

PLATAFORMA DE PREVISÃO E MONITORIZAÇÃO EM TEMPO REAL PARA GESTÃO OPERACIONAL DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Luís M. DAVID⁽¹⁾; Anabela OLIVEIRA⁽¹⁾; Marta RODRIGUES⁽¹⁾; André B. FORTUNATO⁽¹⁾;
José MENAIA⁽¹⁾; Pedro PÓVOA⁽²⁾; Conceição DAVID⁽²⁾; Filipa FERREIRA⁽³⁾; Joana COSTA⁽¹⁾;
Tiago MOTA⁽¹⁾; João ROJEIRO⁽¹⁾; Gonçalo JESUS⁽¹⁾; João L. GOMES⁽¹⁾; Rita MATOS⁽³⁾;
João SANTOS⁽⁴⁾; José S. MATOS⁽³⁾; Rafaela S. MATOS⁽¹⁾

RESUMO

Foi desenvolvida e implementada uma nova plataforma para gestão operacional de sistemas de drenagem urbana, com base num sistema de previsão que utiliza modelos integrados entre bacia de drenagem, ETAR e meio recetor, redes de monitorização com transmissão de dados em tempo real e um sistema de comparação automática entre dados monitorizados e resultados das previsões. Denominada WIFF (Water Information and Forecasting Framework), a plataforma foi concebida para vigilância e apoio à decisão, podendo servir de suporte à emissão de alertas precoces de inundações ou de episódios de poluição dos meios recetores, designadamente de contaminação fecal de águas de recreio ou balneares.

No âmbito dos projetos PREPARED – Enabling Change (7º PQ da EU) e SI-GeA (AdI), esta plataforma foi aplicada à bacia de drenagem da ETAR de Alcântara, em Lisboa. Neste artigo apresenta-se a metodologia e descrevem-se os resultados das principais atividades desenvolvidas: i) a realização de campanhas experimentais; ii) a instalação de uma rede de monitorização em tempo real; iii) a modelação matemática do sistema de drenagem, da ETAR e do estuário; v) a integração dos modelos com os dados de monitorização e a implementação do sistema de previsão.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas integrados de modelação e monitorização; Sistemas de previsão; Gestão em tempo real; Sistemas de alerta precoce; Sistemas de apoio à decisão

¹ LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil (DHA), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, ldavid@lneec.pt

² SimTejo S.A., ETAR de Alcântara, Avenida de Ceuta, 1300-254 Lisboa, Portugal

³ IST/UL, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

⁴ SIEMENS S.A., Rua Irmãos Siemens, nº1, 2720-093 Amadora, Portugal

1. INTRODUÇÃO

O controlo de cheias, a gestão de descargas de sistemas unitários para os meios recetores e a gestão eficiente e económica do funcionamento das infraestruturas constituem desafios importantes para as entidades gestoras de sistemas de drenagem urbana. As descargas de grandes cidades podem ter um impacto significativo nas massas de águas estuarinas e costeiras, afetando a qualidade da água e do ambiente em geral e as atividades balneares e de recreio em particular (David e Matos, 2005; Marsalek e Rochfort, 2004; Passerat *et al.*, 2011). Estes impactos, bem como os riscos de inundação, poderão agravar-se com os efeitos das alterações climáticas, designadamente do agravamento das precipitações intensas e da subida do nível do mar.

A Diretiva Quadro da Água e as diretivas filhas, nomeadamente a Diretiva das Inundações e a Diretiva da Gestão das Águas Balneares, definem uma abordagem da gestão da água baseada na gestão do risco, na informação e participação pública, através da utilização de tecnologias georreferenciadas, e no desenvolvimento e manutenção de sistemas de vigilância, previsão e alerta precoce. A sua implementação fortalece a perceção da sociedade acerca dos desafios da gestão das águas pluviais, contribuindo para um maior nível de exigência da gestão das águas em meio urbano.

No âmbito dos projetos PREPARED – *Enabling Change* (7º PQ da EU) e SI-GeA (AdI), foi desenvolvida e implementada uma nova plataforma para gestão operacional de sistemas de drenagem urbana, com base num sistema de previsão que utiliza modelos integrados entre bacia de drenagem, ETAR e meio recetor, redes de monitorização com transmissão de dados em tempo real e um sistema de comparação automática entre dados monitorizados e resultados das previsões. Denominada WIFF (*Water Information and Forecasting Framework*), a plataforma foi concebida para vigilância e apoio à decisão, podendo servir de suporte à emissão de alertas precoces de inundações ou de episódios de poluição dos meios recetores, designadamente de contaminação fecal de águas de recreio ou balneares.

A plataforma WIFF foi aplicada à bacia de drenagem da ETAR de Alcântara, em Lisboa, ao sistema constituído pela ETAR, pelas bacias que descarregam entre o Terreiro do Paço e Algés e pelo estuário do Tejo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Requisitos do sistema

O desenvolvimento de um sistema de vigilância e apoio à decisão deve integrar ferramentas de previsão e dados de monitorização em tempo real, que permitam antecipar e acompanhar ocorrências relevantes para a gestão operacional dos sistemas de drenagem e para o controlo de inundações e das descargas para os meios recetores.

Para uma gestão mais eficiente e integrada, interessa considerar a totalidade do sistema, desde a bacia de drenagem até ao meio recetor, e conhecer as principais variáveis a controlar em cada subsistema, tanto hidráulicas como de qualidade da água.

Assim, pretende-se que o sistema incorpore, numa única plataforma: modelos matemáticos integrados da rede de drenagem, ETAR e meio recetor; dados em tempo real fornecidos por redes de monitorização; informação proveniente de modelos de previsão meteorológica e oceanográfica, capaz de gerar forçamentos nos modelos matemáticos, e um sistema de comparação automática entre dados monitorizados e resultados das previsões (Figura 1). O sistema deve ser concebido para vigilância e apoio à decisão, podendo servir de suporte à emissão de alertas precoces de inundações ou de episódios de poluição dos meios recetores, designadamente de contaminação fecal de águas de recreio ou balneares.

