

# IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE ALERTA E PREVISÃO PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS BALNEARES COM BASE EM FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO E MONITORIZAÇÃO AUTOMÁTICA

Cláudia Viegas\*, Rodrigo Fernandes\*, Eduardo Jauch\*, Susana Nunes\*\*, Catarina Lopes\*\*\*, Hilda de Pablo\*, Ramiro Neves\*

\*MARETEC- Instituto Superior Técnico; \*\*APA- Agência Portuguesa do Ambiente;

\*\*\* SANEST – Saneamento da Costa do Estoril, S.A.

## Resumo

Com base em ferramentas de modelação e de monitorização ambiental foi implementado um sistema de alerta e previsão da qualidade das águas balneares de Carcavelos, Torre e Santo Amaro de Oeiras (Portugal). Este sistema de alerta e previsão, desenvolvido pelo Maretec- Instituto Superior Técnico (IST), recorre à modelação matemática (MohidWater), à monitorização ambiental e medição automática dos níveis hidrométricos das ribeiras que afluem às zonas costeiras. Foi utilizada a metodologia lagrangiana do modelo MOHID, que simula e quantifica a contribuição destas ribeiras para cada praia. O alerta inclui o envio de e-mail e SMS em caso de subida dos níveis hidrométricos das ribeiras, e a previsão diária da qualidade das águas balneares, quantificando o risco de contaminação a que esta está exposta. O sistema é usado pela Agência Portuguesa do Ambiente, como ferramenta auxiliar de avaliação e gestão de risco durante a época balnear.

**Palavras-chave:** alerta e previsão, contaminação fecal, modelação matemática, água balnear.

## 1. Introdução

A Nova Diretiva das Águas Balneares, Diretiva 2006/07/CE, transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei nº 135/2009 de 3 de Junho, alterado pelo Decreto-Lei nº 113/2012 de 23 de Maio, estabelece um novo regime de identificação, gestão, monitorização e classificação da qualidade das águas balneares (tabela 1), e prestação de informação ao público sobre as mesmas. Esta nova diretiva tem uma importante componente de informação ao público, e requer um conhecimento prévio dos possíveis problemas e acidentes de poluição que podem afetar a qualidade da praia permitindo a proteção da saúde humana e melhoria da qualidade do ambiente. Considera a possibilidade de ocorrência de acidentes de poluição, como é o caso de chuvas durante a época balnear, desde que estes acidentes estejam definidos no Perfil de Água Balnear (PAB), e que sejam implementadas medidas de previsão e minimização dos seus impactes. Nesta perspetiva de previsão, é recomendada a utilização de ferramentas de monitorização automática e modelação, permitindo a criação de alertas e de medidas de prevenção, de forma a preparar atempadamente resposta a acidentes de poluição.

Tabela1- Limites de qualidade para a classificação da qualidade das águas, anexo I do Decreto-Lei n.º 135/2009

Parâmetro	Classificação			
	Excelente	Boa	Aceitável	Método
Enterococos Intestinais (ufc/100ml)	100 (*)	200 (*)	185(**)	ISO 7899 1 ou ISO 7899-2
Escherichia coli (ufc/100ml)	250 (*)	500 (*)	500 (**)	ISO 9308 3 ou ISO 9308 1

As águas balneares localizadas em zonas costeiras próximas de centro urbanos e na proximidade de ribeiras e rios, como é o caso da Costa do Estoril, podem estar sujeitas às descargas de contaminação fecal, quer pela ocorrência de avarias/sobrecargas nos sistemas de saneamento após chuvas, quer através da descarga das ribeiras e rios ao longo da linha de costa.

A Costa do Estoril é uma zona costeira com grande influência das correntes litorais, e logo com diferentes comportamentos de circulação das massas de água, fazendo com que a poluição

descarregada num ponto da costa possa afetar zonas balneares próximas. Assim é necessário fazer estudo de cenários com base em modelos hidrodinâmicos e em modelos de dispersão e decaimento, capazes de quantificar a contribuição de cada uma das fontes de poluição para a qualidade da água balnear. Os modelos lagrangianos (Leitão, 1996) permitem quantificar a contribuição de cada uma das fontes para a contaminação global da água balnear e por isso são os mais indicados para estudar a dispersão de plumas de contaminação. O trabalho de monitorização é essencial para fornecer as condições de fronteira, calibrar e validar o modelo de previsão.

## 2. Metodologia

A implementação do sistema de alerta recorre a duas importantes componentes, a monitorização e a modelação. A monitorização ambiental permite caracterizar a zona de estudo, e identificar os possíveis problemas, a modelação permite entender a dinâmica costeira e explicar os fenómenos de poluição. Foram utilizados os dados históricos de monitorização da qualidade das águas das ribeiras e águas balneares para caracterizar a zona de estudo, e identificar possíveis problemas, como é o caso das descargas das ribeiras ao longo da costa. Foram instaladas estações hidrométricas automáticas em 4 ribeiras (Laje, Barcarena, Sassoeiros e Marianas), para medição dos níveis hidrométricos em contínuo, e emissão de alertas de nível. Os dados de monitorização foram úteis para validar o modelo implementado. Uma vez validado o modelo para diferentes condições, foi feito o estudo de cenários, para estimar a contribuição das várias ribeiras para as águas balneares. Com base nos dados da monitorização automática em ribeiras, e nos resultados do modelo foi criado um sistema de alerta e previsão que fornece diariamente previsões de qualidade da água e envia alertas SMS em caso de subida dos níveis hidrométricos das ribeiras.

