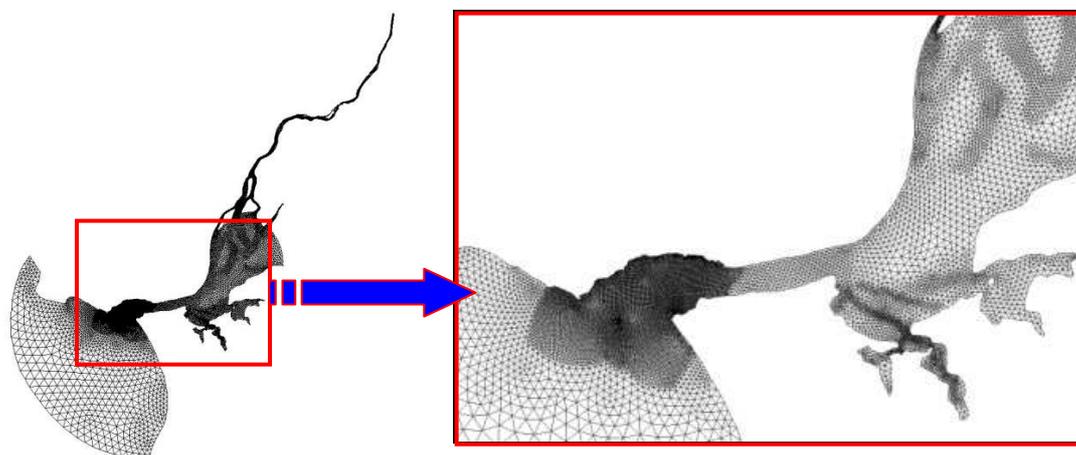


Figura 2 – Malha de cálculo e detalhe na zona central.

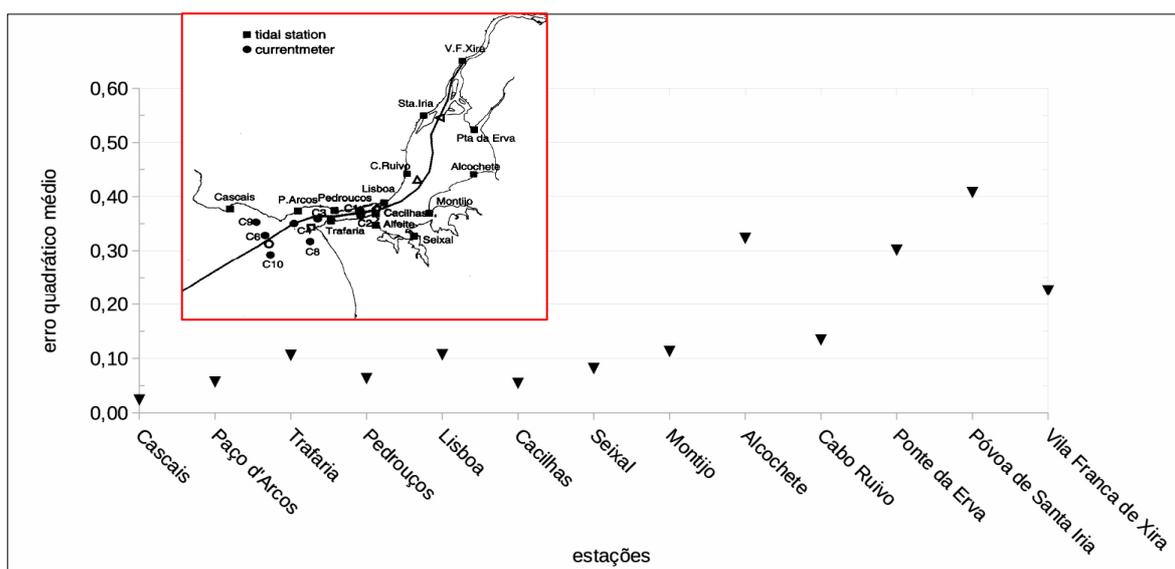


Figura 3 – Validação dos resultados com dados de níveis de 1972.