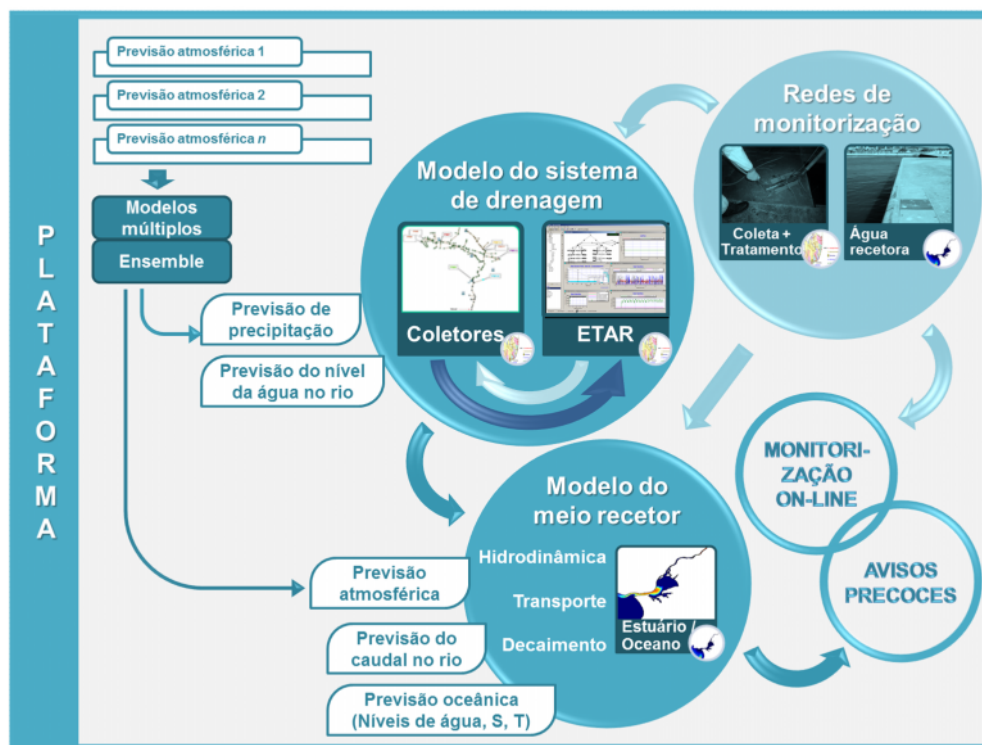


Figura 1. Esquema conceptual do sistema de previsão e monitorização em tempo real.

2.2. Desafios de implementação

A conceção e implementação de um sistema desta natureza coloca vários desafios, que importa atender no planeamento do trabalho, designadamente ao nível de:

- integração e calibração de modelos com escalas espaciais e temporais muito diferentes;
- integração das componentes hidrodinâmicas e de qualidade da água, particularmente no que se refere aos indicadores de contaminação fecal;
- obtenção de um conjunto suficiente de dados sinóticos de qualidade da água nos diferentes meios, para calibração dos modelos integrados;
- garantia de dados em tempo real para avaliação automática das previsões;

- obtenção de relações entre variáveis mensuráveis em tempo real e indicadores de poluição fecal; e
- garantia de uma estrutura de previsão eficiente para previsão atempada de eventos.

2.3. Metodologia

Assim, as principais atividades desenvolvidas no âmbito do presente trabalho compreenderam:

- o desenvolvimento de campanhas experimentais;
- a instalação de uma rede de monitorização em tempo real;
- a modelação matemática do sistema de drenagem, da ETAR e do estuário;
- a integração dos modelos com os dados e a implementação do sistema de previsão.

3. ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Lisboa desenvolve-se ao longo do estuário do Tejo e está dividida em várias bacias de drenagem, que encaminham as águas pluviais para o estuário através de uma rede de coletores extensa e maioritariamente unitária (Figura 2). A cidade está servida por três ETAR, das quais a ETAR de Alcântara serve a maior área, com cerca de 6000 ha, incluindo a bacia do caneiro de Alcântara, com 3200 ha. A ETAR de Alcântara foi dimensionada para servir 700 000 habitantes equivalente, com tratamento secundário em tempo seco (decantação lamelar assistida e biofiltração) e físico-químico avançado em tempo húmido (sistema de floculação com balastro de areia micrométrica Actiflo®). A ETAR dispõe de uma capacidade de tratamento instalada para um caudal de ponta de 3,3 m³/s em tempo seco e 6,6 m³/s em tempo de chuva. Atualmente, a ETAR recebe um caudal médio diário da ordem de 1,5 m³/s, dos quais cerca de 60 % afluem gravificamente pelo caneiro de Alcântara (“zona alta”) e os restantes 40 % provêm dos sistemas interceptores e elevatórios localizados ao longo da frente ribeirinha (“zona baixa”) (Figura 2).

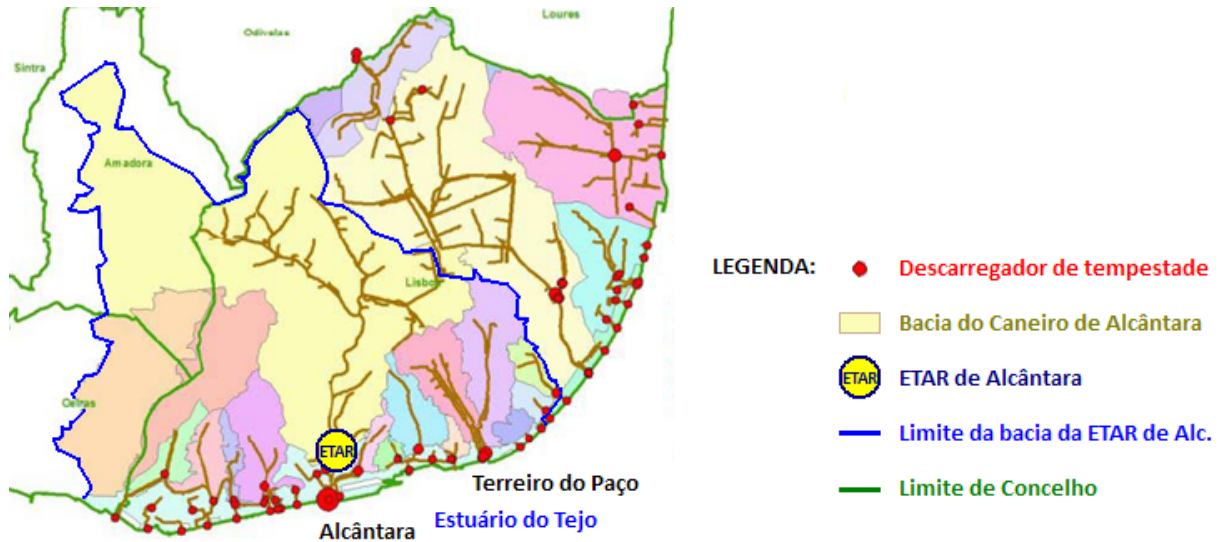


Figura 2. Principais bacias de drenagem de Lisboa e área servida pela ETAR de Alcântara.