## 3. Local de Estudo

As águas balneares de Santo Amaro de Oeiras, Torre e Carcavelos, localizadas na Costa do Estoril são muito frequentadas por banhistas e praticantes de atividades de lazer e desporto, tanto pela proximidade às zonas urbanas como pela sua boa qualidade. Apresentam, por norma, boa ou excelente qualidade (Tabela 2), no entanto como estão localizadas em zonas urbanas, próximas de descargas de várias ribeiras: Barcarena, Laje, Sassoeiros e Marianas (Figura 1), poderão estar expostas a acidentes esporádicos de contaminação fecal.

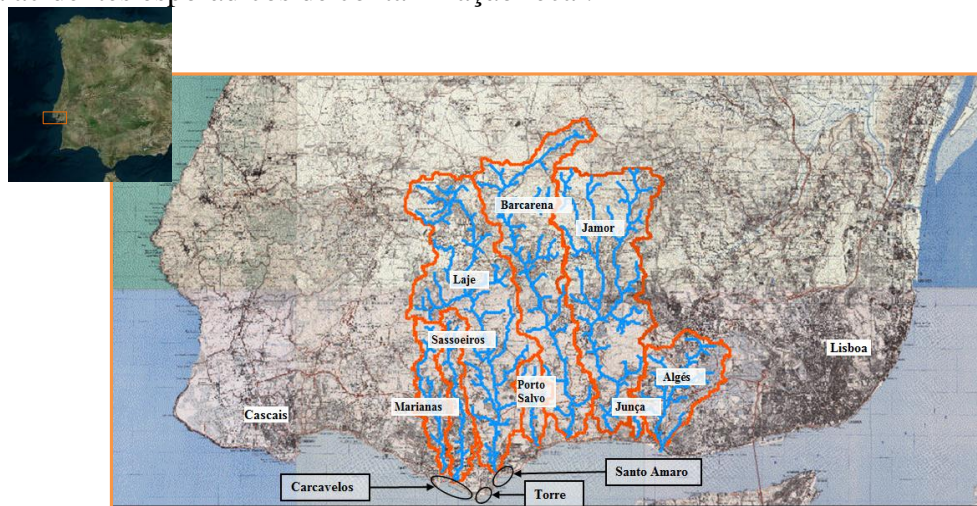


Figura 1- Zona de estudo, localização das águas balneares e ribeiras afluentes.

Tabela 2- Classificação da qualidade das águas balneares 2009-2012

Praia	Classificação			
	2009	2010	2011	2012
Santo Amaro Oeiras	Boa*	Boa*	Boa*	Boa*
Torre	Boa*	Boa*	Boa**	Excelente**
Carcavelos	Boa*	Boa*	Excelente**	Excelente**

\* Segundo o Decreto-Lei nº236/98, de 1 de Agosto; \*\* Segundo o Decreto-Lei nº 113/2012, de 23 de Maio.

### 3.1 Caracterização hidrodinâmica da região

O sistema hidrodinâmico da zona de estudo caracteriza-se por um movimento oscilatório entre o estuário do Tejo e o mar, fortemente dominado pela maré. Este escoamento associado às irregularidades da linha de costa (baías) e às velocidades das correntes, origina recirculações que condicionam o transporte da poluição ao longo da linha de costa (SANEST, 2006). As zonas de recirculação que se formam junto às praias (Figura 2) separam o escoamento principal dominado pela descarga do estuário, do escoamento local, tornando as propriedades da água mais dependentes das fontes locais de poluição. Estas recirculações podem ser benéficas quando não existem descargas diretas na própria zona de recirculação, mas podem ser prejudiciais quando há descargas nestas zonas, sendo o caso da praia de Santo Amaro de Oeiras e Carcavelos, com a descarga de ribeiras junto do areal.

A praia de Santo Amaro de Oeiras é imediatamente adjacente à foz da Ribeira da Laje, cuja descarga pode afetar a qualidade da água banear. Nesta praia forma-se um vórtice na enchente e outro na vazante, que dificulta a aproximação das plumas das ribeiras de montante, mas em contrapartida torna esta praia vulnerável, especialmente a descargas provenientes das Ribeiras da Laje e Porto Salvo, que conseguem atingir a praia antes da formação do vórtice, permanecendo a recircular até o vórtice se desfazer com a mudança da maré.

A água banear da Torre, não tem nenhuma descarga direta, é confinada entre o Forte de São Julião da Barra e o Porto de Recreio de Oeiras, o que origina a formação de um vórtice que roda no sentido horário durante a vazante e no sentido contrário durante a enchente. Este vórtice mantém afastada a água proveniente do estuário, reduzindo a probabilidade de poluição.