A aplicação foi baseada em trabalhos anteriores com outros modelos de malhas não estruturadas (Fortunato et al., 1999, Vargas et al., 2008) e calibrada para o escoamento no ano de 1972, para o qual se dispõem de medições de níveis ao longo do estuário. Os erros quadráticos médios de níveis são aceitáveis, inferiores a 10 cm na maioria do estuário (Figura 3). Na zona superior, onde a batimetria é desactualizada e de fraca resolução, os erros são superiores (25-30 cm).

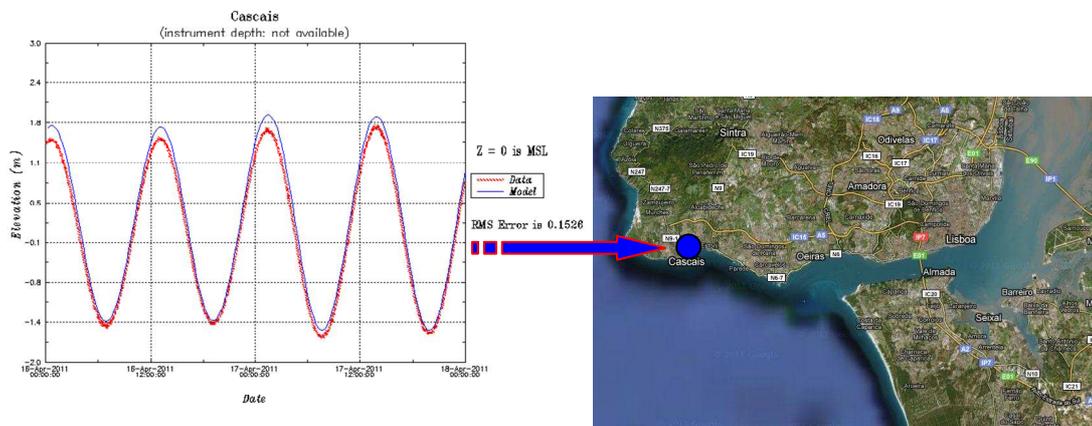


Figura 4 – Comparação entre as previsões em tempo real do modelo hidrodinâmico tridimensional (magenta) e os valores de medição *on-line* em tempo real do marégrafo do IGP localizado em Cascais.