4. RESULTADOS

4.1. Campanhas experimentais

Foram realizadas várias campanhas experimentais para caracterizar a qualidade da água em locais selecionados do sistema de drenagem e do estuário. Com estas campanhas pretendeu-se:

- conhecer a variação da qualidade da água e especificidades locais relevantes na conceção das estações de monitorização;
- obter informação sinóptica, na rede de coletores e no estuário, necessária à calibração e integração dos modelos matemáticos;
- calibrar os parâmetros medidos pelas sondas de monitorização em tempo real, por comparação com os resultados laboratoriais destes parâmetros em instantes de medição conhecidos;
- pesquisar relações entre parâmetros mensuráveis em tempo real pelas sondas e indicadores microbiológicos, que possam auxiliar na modelação dos indicadores microbiológicos e na definição de avisos de contaminação.

As campanhas foram realizadas sinoticamente em sete locais selecionados do sistema, compreendendo três pontos no estuário e quatro pontos do sistema de drenagem (Figura 3).

As três estações de medição no estuário localizam-se junto à margem, nos seguintes pontos: na zona próxima da descarga (mas já com alguma diluição), sob a Ponte 25 de Abril (ponto 1 da Figura 3); no Terreiro do Paço (ponto 7), a montante da área de estudo, para indicação da qualidade do estuário longe da zona de influência da descarga do Caneiro; e na zona da pluma de campo próximo do Caneiro (ponto 3B). A terceira estação do estuário teve uma localização inicial a montante da zona de descarga (perto do Cais do Sodré, 3A), a qual foi abandonada após a primeira campanha por estar demasiado afastada para propósitos de validação do modelo. As quatro estações de medição no sistema de

drenagem localizam-se: no caneiro de Alcântara, à entrada da ETAR de Alcântara (ponto 5); na secção de descarga da ETAR para o caneiro (ponto 4), na estação elevatória das Agências, a jusante do Terreiro do Paço (ponto 6); e na última câmara de visita do caneiro, imediatamente a montante da descarga para o estuário (ponto 2).

De forma a caracterizar um ciclo completo de maré, cada campanha experimental foi planeada com uma duração de 13 horas, com início (após instalação dos equipamentos) às 8:30 e termo às 21:30 horas. Durante esse período, foi planeada a medição horária e sinótica dos seguintes parâmetros de qualidade da água, utilizando sondas: temperatura, pH, condutividade, salinidade, oxigénio dissolvido e amónia. De 4 em 4 horas (com início às 9:30, embora este horário tenha sido ajustado em função da maré) foram colhidas amostras para análise dos seguintes parâmetros físico-químicos e microbiológicos em laboratório: pH, turvação, condutividade, sólidos suspensos totais (SST), carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO5), amónia, nitritos mais nitratos, fosfatos, coliformes fecais e *Escherichia coli* (*E. coli*).

A realização destas campanhas exigiu a utilização de diversos equipamentos e a colaboração de várias pessoas, de forma a assegurar a qualidade das medições e as condições de segurança necessárias, tendo sido possível através do envolvimento de equipas de várias instituições: LNEC, SimTejo, IST e Universidade de Coimbra.

Durante as campanhas estiveram instaladas sondas espectralométricas UV-Visível, da marca S::CAN, nos pontos 5 e 6 do sistema de drenagem e no ponto 3 do estuário, para medição em contínuo de parâmetros como SST, CQO, CQO filtrada e nitratos.

Foram realizadas seis campanhas, das quais quatro em tempo seco (15/07/2011, 06/09/2011, 11/12/2012 e 23/07/2013) e duas em tempo de chuva (03/04/2013 e 16/01/2014). Nas secções de monitorização em tempo real foram realizadas algumas campanhas adicionais, em tempo seco e chuvoso, para se obter um conjunto mais diversificado de amostras, para a calibração das sondas espectralométricas e o estudo de relações entre parâmetros. Estas relações constituem o núcleo de previsão de contaminação fecal e parte do suporte para o sistema de alerta precoce.

Os resultados das primeiras campanhas foram utilizados para seleccionar o local de instalação e conceber pormenores das estações de monitorização da qualidade da água em tempo real, uma no estuário e outra no sistema de coletores. Os resultados obtidos permitiram calibrar e validar o modelo hidrodinâmico acoplado / modelo de contaminação fecal - ECO-SELFE - desenvolvido para as águas estuarinas (Rodrigues *et al.*, 2011).



Figura 3. Localização das estações de medição nas campanhas experimentais.

4.2. Sistema de monitorização

De modo a validar e aferir em contínuo a qualidade das previsões do sistema integrado de modelação e dar confiança aos alertas produzidos, foi instalada uma rede de monitorização que inclui a medição em tempo real de um conjunto de parâmetros físicos e químicos. Esta rede complementa o sistema de monitorização da SimTejo, que permite a transmissão de dados em tempo real de três udómetros e de alguns caudalímetros instalados na rede de coletores da bacia. A monitorização rápida de indicadores microbiológicos é um assunto de investigação de ponta, para o qual ainda não existem no mercado sensores fiáveis.

No âmbito deste estudo foram instaladas duas estações de medição da qualidade da água em tempo real, uma no estuário e outra no sistema de drenagem. Ambas as estações estão equipadas com sondas espectrofotométricas UV-Vis da marca S::CAN e a estação do estuário conta ainda com sondas de amónia, condutividade e oxigénio dissolvido.

Para suportar e proteger as sondas, construíram-se estruturas inovadoras (Figura 4a) que utilizam as linhas de corrente e a turbulência nos coletores, e as correntes bidirecionais devido à variação da maré no estuário, de forma a manter a estabilidade dos equipamentos e contribuir para a sua autolimpeza. Estas estruturas foram construídas em aço inoxidável para resistir à corrosão. Os dados são transmitidos *online* para o sistema WIFF.



Figura 4. Estações de monitorização da qualidade da água: a) nos coletores; b) no estuário.