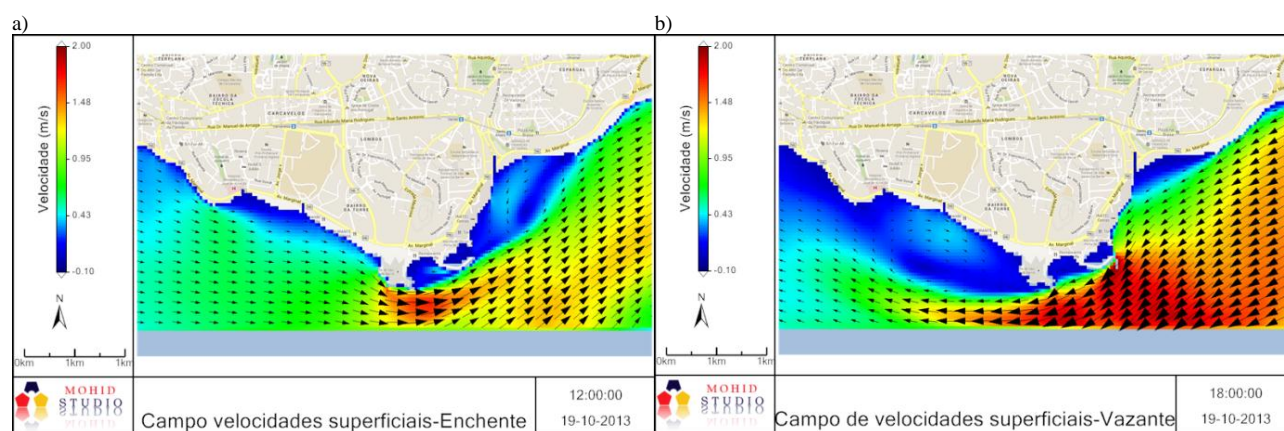


Figura 2- Campo de velocidades superficiais na enchente (a) e na vazante (b) no dia 19 de outubro de 2013

Na praia de Carcavelos forma-se um vórtice durante a vazante, que dificulta a entrada de plumas das ribeiras de montante, mas esta praia pode ser afetada pela ribeira de Sassoeiros, que desagua no meio da praia, e a das Marianas que desagua no extremo Oeste. Durante a época balnear para evitar problemas de contaminação fecal, o caudal destas ribeiras é desviado junto à foz, evitando assim que estas descarreguem na zona balnear (Neves, et al, 2009).

### 3.2 MOHID – Modelação Operacional

A utilização de ferramentas de modelação é essencial para a compreensão da dinâmica de todo o sistema costeiro, ajudando a explicar fenómenos locais, como é o caso da hidrodinâmica local e da dispersão das plumas das ribeiras.

Para simular a dinâmica costeira da Costa do Estoril, recorreu-se à metodologia de modelos encaixados, que possibilita a simulação ao nível das praias com uma resolução de 30 metros permitindo simular as recirculações de pouca escala que acontecem ao nível das águas balneares. MohidWater é um modelo numérico, desenvolvido no IST e em constante desenvolvimento, que simula a dinâmica costeira, sendo utilizado em vários casos de estudo no Estuário do Tejo, e Costa do Estoril (Leitão, 2003; Fernandes, 2005; Saraiva et al., 2007; Mateus et al., 2008; Viegas, 2009), assim como noutros estuários e zonas costeiras, onde foi demonstrada a sua capacidade de simular os processos físicos e biogeoquímicos da coluna de água (Vaz et al., 2007).

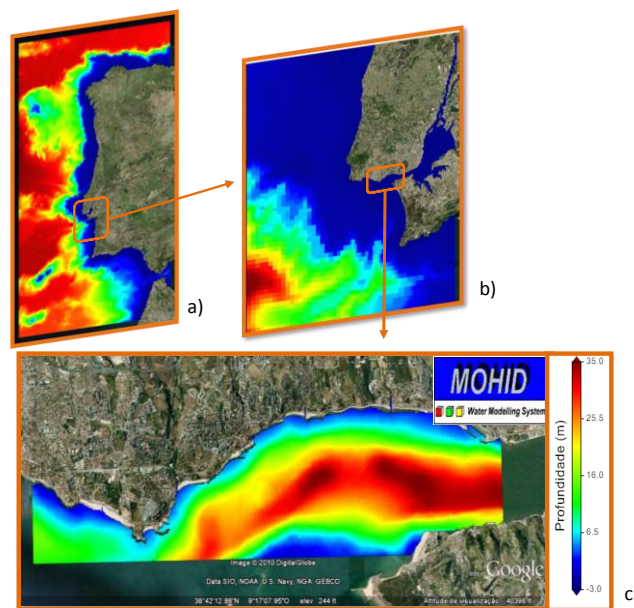


Figura 3- Esquema dos modelos encaixados utilizados no modelo operacional da Costa do Estoril