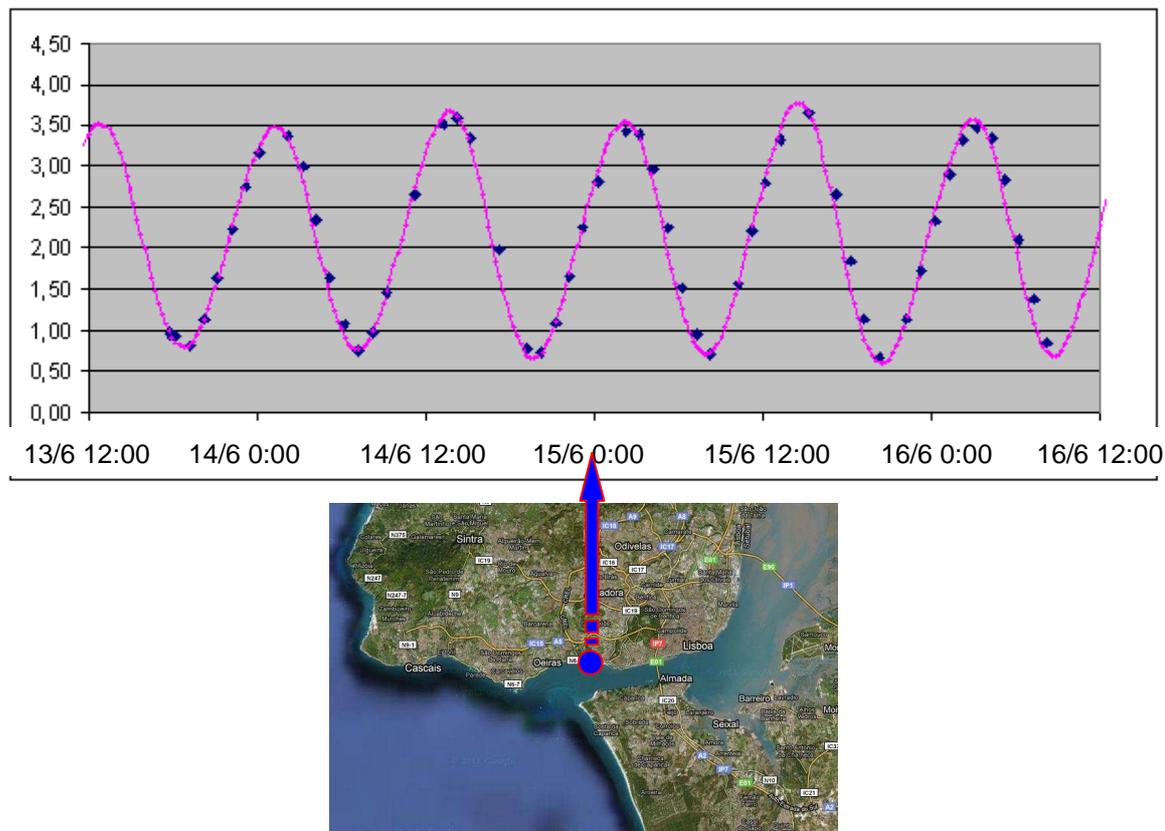


Figura 5 – Comparação entre as previsões em tempo real do modelo hidrodinâmico tridimensional (magenta) e os valores de medição *on-line* em tempo real do marégrafo da APL localizado junto à torre VTS.

O sistema de previsão em tempo real da hidrodinâmica foi validado através dos dados *on-line* disponíveis para este estuário. Esta comparação, efectuada de modo automático, mostra o bom desempenho do modelo, quer em Cascais (Figura 4), onde as diferenças são devidas a efeitos atmosféricos não considerados no forçamento, quer junto à Torre VTS (na qual apenas se destaca um ligeiro erro de fase – Figura 5).

Metodologia para estabelecimento de um sistema de alerta para descargas poluentes no estuário do Tejo

O sistema de alerta pretende contribuir para a gestão em tempo real do sistema integrado de drenagem urbana de Lisboa, através da previsão atempada do potencial de contaminação fecal no estuário do Tejo. Dependendo da gama de concentrações previstas, poderão ser emitidos alertas que desaconselhem o uso do meio receptor para actividades recreativas.

Abordagem geral de desenvolvimento do sistema de alerta

No sistema de alerta em desenvolvimento para as descargas provenientes do Caneiro de Alcântara no estuário do Tejo será necessária uma abordagem integrada para a quantidade e qualidade da água no ciclo urbano da água, que inclui as afluências ao Caneiro, o escoamento no próprio Caneiro e o escoamento no meio receptor.

Este estabelecimento requer um conjunto de tarefas preparatórias:

- a caracterização das afluências ao Caneiro;
- a caracterização do Caneiro e o seu impacte no meio receptor;
- a caracterização do meio receptor.

Esta caracterização será alcançada através da análise de estudos anteriores e de um conjunto de campanhas experimentais, as quais visam simultaneamente caracterizar o sistema e contribuir para a definição da localização e tipo de sensores a operar em tempo real. Os resultados destas campanhas contribuirão também para validar os instrumentos de modelação, quer nos colectores, quer no meio receptor.

A fase seguinte consiste no estabelecimento de uma rede de monitorização em tempo real nos colectores e meio receptor, que inclua os aspectos de quantidade e qualidade. Esta rede será montada em complemento à rede de monitorização da SIMTEJO e a outras redes de medição em tempo real de outras entidades no meio em estudo.

Posteriormente, serão integrados os vários instrumentos de modelação na plataforma de previsão em tempo real, incluindo a extensão do modelo do estuário actualmente em produção para a previsão da contaminação fecal, assim como os modelos de previsão da quantidade e qualidade nos colectores (suportados por estudos laboratoriais).

Finalmente será implementado o sistema de alerta, integrando o sistema de previsão em tempo real e a rede de monitorização.

Descrevem-se abaixo alguns destes elementos, actualmente em desenvolvimento.