A calibração local no coletor, com base em 34 amostras recolhidas em tempo seco e chuvoso, confirmou a adequabilidade dos resultados de medição da sonda. Obtiveram-se coeficientes de correlação de 0.90 e 0.85 respetivamente para SST e CQO, e valores de ordenada na origem reduzidos. A calibração local no estuário, com base em 19 amostras, levou ao coeficiente de correlação de 0.70 para SST.

A manutenção do equipamento compreendeu três níveis de atuação, para garantir a segurança da sonda e a qualidade dos registos: 1) Limpeza automática das sondas por jatos de ar comprimido (intervalo de 15 minutos); 2) Inspeção, limpeza e manutenção regular dos equipamentos (semanal, por 3 pessoas para garantir a segurança); 3) Intervenção excecional, em reação à deteção de problemas (e.g., falhas de energia ou de transmissão de dados, leituras erróneas).

Os dados medidos devem ser verificados e processados a fim de detetar eventuais erros e inconsistências e vir a criar uma nova série de dados, livre de erros grosseiros e registos espúrios (*outliers*), representativa da dinâmica das concentrações poluentes (Fletcher e Deletic, 2008; Lepot *et al*, 2013). As séries de registos revelaram vários intervalos de tempo com valores de concentração absurdamente elevados (*outliers*), em particular durante os períodos noturnos, com caudais reduzidos. Assim, foi desenvolvida uma rotina com dois níveis de filtros, para eliminação de *outliers* e de valores duvidosos de SST e de CQO. A rotina está a ser preparada para também informar se os valores duvidosos ocorrem durante períodos chuvosos ou estão associados a alterações dos hidrograma de caudal, por forma a apoiar a decisão de os aceitar ou remover manualmente (Figure 7). O preenchimento de falhas é feito por interpolação apenas para curtos períodos de tempo seco e ignorado para períodos chuvosos ou longos, por forma a deixar em evidência a falha de registos adequados durante importantes períodos de tempo (Costa e David, 2014).

A rede de monitorização fornece dados *online* de qualidade da água para a plataforma *WebGIS* e para apoiar a vigilância e aviso precoce de eventos de contaminação. Para além de avaliar o impacto da descarga da bacia de Alcântara no estuário, esta plataforma também contribui para a monitorização global do estuário do Tejo.

4.3. Modelação matemática

4.3.1. Rede de coletores

O modelo matemático da bacia de drenagem de Alcântara foi desenvolvido em SWMM (Rossman, 2007) (Figura 5). O sistema modelado pode ser dividido em quatro subsistemas principais, designadamente: os modelos gravíticos da bacia do caneiro de Alcântara, a montante e a jusante da ETAR de Alcântara; o sistema interceptor e elevatório da frente ribeirinha Algés – Alcântara (a oeste da ETAR); e o sistema interceptor e elevatório da frente ribeirinha Terreiro do Paço – Cais do Sodré – Alcântara (a este da ETAR). O caudal modelado é forçado pelo modelo de previsão atmosférica, que por sua vez alimenta o modelo da ETAR e, em caso de descargas de tempestade, o modelo do estuário. O efluente tratado da ETAR é descarregado no modelo da zona baixa do caneiro de Alcântara, o qual é transportado até à descarga final do caneiro no estuário. O efluente tratado da ETAR e as descargas de tempestade da rede de coletores constituem os forçamentos da bacia de drenagem no modelo do estuário. O modelo da zona alta de Alcântara foi calibrado com base em 10 meses de dados e verificado para o período dos 10 meses seguintes.

A modelação da qualidade dos caudais afluentes à ETAR de Alcântara foi efetuada com base nos resultados do modelo SWMM, através de fórmulas empíricas, consoante as condições de tempo húmido ou tempo seco. Em tempo seco, foi considerado o padrão diário médio associada a cada parâmetro, nomeadamente SST, CQO e coliformes fecais, estimado com base nos registos existentes na ETAR. Em tempo de chuva a qualidade foi estimada por balanço de massas, tendo em conta a contribuição típica de tempo seco (quantidade e qualidade de acordo com respetivas curvas padrão) e avaliando, pela diferença entre o padrão diário e o caudal determinado pelo SWMM, a contribuição de origem pluvial. Em conformidade com diversos estudos recentes efetuados em Lisboa (Ferreira, 2006; Gondim, 2008; Queiroz *et al.*, 2012), admitiram-se os seguintes valores típicos para a contribuição das escorrências pluviais: 150 mg/l para a CQO, 100 mg/l para os SST e 10^4 NMP/100 ml para os coliformes fecais.

Foram consideradas duas fontes distintas de previsão da precipitação para forçamento do modelo no modo de previsão: o modelo de previsão da Universidade de Aveiro (climetua.fis.ua.pt/fields/continent/precip) e as previsões da página de internet Windguru (www.windguru.cz). Em Mota *et al.* (2014) faz-se a avaliação da qualidade da calibração e das previsões do modelo da zona alta do caneiro de Alcântara. Constatou-se que, devido à grande área da bacia, a incerteza na distribuição espacial da precipitação afeta significativamente a precisão dos resultados, os resultados foram mais precisos quando forçados pelas previsões da Universidade de Aveiro.