A configuração do modelo consiste numa técnica de “downscaling” composta por 3 modelos encaixados, representados na Figura 3, em que se utiliza a solução de um modelo de maior escala para fornecer as condições de fronteira de um modelo localizado e de menor escala. O primeiro modelo, PCOMS (Figura 3 a)) tem uma resolução horizontal de 5x5 km, fornece resultados de maré, campos de velocidades, densidade, temperatura, salinidade e qualidade da água para toda a costa portuguesa. É forçado na superfície por previsões do modelo MM5 operado no IST também



em modo operacional (<http://meteo.ist.utl.pt>) e forçado na fronteira oceânica por assimilação de dados para a maré e previsões do modelo FES2004, e por resultados do modelo Mercator-Ocean PSY2V4 para o Atlântico Norte obtidos através do projeto [www.myocean.eu](http://www.myocean.eu), do qual o IST é um dos parceiros. O segundo modelo, TAGUS 3D, com resolução de 300 metros, simula a qualidade da água do estuário do Tejo, com as melhores condições de fronteira oceânica e atmosférica, e dados horários de caudal provenientes da estação hidrométrica de Almourol (17G/02H), disponibilizados no Sistema Nacional de Recursos Hídrico (SNIRH). O terceiro modelo, Carcavelos-Belém, é um modelo de alta resolução, com uma resolução de 30 metros, permitindo a simulação das propriedades da água e da hidrodinâmica com recirculações locais ao nível das praias. Após resolvida a hidrodinâmica a nível das praias, é efetuada de forma *off-line* em 15 minutos, a simulação da dispersão das descargas das várias ribeiras ao longo da costa do Estoril, recorrendo à abordagem lagrangiana, obtendo previsões de qualidade do modelo Parede-Belém, com a resolução de 30 metros. As previsões são disponibilizadas diariamente às autoridades competentes na gestão das águas balneares.

### **3.3 Modelo Lagrangiano**

As descargas das ribeiras que desaguam ao longo da Costa do Estoril são simuladas utilizando a formulação lagrangiana do MOHID, que permite individualizar o contributo de cada uma das ribeiras para cada zona, em cada instante. Parâmetros como a diluição inicial, dispersão, velocidade aleatória, aumento/diluição dos traçadores foram explicados em Viegas, 2009, e Leitão, 1996. A mortalidade bacteriana é calculada pelo modelo de Canteras (Canteras, 1995), que parametriza a taxa de mortalidade em função da radiação solar, salinidade e temperatura. A equação de Canteras foi previamente testada e utilizada em várias aplicações sendo a taxa de mortalidade calculada em cada iteração em função desses parâmetros (SANEST, 2004; Viegas, 2010, Neves, 2010). A metodologia lagrangiana tem a vantagem de individualizar o contributo de cada origem, e manter essa informação ao longo da simulação, permitindo identificar a contribuição da pluma de cada uma das ribeiras em cada uma das praias. A descarga de cada ribeira é simulada através de traçadores lagrangianos, cuja concentração é definida a partir dos valores históricos de qualidade das ribeiras, e o volume é estimado a partir do valor de nível hidrométrico e respetiva curva de vazão, para as ribeiras de Barcarena, Laje, Sassoeiros e Marianas, ou de valores históricos para as restantes. A descarga de cada ribeira é simulada lançando 20 traçadores lagrangianos por minuto, associando a cada um deles o número de coliformes fecais descarregados pela ribeira durante esse período (caudal\*concentração).

## **4. Monitorização**

### **4.1 Monitorização clássica**

A monitorização ambiental é essencial tanto para a validação de modelos, como para a obtenção de dados em tempo real. A entidade responsável pela monitorização das águas balneares oficiais é a APA, extinta ARH-Tejo. A monitorização de cada água balnear é quinzenal e os resultados são publicados em placards no local, e na internet, através do site da ARH-Tejo <http://www.arhtejo.pt>. A SANEST, S.A., também faz monitorização tanto nas águas balneares como nas ribeiras afluentes. Foram efetuadas medições de caudal nas ribeiras do Jamor, Barcarena, Laje, Sassoeiros e Marianas, em diferentes situações de caudal e nível hidrométrico, para se obterem curvas de vazão para estas ribeiras.

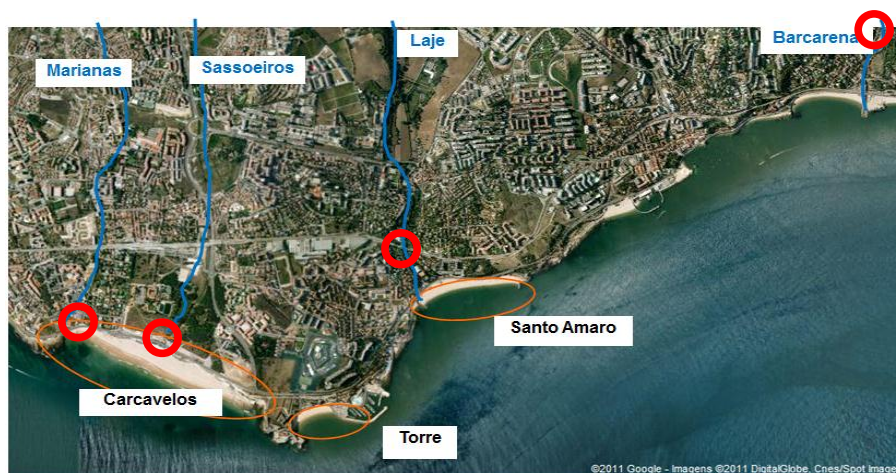


Figura 4 Localização das águas balneares e das estações hidrométricas automáticas

