

ESTUDO DA AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DE RISCOS NO PROJECTO DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS E DE TOMADAS DE ÁGUA

Maria Teresa REIS

Doutoramento em Eng. Civil, Investigadora Auxiliar, LNEC, Av. do Brasil, 1700-066 Lisboa, +351.21.8443448, treis@lnec.pt

Maria Graça NEVES

Doutoramento em Eng. Civil, Investigadora Auxiliar, LNEC, Av. do Brasil, 1700-066 Lisboa, +351.21.8443426, gneves@lnec.pt

Pedro FIGUEIRA

Engº Civil, Director Técnico, WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., Rotunda Nuno Rodrigues dos Santos, nº 1 B, 10º Andar, Portela LRS, 2685-223 Lisboa, +351.21.4412877, Figueira@wwsa.pt

António PACHECO

Doutoramento em Operations Research, Professor Associado com Agregação, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, CEMAT e Departamento de Matemática, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, +351.21.8417049, apacheco@math.isl.utl.pt

António CORREIA

Doutoramento em Biologia, Professor Associado com Agregação, Universidade de Aveiro, Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Departamento de Biologia, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, +351.234.370783, antonio.correia@ua.pt

RESUMO

No âmbito de uma abordagem de gestão de risco, a aplicação dos métodos probabilísticos e de optimização ao projecto de emissários submarinos e de tomadas de água constitui uma abordagem de pesquisa inovadora, quer em Portugal, quer no estrangeiro. De facto, não se conhece nenhum projecto de investigação sobre este tema nem projecto de obras que utilize esta abordagem de forma sistemática.

Assim, neste artigo descreve-se o trabalho que se pretende efectuar com vista a desenvolver uma metodologia de gestão de riscos associados ao projecto de emissários submarinos e tomadas de água, baseada em métodos probabilísticos e de optimização. Além da revisão de literatura, esta investigação inclui desenvolvimento teórico, modelação física e numérica e utilização de casos de estudo reais para testar e ilustrar a aplicação da metodologia e ferramentas desenvolvidas. A investigação irá basear-se no conhecimento existente sobre a aplicação destes métodos a outro tipo de estruturas marítimas, tais como quebra-mares e protecções marginais, que embora tenham especificidades próprias diferentes das estruturas em estudo, constituem um sólido ponto de partida.

Palavras-chave:

Emissários submarinos, tomadas de água, gestão de riscos, métodos probabilísticos e de optimização.

1 – INTRODUÇÃO

No conjunto das infra-estruturas de saneamento, assumem particular importância as destinadas ao tratamento e destino final de efluentes. Em países onde os maiores aglomerados urbanos e industriais se situam junto ao litoral é praticamente inevitável serem o mar e os estuários os locais de destino final. Daí resulta um elevado número de emissários submarinos já construídos, em construção ou projectados em todo o mundo e em particular em Portugal (Figura 1).