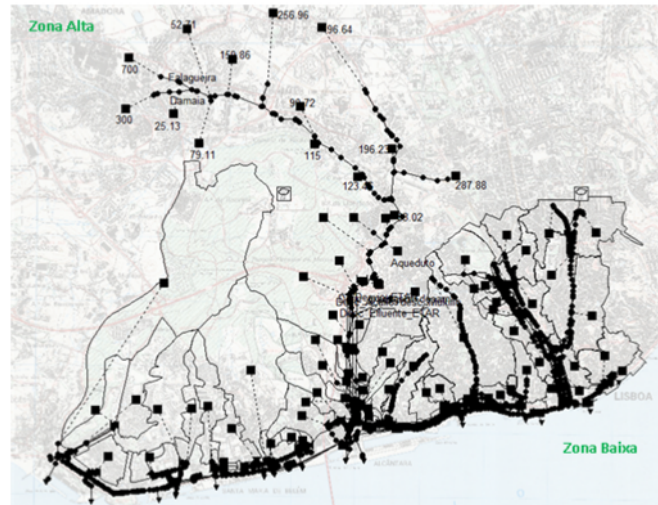


Figura 5. Modelo da rede de coletores

4.3.2. ETAR

O modelo hidráulico da ETAR foi construído com recurso ao software SWMM, tendo sido calibrado com base em dados de exploração previamente recolhidos. Foi desenvolvido um modelo simplificado semi-empírico para os parâmetros de qualidade (SST, CQO e coliformes fecais) para tempo seco e para tempo de chuva, que permite modelar a qualidade das águas residuais ao longo dos diferentes componentes da ETAR. Já concluída a primeira versão do modelo hidráulico da ETAR, será de salientar as dificuldades associadas à modelação do regime hidráulico do tratamento secundário realizado em 15 biofiltros. Por exemplo, a lavagem dos biofiltros que se realiza em tempo real depende do nível de colmatção existente, o que requer a ligação do modelo hidráulico com o modelo de colmatção do meio filtrante em função das condições de afluência em termos de qualidade. Atualmente o modelo de ETAR apresenta-se com uma programação do esquema de lavagens pré-definido em regime de 24 horas de forma estacionária. Não obstante as simplificações realizadas no modelo hidráulico da ETAR, a transformação do regime de caudal afluente à ETAR de Alcântara e o caudal efluente da ETAR, nas condições de tempo seco e tempo húmido, resultam em condições de fronteiras válidas ao objetivo do projeto, nomeadamente, à análise da gestão integrada com foque na qualidade do meio recetor.

No que se refere ao modelo simplificado da ETAR optou-se pela divisão em duas etapas, nomeadamente, o tratamento primário e o tratamento secundário. Sendo ainda necessário subdividir os cenários de modelação em tempo seco e tempo húmido. A construção do modelo baseou-se nos dados de monitorização coletados regularmente na ETAR, bem como em dados experimentais recolhidos em vários locais durante as campanhas realizadas. Atendendo à variabilidade diária das condições de afluência e funcionamento da ETAR, optou-se por testar a aplicação de um modelo de regressão múltipla à etapa de tratamento primário da ETAR de Alcântara, uma vez que estão disponíveis dados por períodos de 6 meses com frequência de 5 em 5 minutos, em condições de tempo seco e sem adição de reagentes. Previamente à aplicação da regressão, dado o ruído presente nos dados, foi necessário realizar um pré-tratamento inicial, que consistiu na: eliminação dos

dias com falta dados, ou valores de extremos ou valores repetidos; e construção do padrão de dias de tempo seco para as variáveis independentes e variável dependente.

Do tratamento de dados inicial foi possível obter um padrão de qualidade do afluente à ETAR e efluente do tratamento primário (caudal e concentração de SST e CQO), baseado em valores médios com amostragem de 5 minutos, e posterior aplicação de filtro de média móvel horária, ao longo das 24 horas. Face às correlações da variável dependente com as variáveis independentes, optou-se por analisar o funcionamento em dois períodos diários, dia e noite, das 7:00 às 20:00 e das 20:00 às 7:00, de forma a refletir a dimensão da bacia de drenagem e os hábitos diurnos e noturnos da população.

A aplicação do modelo de regressão com dados reais e aplicação à escala real é apresentada na figura seguinte. Os resultados obtidos foram satisfatórios, indiciando a aplicabilidade da regressão múltipla à previsão da qualidade do efluente da decantação primária. Para o tratamento secundário, optou-se nesta fase pela aplicação de um rendimento constante em termos de eficiência de remoção, baseado na análise do histórico obtido no projeto.

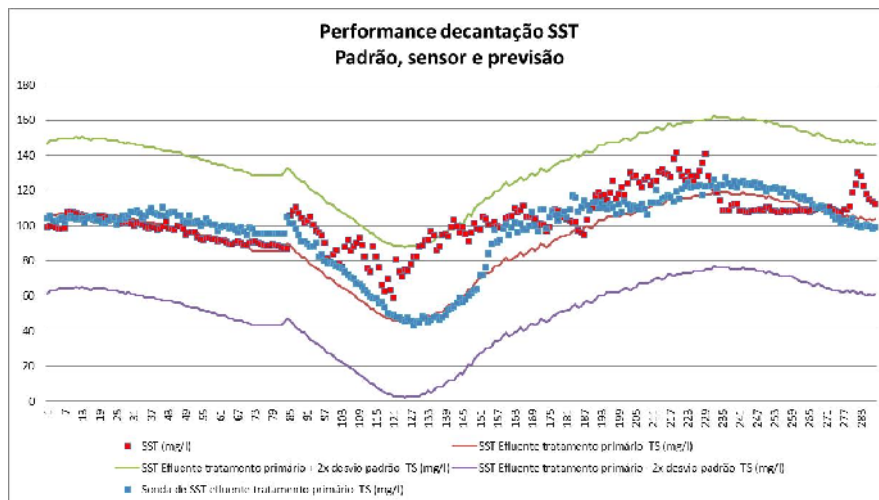


Figura 6. Padrão das variáveis dependentes e independentes

4.3.3. Estuário

A aplicação do modelo acoplado hidrodinâmico e de contaminação fecal ao estuário do Tejo foi baseada na aplicação preliminar de Costa *et al.* (2012), a qual foi validada por Rodrigues *et al.*, (2013). As simulações são realizadas com o modelo tridimensional ECO-SELFE em modo baroclínico, abrangendo uma área desde a zona oceânica próxima de Cascais até ao limite de montante próximo de Ómnias. A malha de cálculo horizontal apresenta uma resolução variável entre os 2 km e 1 m (Figura 7). As áreas com maior resolução localizam-se junto à zona de influência da descarga do caneiro de Alcântara, estando atualmente implementada uma malha mais completa, onde, para além da descarga do caneiro de Alcântara, as zonas de 6 descargas do sistema de drenagem Algés-Alcântara-Terreiro do Paço são igualmente bem resolvidas (Figura 7).