## 4.2 Monitorização Automática

Foram instaladas estações hidrométricas nas ribeiras de Barcarena, Laje, Sassoeiros e Marianas, (Figura 4), que medem em contínuo o nível hidrométrico, registam-no periodicamente (de 15 em 15), e enviam remotamente os dados diariamente para o IST, onde são automaticamente gravados na base de dados e publicados na internet. O INAG tem estações hidrométricas nas ribeiras da Laje, Jamor e Barcarena, que registam os dados horários de nível, que são posteriormente publicados no sítio de Internet <http://snirh.pt/>. Estas estações enviam alertas em caso de subida de nível. Para cada uma das ribeiras foi estabelecido um nível hidrométrico a partir do qual o caudal das ribeiras pode colocar em risco a qualidade das águas balneares. Quando este nível é atingido as estações enviam automaticamente um alerta por SMS indicando o nível hidrométrico, e os dados para o computador central. Recorrendo ao nível hidrométrico, e às curvas de vazão são obtidos os valores de caudal utilizados no modelo de previsão.

## 4.3 Modelo de previsão

Utilizando os valores de caudal diários, os valores de contaminação históricos das ribeiras, e recorrendo ao MOHID as descargas das ribeiras são simuladas através de traçadores lagrangianos. O risco de contaminação da praia depende do valor de contaminação esperado para essa praia e da probabilidade de contaminação. A probabilidade de contaminação é calculada, tendo em conta o volume da água contaminada, isto é fazendo uma razão entre o volume de água com contaminação e o volume total da água onde os banhistas podem nadar. Assim é necessário utilizar um método de integração da informação que responda a três perguntas:

- Há água contaminada na zona balnear? Qual a concentração?
- Qual é a probabilidade de um banhista estar em contacto com essa água?
- Qual é a origem da contaminação?

Para quantificar a qualidade das águas balneares, os resultados da dispersão das plumas das ribeiras foram analisados em zonas limitadas, caixas de monitorização, em que cada água balnear é uma caixa de monitorização. A concentração da água contaminada é calculada com base nas concentrações dos traçadores ainda contaminados, e a probabilidade de um banhista estar em

contacto com essa água é calculada comparando o volume ocupado pela água contaminada com o volume da água balnear (Neves, 2009).

Foram estabelecidos níveis de risco tendo em conta a probabilidade de contaminação e os objetivos de qualidade da Diretiva 2006/07/CE, que recorre aos percentis 90 e 95 para classificar a qualidade da água. Assim considerou-se que a água balnear:

- Tem qualidade excelente, se a probabilidade de contaminação for inferior a 1%;
- Tem qualidade suficiente se a probabilidade de contaminação for entre 1 e 5%;
- Tem má qualidade se a probabilidade de contaminação for superior a 5%.

É atribuída uma previsão da qualidade da água em intervalos de 3 horas. Assim, sempre que ocorra um risco de contaminação prevê-se que existe probabilidade de o banhista entrar em contacto com água contaminada. Para garantir águas balneares de excelente qualidade o risco de contaminação deve ser Zero. A Figura 5 mostra um exemplo do mapa de risco produzido diariamente para as águas balneares.

Mapas de Risco de Contaminação das Praias (Costa do Estoril)			
Day Forecasted: 18/09/2013			
Intervalo de Tempo	Carcavelos	Torre	Santo Amaro
00:00 - 03:00			
03:00 - 06:00			
06:00 - 09:00			
09:00 - 12:00			
12:00 - 15:00			
15:00 - 18:00			
18:00 - 21:00			
21:00 - 00:00			

Legenda			
Risco de contaminação	Risco 2	Risco 1	Risco 0
Probabilidade do banhista estar em contacto com água	>5%	]1%-5%[	<1%

Figura 5 Previsão do risco de contaminação das Águas Balneares da Torre e Santo Amaro de Oeiras para o 18 de Setembro de 2013, tendo em conta as descargas das ribeiras.

## 5. Modelo Operacional de previsão da qualidade das águas balneares

O modelo desenvolvido foi aplicado de forma operacional, produzindo e publicando diariamente previsões a 48h da qualidade das águas balneares. Para esta previsão o modelo utiliza os resultados do modelo hidrodinâmico, os caudais das ribeiras, a partir dos valores mais recentes de nível obtidos pelas estações hidrométricas automáticas, e respetivas curvas de vazão, e o valor de contaminação das ribeiras (média histórica). O modelo corre diariamente às 7h30, utilizando os valores de nível das ribeiras obtidos às 7h, e faz uma previsão de 48h para os riscos de contaminação das praias de Carcavelos, Torre e Santo Amaro de Oeiras. A metodologia foi implementada em 2011, e está a correr de forma operacional desde então.

## 6. Sistema de Alerta

Foi implementado um sistema de alerta para as praias (Figura 6), associando a capacidade de previsão das ferramentas de modelação com as estações automáticas.