Caracterização geral do caso de estudo

A bacia de drenagem do caneiro de Alcântara é a maior bacia da cidade de Lisboa. Tem 3200 ha, dos quais cerca de 2200 ha pertencem ao Concelho de Lisboa e os restantes 1000 ha ao Concelho da Amadora. A maioria do sistema de drenagem é unitário ou pseudo-separativo, embora as urbanizações mais recentes disponham de sistemas separativos. Estima-se que a bacia apresente uma ocupação em áreas de pavimentos, telhados e permeáveis de, respectivamente, 23%, 22% e 54%. A bacia inclui uma área do Parque Florestal de Monsanto. A rede de colectores principais totaliza cerca de 250 km de comprimento e apresenta cerca de 10 secções transversais diferentes, com dimensões que variam entre menos de 0.80 m até 8 m de largura. A área ribeirinha está sujeita a inundações devido a diversos factores, destacando-se os

reduzidos declives, a influência do nível de maré do estuário do Tejo e as condições propícias à deposição de matéria orgânica.

O escoamento da maior parte da bacia do caneiro de Alcântara aflui à ETAR de Alcântara por gravidade, embora cerca de 40% do caudal actualmente tratado por esta ETAR seja gerado em bacias vizinhas e provenha à ETAR a partir do sistema interceptor e elevatório localizado ao longo da frente ribeirinha. A ETAR de Alcântara foi construída na década de 1980 e recebe actualmente um caudal médio diário da ordem de 1.5 m³/s, prevendo-se que aumente para 2.6 m³/s até 2030, como resultado do acréscimo dos caudais bombeados da zona baixa da cidade.

O efluente da ETAR é encaminhado para o caneiro de Alcântara e descarregado no estuário do Tejo, cerca de 2 km a jusante.

A gestão do ciclo urbano das águas pluviais e residuais na cidade de Lisboa está estreitamente ligada ao estuário do Tejo, enquanto meio receptor para estes efluentes.

O sistema de drenagem em alta de Lisboa, da responsabilidade da empresa SIMTEJO, foi recentemente beneficiado com a reabilitação e construção de novos sistemas interceptores e estações elevatórias na frente ribeirinha e com uma intervenção de beneficiação da ETAR de Alcântara.

No âmbito do projecto de reabilitação, a ETAR de Alcântara foi redimensionada para servir 670 000 habitantes equivalente (dos Concelhos de Lisboa, Amadora e Oeiras) e foi equipada com um sistema de floculação com balastro de areia micrométrica Actiflo®, para tratamento das aflúncias em tempo de chuva. Actualmente, a ETAR dispõe de uma capacidade de tratamento instalada para um caudal de ponta de 3,3 m³/s em tempo seco (tratamento biológico) e 6,6 m³/s em tempo de chuva (tratamento físico-químico). A SIMTEJO tem também feito fortes investimentos na monitorização em tempo real e em diferido no sistema, criando as condições de base para o estabelecimento de um sistema de alerta sustentado.

Conforme referido, o efluente da ETAR de Alcântara descarrega para o estuário do Tejo, um sistema mesotidal sujeito a marés, caudal fluvial e vento. No ponto de descarga, o escoamento é bidireccional e sujeito a gradientes salinos elevados, estando as actividades de recreio concentradas a jusante da descarga. Devido à presença destas actividades, o efluente sujeito a tratamento secundário é desinfectado na ETAR.

Campanhas de campo exploratórias

De modo a estabelecer um sistema de monitorização das várias quantidades físicas e químicas relevantes no sistema de drenagem urbana e no estuário em tempo real, é necessário efectuar uma análise exploratória para caracterização do sistema e para definição optimizada no número, tipo e localização de sensores a implementar na rede em tempo real.

Com base num conjunto de sensores actualmente disponíveis nas várias instituições a colaborar neste estudo (LNEC, SIMTEJO, IST e FCUC) está em preparação um conjunto de campanhas de campo ao longo do sistema em estudo. Estas campanhas foram concebidas de modo a caracterizar simultaneamente as duas vertentes do sistema – colectores e meio receptor – de forma sinóptica e tendo em conta as escalas espaciais de variação em cada um dos meios (maré, ciclo de descargas associado ao funcionamento da ETAR de Alcântara, etc...). Ilustra-se na Figura 6 uma possível distribuição dos recursos de monitorização.