Nas simulações do meio recetor consideram-se as seguintes fronteiras abertas: i) a fronteira fluvial, a montante, relativa à descarga do rio Tejo; ii) a fronteira oceânica, a jusante, referente às condições na zona oceânica exterior (oceano Atlântico); iii) a fronteira relativa à descarga do caneiro de Alcântara; e iv) as fronteiras correspondentes a 6 pontos de descarga nos troços Terreiro do Paço-Alcântara e Alcântara-Algés. Os forçamentos de montante, da fronteira fluvial, são baseados na extrapolação dos dados disponíveis no SNIRH, relativos ao caudal e à temperatura do rio Tejo. Relativamente aos parâmetros de qualidade da água (coliformes fecais e *E. coli*), os dados disponíveis são utilizados para estabelecer uma climatologia/condição de referência para o forçamento da fronteira fluvial. A fronteira oceânica é forçada por níveis do mar e perfis de salinidade e temperatura, com base nas previsões do consórcio MyOcean (<http://www.myocean.eu.org/>). Quando estas previsões falham, os níveis são previstos através de sínteses harmónicas de maré, e dados de climatologia do Levitus para a salinidade e a temperatura. As fronteiras relativas às várias descargas são atualmente forçadas por séries sintéticas, estando em curso o acoplamento com o modelo de drenagem, através do forçamento com os resultados dos modelos de coletores a jusante. O modelo é também forçado com previsões atmosféricas de vento, temperatura do ar, pressão atmosférica e humidade do modelo WRF 9 km (disponíveis em <http://www.windguru.cz>) e de radiação solar e de longo comprimento do modelo GFS 50 km (disponíveis em <http://nomads.ncep.noaa.gov/>).

A descrição detalhada da aplicação do modelo ECO-SELFE ao estuário do Tejo encontra-se em Rodrigues *et al.* (2013).

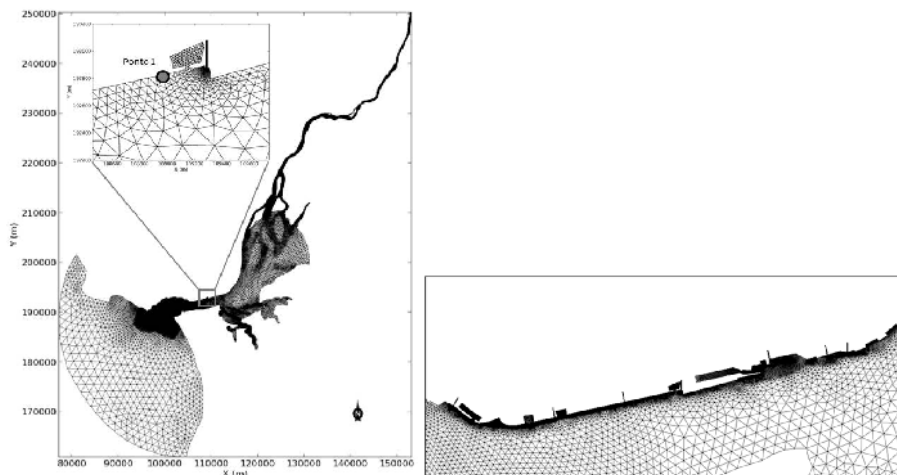


Figura 7. Modelo do estuário e detalhes da malha de cálculo, considerando 7 descargas

4.4. Integração dos modelos e dados e implementação do sistema de previsão

O sistema é gerido através da plataforma WIFF (denominada RDFS-PREPARED em Jesus *et al.*, 2012), que inclui a modelação integrada dos processos relevantes associados à bacia de drenagem, ETAR e meio recetor. O modelo da bacia de drenagem de Alcântara e o modelo do estuário do Tejo são acoplados através de acoplamento suave.

As medições da rede de monitorização estão disponíveis *online* e em tempo quasi-real para validação automática e contínua dos modelos e vigilância do comportamento dos diferentes subsistemas, designadamente dos coletores, ETAR e meio recetor.

O sistema integra um conjunto de *scripts* e de programas para a gestão automática de modelos e dados, o sistema de previsão associado aos modelos numéricos, a rede de monitorização e uma interface *online WebGIS*, disponível para computador e telemóvel (Gomes *et al.*, 2013). A Figura 8 mostra o fluxo dos dados entre as componentes dos modelos.

A plataforma de previsão em tempo real permite fazer previsões a 48 horas da dinâmica do sistema, devidamente validados de forma automática com dados disponíveis em tempo real.

No estuário do Tejo, as previsões em tempo real são aferidas diariamente de forma automática com os dados de níveis nos marégrafos de Cascais e do VTS, cujas medições estão disponíveis *online* em tempo real (Gomes *et al.*, 2013, Oliveira *et al.*, 2013).

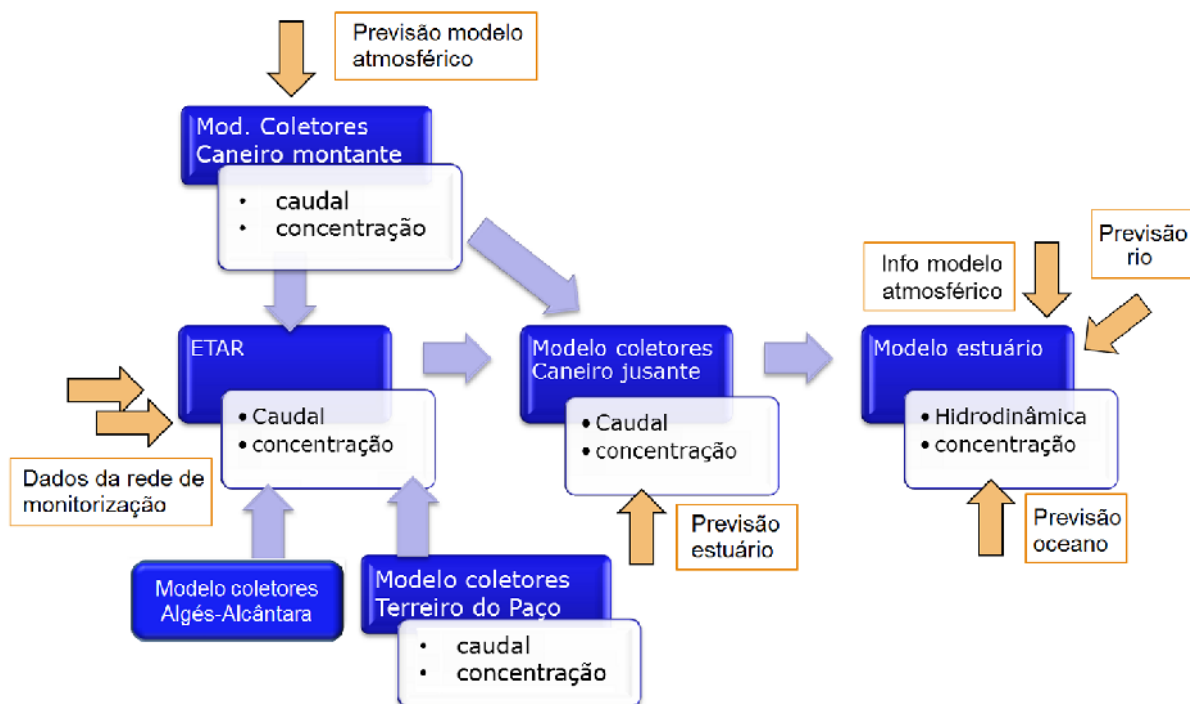


Figura 8. Fluxo esquemático dos dados entre as componentes dos modelos.