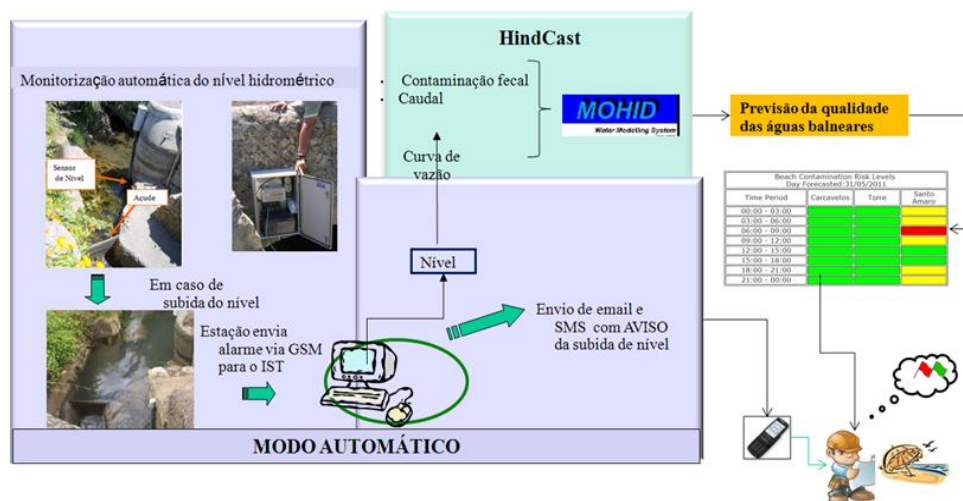


Figura 6 - Representação esquemática do sistema de alerta implementado.

Para cada uma das estações hidrométricas das ribeiras de Sassoeiros, Marianas, Laje e Barcarena foram identificados os valores de nível hidrométrico a partir dos quais a qualidade das águas balneares poderá ficar em risco. Sempre que o nível hidrométrico ultrapasse o nível de risco as estações enviam um alerta automático. Esse alerta é recebido sob a forma de SMS para os utilizadores interessados (IST, SANEST, ex-ARH-Tejo, CMO, CMC), e sob a forma de dados no IST. Assim que os dados das estações chegam ao IST, são automaticamente gravados na base de dados. O modelo está preparado para correr de hora a hora, assim após um alarme, no espaço de uma hora (no máximo), o modelo irá efetuar uma nova simulação, considerando os mais recentes dados de nível, e irá criar uma nova previsão da qualidade das águas balneares. Também é possível a um operador no IST, fazer uma nova simulação (semi-automática), assim que recebe um alerta, obtendo os resultados de previsão cerca de 15 minutos após o alarme. Os novos resultados de previsão são publicados na internet.

## 6. Resultados

Durante a época balnear de 2011 e 2012 as previsões de qualidade das águas balneares, a emissão de alertas, a performance do modelo de previsão, e publicação dos dados foram validados. Durante o ano de 2013 as estações hidrométricas foram vandalizadas, e foi roubado material pelo que não é possível fazer uma validação dessa época balnear.

Para mostrar a efetividade do modelo de previsão e alerta são apresentados os resultados para as águas balneares de Santo Amaro de Oeiras e Carcavelos. Foi escolhida a época de 2011 para apresentação dos resultados, pois nesta época foram identificadas várias situações de contaminação fecal tanto na Praia de Carcavelos como na de Santo Amaro de Oeiras.

Ao longo desta época balnear os níveis hidrométricos ultrapassaram os níveis de alerta nos dias 1, 2, 6 e 17 de Maio, de 28 de Maio a 1 de Junho, 20 e 31 de Agosto, e 1 e 4 de Setembro, como o se pode verificar no gráfico da Figura 7, onde estão representados os níveis hidrométricos das ribeiras de Sassoeiros e Marianas. O aumento de nível dos dias 26 de Junho, 20 de Agosto e 4 de Setembro, ocorreram durante pouco tempo, e não provocaram casos de má qualidade.



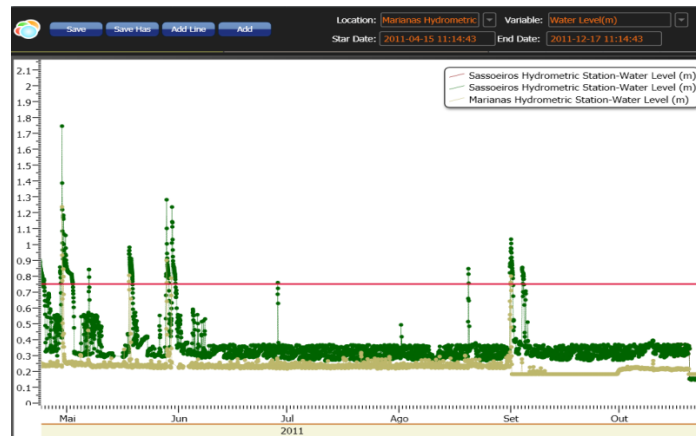


Figura 7 Representação dos níveis hidrométricos das ribeiras de Marianas e Sassoeiros, ao longo da época balnear

Na Figura 8 estão apresentados, a azul, os resultados da monitorização efetuada nas praias de Santo Amaro e Carcavelos, durante a época balnear de 2011, assim como os resultados de risco de contaminação obtidos pelo modelo, a vermelho.