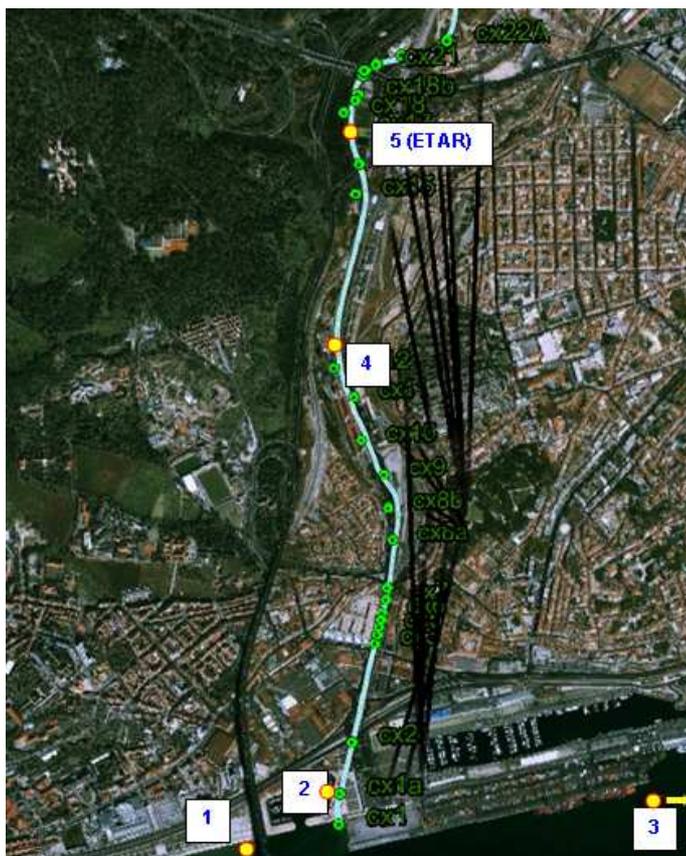


Figura 6 – Localização possível para alguns sensores das campanhas experimentais.

Modelação do escoamento nos colectores

No âmbito do projecto europeu SPRINT SP98/2 “Application of Hydraulic Analysis to Sewerage Rehabilitation in Member States” (1994-97) o sistema de colectores principais da bacia do caneiro de Alcântara foi modelado com o modelo hidrodinâmico distribuído no programa HydroWorks. O modelo era constituído por 219 colectores, 219 nós (câmaras de visita, descarregadores e descarga final) e 132 sub-bacias de drenagem. Posteriormente, no âmbito de outras colaborações do LNEC e do IST com a Câmara Municipal de Lisboa e com a SimTejo, os modelos foram actualizados e alargados à frente ribeirinha e reconstruídos nos programas MOUSE e SWMM (Cardoso et al., 1997; David et al., 2000; Ferreira et al 2004).

Foi também construído um modelo conceptual simplificado da bacia utilizando o programa apresentado em David e Matos (2005), tendo em vista o estudo estatístico das descargas em tempo de chuva e a avaliação do efeito combinado do aumento da capacidade de tratamento da ETAR, da eventual construção de estruturas de armazenamento e da eventual desanexação de áreas contribuintes (David et al., 2011). A qualidade da água será modelada em função dos resultados obtidos nas campanhas experimentais, recorrendo a cenários de concentrações médias para os eventos (CME), ao estudo dos efeitos de diluição das águas residuais descarregadas nas águas pluviais (e.g., David e Matos, 2005) e, eventualmente, utilizando relações observadas entre parâmetros ou equações de acumulação e arrastamento de poluentes.

Modelação da contaminação fecal no estuário

A previsão em tempo real do impacto das descargas urbanas associadas ao Caneiro de Alcântara no estuário do Tejo será baseada na aplicação tridimensional baroclínica do modelo acoplado hidrodinâmico-contaminação fecal SELFÉ (Zhang and Baptista, 2008; Rodrigues et al., 2011). Este modelo faz o acoplamento forte entre o modelo hidrodinâmico (SELFÉ; Zhang and Baptista 2008, versão paralela 3.0b, disponível em www.stccmop.org/CORIE/modeling/selfe/) e um modelo de

contaminação fecal. O SELFE é um modelo de malhas não-estruturadas que calcula a elevação da superfície livre e os campos tridimensionais de velocidade, salinidade e temperatura, resolvendo as equações tridimensionais de águas pouco profundas.