4.5. Acesso ao sistema e interface

Os resultados da previsão em tempo real do sistema de drenagem e meio recetor estão disponíveis numa interface *Web*, concebida para o apoio à gestão dos sistemas de drenagem. A interface tem um acesso restrito, permitindo a integração de toda a informação das redes de forma segura.

A Figura 9 apresenta uma vista global da interface, mostrando a informação de dois menus: 1) “Estuarine Forecast GIS”, onde foram selecionadas as previsões de concentração fecal no estuário; 2) “Real-Time Data”, onde se vê a localização das estações de monitorização

da qualidade da água e o processo de acesso aos dados, em tabela e gráficos. Os valores tabelados podem ser gravados em ficheiros externos.

A plataforma de monitorização pode ainda ser acedida através de dispositivos móveis, para maior comodidade na tomada de decisão pelas entidades gestoras. A Figura 10 mostra a interface da aplicação móvel para acesso aos dados da rede de monitorização em tempo real, estando as estações relativas a este estudo assinaladas nas caixas.

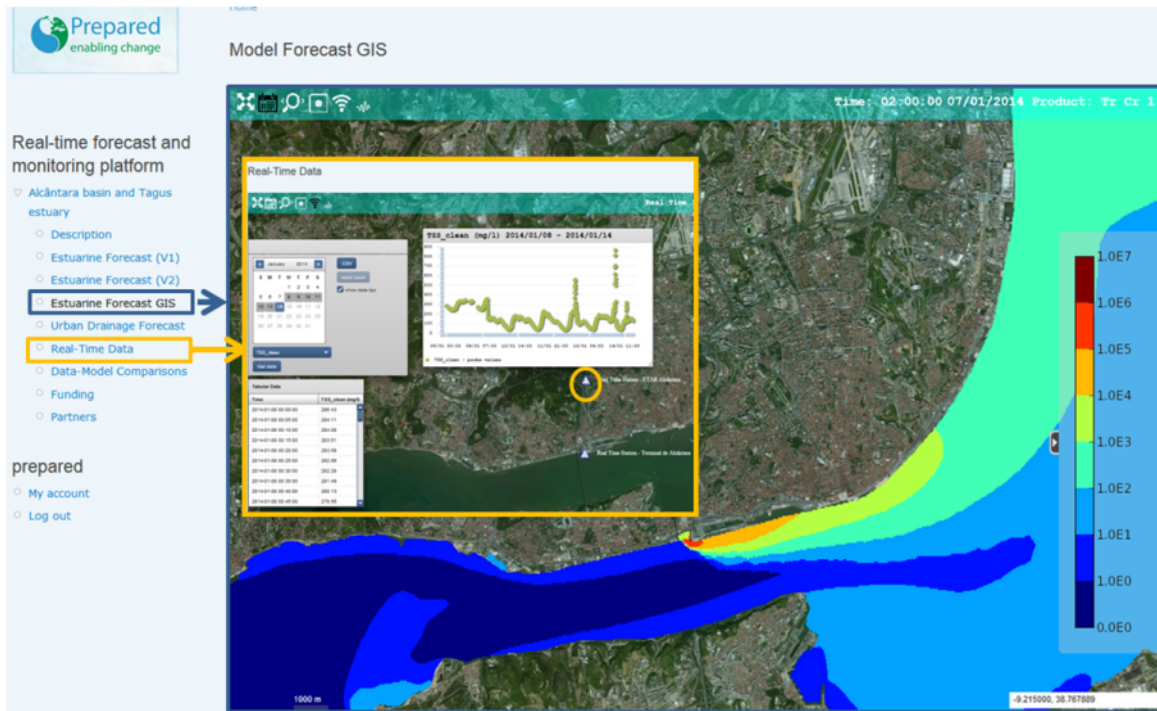


Figura 9. Vista global da interface, mostrando previsões de concentração fecal no estuário e a localização das estações de monitorização da qualidade da água.

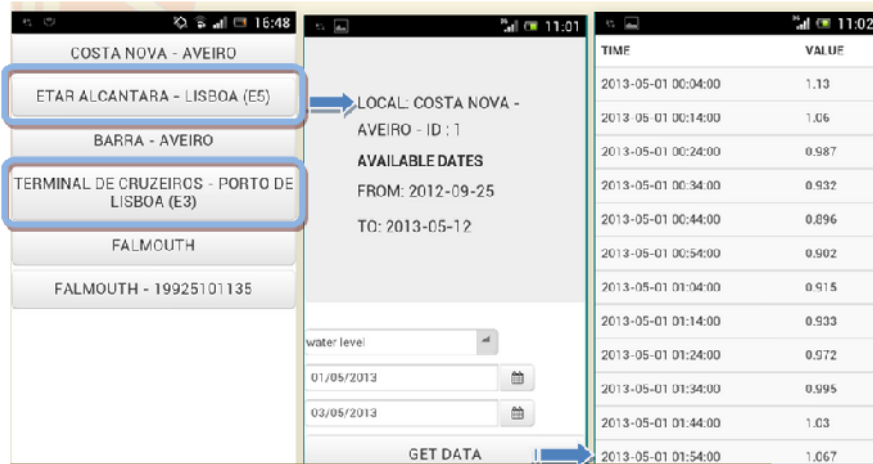


Figura 10. Aplicação móvel para acesso aos dados. As estações deste estudo estão assinaladas nas caixas.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste artigo é apresentada uma nova plataforma para gestão operacional da drenagem urbana, que considera todos os componentes relevantes de um sistema integrado (rede de drenagem, ETAR e meio recetor) e as respetivas interações num contexto de alterações climáticas. O sistema é baseado numa integração inovadora de modelos de previsão, desde a bacia de drenagem até ao meio recetor, com uma rede de monitorização *online* e em tempo real de parâmetros físicos e de qualidade da água. Esta plataforma *WebGIS* foi concebida para vigilância e apoio à decisão, podendo servir de suporte à emissão de alertas precoces de inundações ou de episódios de poluição dos meios recetores, designadamente de contaminação fecal de águas de recreio ou balneares, através da combinação da informação disponibilizada pelos modelos de previsão e pelos sensores.