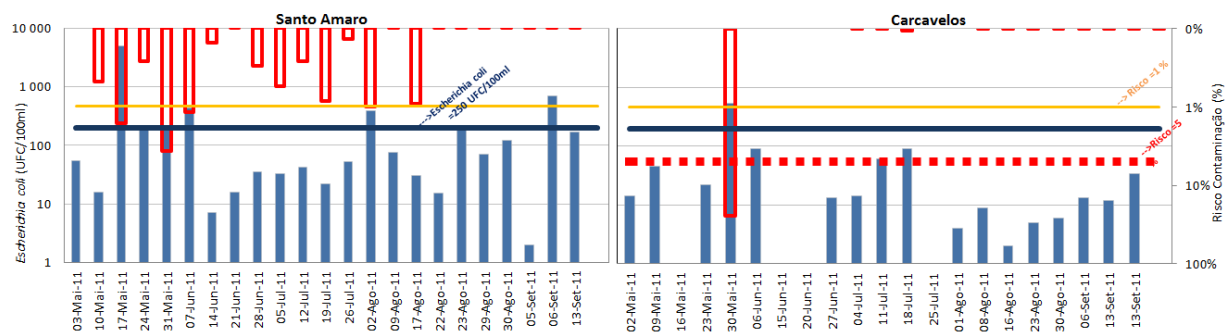


Figura 8 Representação dos resultados da monitorização efetuada nas águas balneares (a azul), e dos níveis de risco de contaminação previstos pelo modelo (a vermelho) nos mesmos dias.

Como se pode verificar, na Praia de Santo Amaro, sempre que foram obtidos resultados de má qualidade (*ecoli*>250ufc/100ml) o modelo previu um risco de contaminação superior a 1%, o que indicava a possibilidade de existir contaminação. Os resultados obtidos na praia de Carcavelos também mostram que o modelo teve eficácia nas previsões de risco em todos os casos. No único caso em foi detetada contaminação fecal, o modelo indicou que existiria risco de contaminação, e superior a 5%, que é indicativo de águas de má qualidade, o que está de acordo com o valor monitorizado que era superior a 250 ufc/100ml. Todos os casos de contaminação fecal identificados ocorreram em dias em que houve aumento dos níveis hidrométricos das ribeiras. No gráfico da Figura 9 pode-se analisar em detalhe a contribuição das várias ribeiras para a qualidade das águas balneares de Santo Amaro e Carcavelos no dia 30 de Maio de 2011. Como se pode verificar, na praia de Santo Amaro, mais de 90% da contribuição é da Ribeira da Laje (a verde), existindo uma pequena contribuição da Ribeira de Porto Salvo (a azul claro). Na praia de carcavelos as ribeiras de Marianas e Sassoeiros, são as únicas que contribuem para a contaminação fecal existente. A ribeira das Marianas tem uma contribuição superior à dos Sassoeiros devido ao seu caudal, que é, por norma, mais elevado. Este tipo de resultados permite

identificar qual a fonte de contaminação que pode estar a provocar a contaminação fecal na praia, ao longo do dia.

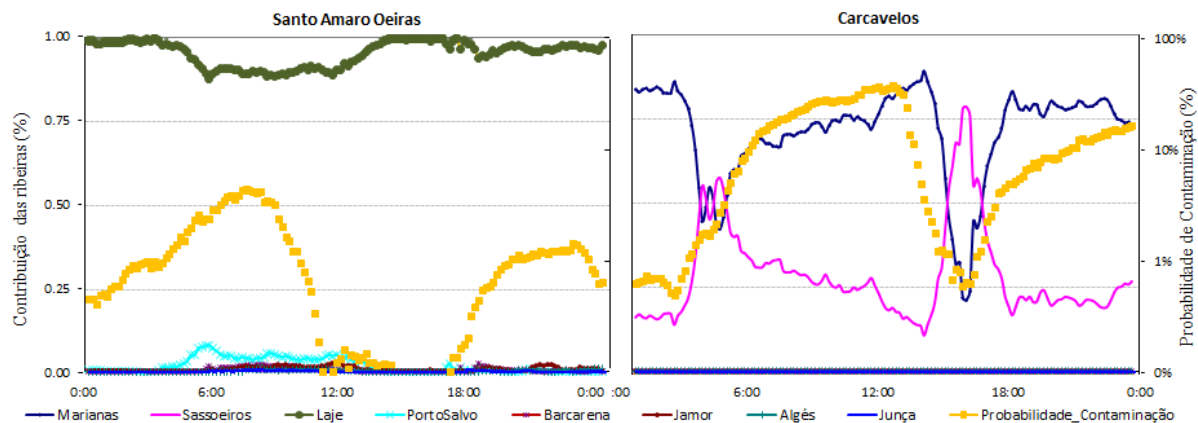


Figura 9 Probabilidade de contaminação e contribuição das ribeiras para a contaminação fecal na Praia de Carcavelos

## 6. Conclusões

Neste trabalho é descrita uma metodologia que integra resultados de um modelo matemático lagrangiano no espaço, de forma a obter informação que possa ser comparada com os dados de monitorização das águas balneares e subsequentemente usada para suportar a previsão da qualidade das águas balneares e a emissão de alertas. A metodologia proposta é baseada na avaliação da probabilidade de o banhista poder ficar em contacto com a água contaminada e no grau de contaminação dessa água, à semelhança do estabelecido na legislação em vigor, que estabelece valores máximos de concentração e frequências de ocorrência.