Este modelo inclui um módulo de transporte que permite ao utilizador simular um conjunto de traçadores genéricos, para além da salinidade e da temperatura:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial C}{\partial z} \right) + F_c - k_d C - f_s v_s \frac{\partial C}{\partial z} \quad (1)$$

sendo C um traçador fecal genérico (CFU/m³), (u, v, w) as componentes (x, y, z) da velocidade em m.s⁻¹, κ a difusividade turbulenta vertical (m².s⁻¹), F_c o termo que representa a difusão horizontal e k_d representa a mortalidade (s⁻¹), f_s é a fracção agregada aos sedimentos (adimensional) e v_s (m/s) é a velocidade de sedimentação.

O modelo 3D de contaminação fecal simula os 2 parâmetros propostos pela Directivas das Águas Balneares, *Escherichia coli* (E. coli) e Enterococos intestinais (Rodrigues et al., 2011). A concentração destes indicadores de organismos patogénicos pode variar devido a processos de mistura e diluição, e decaimento por sedimentação e morte. O modelo está também integrado com um modelo de campo próximo, para resolução dos processos junto a descargas pontuais.

A representação da mortalidade no modelo pode ser feita por duas formulações alternativas: um coeficiente constante, definido pelo utilizador, ou a formulação de Canteras et al. (1995), na qual se utiliza uma relação directa entre a mortalidade e as condições ambientais (radiação solar, salinidade e temperatura). Os sedimentos contribuem para retirar os organismos patogénicos da coluna de água por agregação com as partículas de sedimentos, em particular sedimentos finos. Foi considerada que uma fracção dos indicadores fecais seria agregada aos sedimentos, estimada em:

$$f_s = \frac{K_p S_w}{1 + K_p S_w} \quad (2)$$

onde K_p é o coeficiente de partição, da ordem de 0.01 l/mg, e S_w é a concentração de sedimentos em suspensão na coluna de água (mg/l).

Este modelo foi já calibrado numa ribeira costeira no SW de Portugal, na qual é descarregado o efluente tratado de uma ETAR (Rodrigues et al., 2011). A comparação com dados de várias campanhas em diferentes condições ambientais permitiu evidenciar a importância da diluição e dos processos de sedimentação, assim como o bom desempenho do modelo.

A aplicação ao estuário do Tejo irá ser efectuada em três fases (sendo as duas primeiras abordadas em Tavares da Costa, 2011):

- calibração e validação do modelo 3D baroclínico do estuário do Tejo, através da comparação com dados medidos em diferentes condições de estratificação;
- análise de sensibilidade do modelo de contaminação fecal do estuário a diversos parâmetros numéricos e ambientais numa descarga sintética do Caneiro de Alcântara;
- integração do modelo dos colectores e do estuário e sua validação com dados das campanhas experimentais.

Após realizadas estas actividades, os modelos acoplados (colectores-meio receptor) poderão ser integrados na plataforma de tempo real.

Considerações finais

Os sistemas de vigilância e alerta precoce são fundamentais para antecipar a ocorrência de acidentes de poluição e permitir a tomada de decisões de gestão que permitam minimizar os seus efeitos. Estes sistemas têm vindo a ter um grande desenvolvimento na última década, em particular nas zonas estuarinas e costeiras, para previsão de quantidades físicas, estando agora a

ser estendidos para problemas de qualidade da água. Para sistemas de alerta do potencial impacto de descargas urbanas em meios estuarinos, quer a monitorização quer a previsão de processos de contaminação fecal envolvem ainda um conjunto de desafios para que se possa obter alertas precoces com fiabilidade.