A plataforma foi implementada em Lisboa, fornecendo previsões de 48 horas da contaminação fecal no estuário do Tejo, em função da modelação integrada da rede de drenagem de Alcântara, da ETAR e do estuário do Tejo. Foram instaladas duas estações de monitorização com transmissão de dados *online* e em tempo-real, para medição de parâmetros físicos e químicos no caniço de Alcântara e no estuário. Os dados são medidos através de sondas espectrofotométricas UV-Vis, tendo-se criado uma rotina para detetar erros e inconsistências e para criar novas séries livres de *outliers*. Os dados da rede de monitorização estão disponíveis *online* e em tempo quasi-real para validação automática e contínua dos modelos e para vigilância dos diferentes subsistemas. Os resultados de campanhas experimentais realizadas em tempo seco e chuvoso confirmaram a precisão das medições das sondas. Estas campanhas também serviram para fornecer dados para a calibração e integração dos modelos matemáticos e para pesquisar relações entre parâmetros mensuráveis em tempo real pelas sondas e indicadores microbiológicos, que auxiliem na modelação e na definição de avisos de contaminação.

Os trabalhos irão prosseguir com o estudo da propagação do erro na modelação em cascata e com a melhoria dos modelos de previsão da qualidade da água nos coletores e ETAR, com base num maior histórico de dados monitorizados e obtido em trabalhos experimentais.

Para além de contribuir para o melhor conhecimento do impacte das descargas urbanas no estuário, este sistema permite melhorar a operação da rede de coletores, sistemas elevatórios e ETAR, tendo em vista uma gestão mais eficiente da energia e de consumíveis.

Este sistema tem potencial para uma aplicação mais ampla, em outras cidades e outros corpos de água recetores. A sua aplicação depende apenas da disponibilidade de estudos de modelação do sistema de drenagem e da massa de água recetora e na disponibilidade de dados em tempo real para a sua validação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi cofinanciado pelo 7º PQ, através do Projeto PREPARED (FP7-ENV-2009-1 Grant Agr. nº 244232), pelo QREN, ao abrigo do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), no âmbito do COMPETE - Programa Operacional Fatores de Competitividade, através do Projeto SI-GeA (Projeto n.º23053), e pela Fundação para a

Ciência e Tecnologia (FCT), através do Projeto SIMAI (PTDC/AAC-AMB/102634/2008). A terceira autora é cofinanciada pela FCT através da bolsa SFRH/BPD/87512/2012.

Os autores agradecem ao Prof. António Melo Baptista (CMOP) e Prof. Joseph Zhang (VIMS) pelo modelo SELFE, ao Prof. Alfredo Rocha (Universidade de Aveiro e CESAM) pelas previsões atmosféricas, ao Instituto Geográfico Português e à Administração do Porto de Lisboa pela disponibilização dos dados *online* dos marégrafos, e à APA pela disponibilização dos dados de níveis *online* do sistema SNIRH. Os autores agradecem ao Eng.º António Frazão toda a disponibilidade da SimTejo para o envolvimento neste trabalho. Agradecem ainda a todos os que colaboraram na realização das campanhas experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costa J., David L.M. (2014). Monitorização de parâmetros de qualidade da água com sondas espetrofotométricas num sistema de drenagem urbana. In 12º Cong. da Água/16ºENASB. Lisboa.
- David L.M., Matos J. S. (2005). Combined sewer overflow emissions to bathing waters in Portugal. How to reduce in densely urbanised areas?. *Wat. Sci. & Tech.*, 52(9), 183-190.
- Ferreira F. (2006). *Modelação e gestão integrada de sistemas de águas residuais*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior Técnico. Univ. Técnica de Lisboa.
- Gondim, R. B. (2008). *Qualidade das águas pluviais em meio urbano*. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.
- Gomes, J.L., Jesus, G., Rodrigues, M., Rogeiro, J., Azevedo, A. and Oliveira, A. (2013). Managing a Coastal Sensors Network in a Nowcast-forecast Information System. In 6th Int. Workshop on Next Generation of Wireless and Mobile Networks (NGWMN-2013).
- Jesus, G., Gomes, J., Ribeiro, N.A., Oliveira, A., 2012. Custom deployment of a Nowcast-forecast information system in coastal regions. Proceedings of Geomundus 2012.
- Marsalek J., Rochfort Q., (2004). Urban wet-weather flows: sources of fecal contamination impacting on recreational waters and threatening drinking-water sources. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 67(20-22), 1765-1777.
- Mota T., David L.M., Rocha A., Jesus G., Oliveira A. (2014). Avaliação do modelo matemático da bacia de drenagem de alcântara e da aplicação a um sistema de previsão. In 12º Congresso da Água/16ºENASB/XVI SILUBESA. Lisboa.
- Oliveira A.; David, L. M.; Rodrigues M.; Santos, J; Póvoa, P.; David, C.; Matos, J.S.; Ferreira, F.; Jesus, G.; Costa, J.; Rogeiro J.; Mota T. (2013). Sistema de previsão em tempo real da dinâmica e qualidade da água de sistemas de drenagem urbanos e respetivos meios recetores. In 8º SILUSBA, Maputo, Moçambique, 12 p.
- Passerat J., Ouattara N.K., Mouchel J.M., Vincent R. and Servais P. (2011). Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River. *Water Research*, 45(2), 893-903.
- Queiroz G., Ferreira F., Santos R., Monteiro S., Matos J.S. (2012). Caracterização de qualidade de escorrências pluviais da cidade de lisboa – origem da poluição microbiológica. *Atas do 15º ENASB*, Universidade de Évora.
- Rodrigues M., Costa J., Jesus G., Fortunato A.B., Rogeiro J., Gomes J., Oliveira A., David L.M. (2013). Application of an estuarine and coastal nowcast-forecast information system to the Tagus estuary. Proceedings of the 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research (Lisboa, Portugal), 10 pp.