A metodologia foi testada nas praias de Santo Amaro de Oeiras, Torre e Carcavelos e permitiu explicar os processos de contaminação destas praias pelas descargas das ribeiras e quantificar a contribuição de cada uma para a qualidade da praia em cada momento. A metodologia aplicada resulta da simulação de vários cenários de caudal e de concentração, que foram baseados em medições efetuadas após dias de chuva durante 2007, 2008 e 2009, que apoiaram a definição do cálculo do risco de contaminação de uma praia em função da severidade de acidentes de poluição numa ribeira. O valor da probabilidade de o banhista estar em contacto com água contaminada foi calibrado com base em dados de campo, onde os resultados do modelo geraram estatísticas semelhantes aos dados de campo. O valor obtido inclui implicitamente incertezas de forçamento do modelo e as implicações decorrentes da arbitrariedade da definição da caixa de monitorização. A ocorrência de acidentes de poluição nestas praias é esporádica, e ocorre sobretudo depois de chuvas, o que é raro acontecer durante a época balnear, e nem sempre provocam casos de risco de contaminação das águas balneares, motivo pelo qual existiam poucas oportunidades para validar o modelo durante a época balnear. Durante a época balnear 2011 e 2012 ocorreram vários casos de aumento do nível hidrométrico das ribeiras tendo sido enviados sempre SMS para as entidades identificadas (ex-ARH-Tejo, SANEST, CMO, CMC, e IST). O furto ocorrido na época de 2013 impediu que o sistema funcionasse em pleno durante toda a época, no entanto as previsões do modelo continuaram a ser produzidas, mas sem os dados automáticos de nível (e caudal estimado) das ribeiras de Marianas e Sassoeiros, o que limitou a emissão de alertas.

São apresentados os resultados para uma época balnear para a praia de Santo Amaro e Carcavelos, onde foi possível verificar a eficácia do modelo na previsão da qualidade da água.

O desenvolvimento das ferramentas de alerta e previsão contou com o envolvimento dos vários parceiros de forma a melhor adaptar os resultados às suas necessidades. Durante a época balnear as entidades gestoras têm acesso a toda a informação relativa aos casos de má qualidade obtidos: valores dos níveis das ribeiras, alertas por SMS, a previsão do risco de contaminação, e duração da contaminação. A receção de alertas por SMS revelou-se uma vantagem, pois durante a época balnear os vários agentes podem estar no campo e não no escritório.

Este sistema de alerta e previsão fornece à entidade gestora da água balnear a informação essencial para auxiliar da decisão de desaconselhar ou não os banhos, protegendo a saúde dos banhistas e cumprindo os objetivos de qualidade da diretiva das águas balneares: proteger os banhistas à exposição a água com contaminação fecal, e implementar medidas de minimização em caso de contaminação, como exigido pela legislação. Ao ocorrerem estes acidentes de contaminação fecal, se forem aplicadas estas medidas de minimização e gestão (incluindo o desaconselhamento dos banhos), o resultado da amostra de má qualidade poderá ser anulada na classificação final da água balnear.

As entidades gestoras destas águas balneares (APA) mostraram-se interessadas em continuar a utilizar o sistema de alerta. Esta metodologia pode ser aplicada noutras zonas costeiras, próximas das descargas de ribeiras ou zonas urbanas, desde que se garantam todas as etapas: identificação e monitorização das fontes de contaminação, implementação do modelo sua calibração e validação.

### **Agradecimentos**

Este trabalho foi desenvolvido no seguimento de um Projeto da SANEST, elaborado pelo IST, no âmbito do Projecto Lenvis, financiado pelo 7º Programa Quadro (FP7-ICT-2007/2/ 223925).

### **Referências**

Braunschweig F., Martins, F., Leitão, P., Neves, R. (2003) A methodology to estimate renewal time scales in estuaries: the Tagus Estuary case. *Ocean Dynamics*. Vol. 53, Nº 3; pp 137–145.

Canteras, J.C., Juanes, J.A., Pérez, L. and Kalin N. Koev (1995) “Modelling the coliforms inactivation rates in the Cantabrian sea (bay of Biscay) from in situ and laboratory determinations of  $T_{90}$ ”. *Water Science and Technology* Vol. 32 Nº 2 pp 37–44

Fernandes R (2005). Modelação operacional no estuário do Tejo. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Hewett T. (2007) Implications of the revision to the bathing water directive for local authorities in the Solent, *Marine Policy* Vol 31, Issue 5, pp 628-631

Leitão, P.C. (1996) “Modelo de Dispersão Lagrangeano Tridimensional”. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

PORTELA, L. (1996) Modelação matemática de processos hidrodinâmicos e de qualidade da água no Estuário do Tejo. Lisboa: Technical University of Lisbon, Ph.D. thesis

SANEST (2004) Ensaio de mortalidade bacteriana em função de parâmetros ambientais seleccionados. Relatório Interno.

Vaz et al. "Semidiurnal and spring-neap variations in Tagus Estuary: Application of a process-oriented hydro-biogeochemical model". Journal of Coastal Research (2011) SI 64:1619-1623.

Viegas et al. "Streams contribution to bathing water quality after rainfall events in Costa do Estoril- a tool to implement an alert system for bathing water quality". Journal of Coastal Research, SI 56, 2009, pp. 1691-1695.