No âmbito do projecto do 7º Programa Quadro *PREPARED*, liderado em Portugal pelo LNEC, está a ser desenvolvido um protótipo de um sistema de alerta precoce de contaminação fecal que combina a modelação e a monitorização dos sistemas de colectores e dos meios receptores, tirando partido de uma plataforma de previsão em tempo real existente. Este protótipo de sistema de alerta será aplicado ao estuário do Tejo e às suas aflúências urbanas, as quais constituem um caso de estudo de elevado interesse para abordar estes problemas. Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos grandes esforços para controlar as descargas da frente ribeirinha de Lisboa para o estuário do Tejo, tendo a entidade gestora feito elevados investimentos quer para melhorar o desempenho do sistema, quer para assegurar a sua monitorização.

Apresentou-se nesta comunicação os desenvolvimentos preliminares deste sistema de alerta, que prevê o desenvolvimento das seguintes actividades principais: i) campanhas experimentais exploratórias em tempo seco e húmido; ii) instalação de sensores e monitorização da qualidade da água em tempo real; iii) modelação integrada do sistema de drenagem e do estuário; iv) integração dos modelos e dos dados de monitorização numa plataforma para controlo em tempo real, com base na plataforma de previsão da hidrodinâmica do estuário (<http://ariel.lnec.pt>); e v) sistema de alerta, com base no sistema integrado de monitorização e modelação e na estrutura de previsão em tempo real.

Agradecimentos

Este trabalho foi co-financiado pelo 7º PQ, projecto *PREPARED*, pela FCT, projectos G-Cast (GRID/GRI/81733/2006) e PAC:MAN (PTDC/AAC-AMB/113469/2009), e pela FLAD, projecto *Towards a nowcast-forecast system for estuarine and coastal water quality*. Os autores agradecem ao Prof. António Melo Baptista e Prof. Joseph Zhang pelo modelo SELFE. Os autores agradecem ainda à SIMTEJO, pela disponibilização de informação relativa ao funcionamento da rede de colectores e da rede de medição em tempo real da SIMTEJO, ao Instituto Geográfico Português e à Administração do Porto de Lisboa pela disponibilização *on-line* dos dados dos marégrafos, e ao INAG pela disponibilização dos dados de níveis *on-line* do sistema SNIRH.

Referências bibliográficas

- Baptista, A, Howe B, Freire J, Maier D, Silva CT. 2008. Scientific Exploration in the Era of Ocean Observatories. *Computing in Science & Engineering*. 10(3):53-58.
- Cardoso, M.A., Pinheiro, I., David, L.M., Matos, M.R., Almeida, M.C. 1997. *Project SPRINT SP98 - extension: Application of hydraulic Analysis to Sewerage Rehabilitation in Member States. Report on Model Building, Verification and Alternative Solutions*. Relatório 88/97 - NHS, LNEC, Lisboa, 187 p.
- Careem, M., De Silva, C., De Silva, R., Raschid, L., Weerawarana, S, 2006. Sahana: Overview of a Disaster Management System. *Proceedings of the International Conference on Information and Automation*, 361-366
- Cravo A., Menaia J., Napier V., 2010. A qualidade da água da ribeira de Aljezur, SW Portugal: seus efeitos nas águas balneares. 14º ENaSB /SILUBESA, 10 pp.

- Costa, M; A. Oliveira; M. Rodrigues; Azevedo, A. 2009. Application of Parallel, High-Performance Computing in Coastal Environmental Modeling: Circulation and Ecological Dynamics in the Portuguese Coast, *Proceedings da 3rd Iberian Grid Infrastructure*, Hernandez Garcia et al (eds), 375- 386.
- David, L.M., Cardoso, M.A., Matos, R.S., 2000. *Urban Flood Control – Technical Support to the Diagnosis and Rehabilitation of Critical Areas in The City of Lisbon*. In *Flood Issues in Contemporary Water Management*, J. Marsalek, W. Ed Watt, E. Zeman and F. Sieker (eds.), NATO Science Series, 2. Environmental Security, Vol.71, © 2000 Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, p. 333-342. ISBN 0-7923-6452-X.
- David, L.M., Matos, J. S. 2005. *Wet-weather urban discharges: implications from adopting the revised European Directive concerning the quality of bathing water*. *Wat. Sci. & Tech.*, **52**(3), 9-17.
- David, L. M.; Matos, R. S.; Matos, J. S.; Ferreira, R; Frazão, A.; Póvoa, P., 2011, (em impressão). Evaluation of the combined effect of increasing storage and treatment capacity in the Alcântara catchment. *12th International Conference on Urban Drainage*, 8 p., em CD.
- Dodet, G.; Bertin, X.; Tabora, R., 2010. *Wave climate variability in the north-east atlantic ocean over the last six decades*. *Ocean Modelling* 31/3-4, 120 – 131.
- Ferreira, F., Viegas, T., David, L.M., Matos, J.S., 2004. *Sistemas Interceptores de Lisboa – Frentes de Drenagem Algés-Alcântara, Cais do Sodré-Alcântara e Terreiro do Paço-Alcântara. Estudos de Reabilitação Hidráulica e Ambiental de Interceptores de Lisboa – Projecto Rehalis. 3º Relatório de Progresso – Simulação do Comportamento Hidráulico e Ambiental dos Interceptores*. Trabalho realizado pelo Instituto Superior Técnico para a SIMTEJO, Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e Trancão.
- Fortunato, A.B.; Oliveira, A.; Baptista; A.M., 1999. On the Effect of Tidal Flats on the Hydrodynamics of the Tagus Estuary, *Oceanologica Acta*, 22(1): 31-44.
- Jesus, G; Santos, M.A; Palha Fernandes, J., 2010. SAGE-B: A Dynamic Dam Break Flood Emergency Management System, *Disaster Management 2009*, New Forest, United Kingdom, 5 pp.

- Menaia J.; Cravo A.; Napier V., 2010. Evolution of enterobacterial populations along the Aljezur coastal stream as correlated to the occurring physical-chemical characteristics of the water. Elsevier, IWA, *FEMS:The Water Research Conference*. 1pp.
- Oliveira, A.; Fortunato, A.B.; Baptista, A.M.; Turner, P.; Jesus, G.; Rodrigues, M.; Ribeiro, N.A.; Mendes, A.; Fernandes, J.P.; Azevedo, A.; Bruneu, N.; Dodet, G. (2010). Sistema de previsão em tempo real para a circulação estuarina e costeira, *1as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, 4 pp.
- Oliveira, A., M. Rodrigues, A. B. Fortunato, G. Jesus, N.A. Ribeiro, G. Dodet e J.M. Dias. 2011. Previsão em Tempo Real da Circulação na Ria de Aveiro, Actas das Jornadas da Ria de Aveiro 2011, Almeida et al. (eds.), 310-315.
- Ribeiro; N. A., M. Rodrigues; G. Dodet; G. Jesus; A. Oliveira; A.B. Fortunato; A. Azevedo; A.M. Baptista; P. Turner, 2011. Sistema de previsão em tempo real da circulação e agitação marítima para as zonas costeiras e estuarinas, Actas do VI Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 12 pp, em CD-ROM.
- Rodrigues, M., A. Oliveira, H. Queiroga, A.B. Fortunato e Y.J. Zhang, 2009. Three-Dimensional Modeling of the Lower Trophic Levels in the Ria de Aveiro (Portugal), *Ecological Modelling*, 220, 1274-1290.
- Rodrigues, M., A. Oliveira, M. Guerreiro, A. B. Fortunato, J. Menaia, L. M. David e A. Cravo, 2011. Modeling fecal contamination in the Aljezur coastal stream (Portugal), *Ocean Dynamics*, 61/6, 841-856
- Tavares da Costa, R. 2011, (em preparação). *Influência de factores ambientais e de descarga na contaminação fecal do estuário do Tejo*. Relatório de Estágio Formal para Admissão à Ordem dos Engenheiros. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Tolman, H. L. (2009) *User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14*. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note 276, 194 p.
- Vargas, C.I.C.; F.S.B.F. Oliveira; A. Oliveira; N. Charneca. 2008. Análise da vulnerabilidade de uma praia estuarina à inundação, *Revista Gestão Costeira Integrada*, 8/1: 25-43.

Zhang, Y.L.; Baptista, A.M.; Myers, E.P. 2004. A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plume-shelf systems: I. Formulation and skill assessment. *Cont. Shelf. Res.*, 24, 2187-2214.

Zhang, Y.L.; Baptista, A.M. 2008. SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation, *Ocean Modeling*, 21/3-4, 71-96.