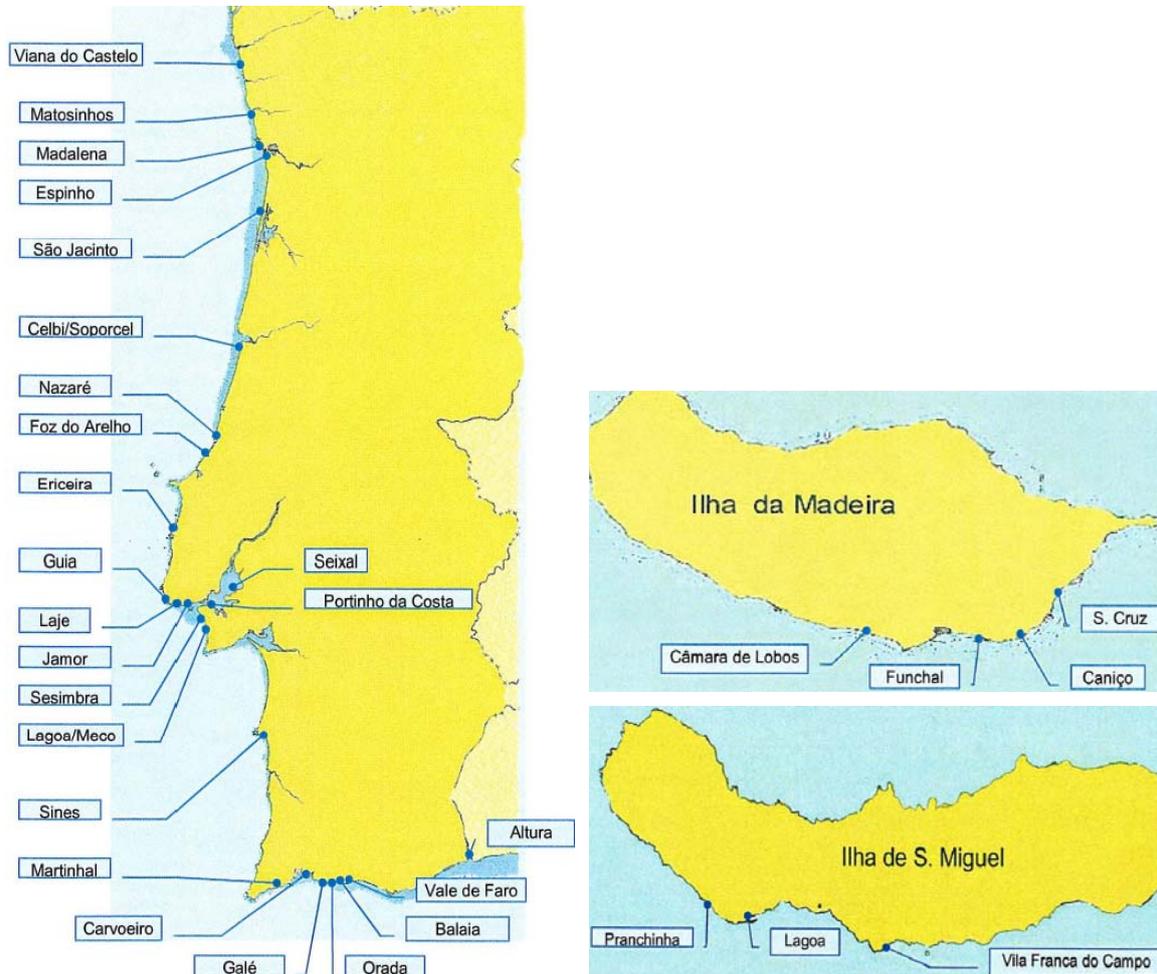


Figura 1 Emissários submarinos em Portugal

A realidade tem revelado a existência de lacunas em experiência, informação e meios para a realização deste tipo de obras nas melhores condições, sendo de registar alguns acidentes de consequências económicas, sociais e ambientais muitíssimo avultadas (e.g. OFFICE OF THE OMBUDSMAN, 1998; REIS e NEVES, 2003). Por exemplo, a literatura existente sobre forças em tubagens cilíndricas apoiadas no fundo do mar (e.g. SUMER e FREDSOE, 2006) refere-se essencialmente a tubagens simples, não estabilizadas por pesos de betão. Por outro lado, existem actualmente diversos estudos sobre factores físicos, físico-químicos, bioquímicos e biológicos que podem afectar a qualidade da água (e.g. KAY, 1987; HENRIQUES *et al.*, 2004; MOURA *et al.*, 2007), mas a interacção e correlação entre estes factores não é bem conhecida (HENRIQUES *et al.*, 2006).

Outras estruturas de concepção semelhante e com as mesmas lacunas de conhecimento são as tomadas de água para dessalinação, cada vez mais preconizadas como solução em zonas costeiras onde a água doce é um bem escasso.

Adicionalmente, o projecto convencional de emissários submarinos e de tomadas de água (que inclui concepção, dimensionamento, construção, exploração, manutenção e reparação) não se baseia numa avaliação de riscos explícita e sistemática e os métodos de dimensionamento destas estruturas são ainda essencialmente de natureza determinística, apesar de:

- já terem sido feitos alguns esforços no sentido de mudar de metodologia (e.g. SIMM e CRUICKSHANK, 1998; FIGUEIRA, 2006, 2008);
- as recomendações existentes para o projecto de estruturas marítimas (e.g. PUERTOS DEL ESTADO, 2002; USACE, 2003; CIRIA/CUR/CETMEF, 2007) incluírem abordagens que combinam métodos probabilísticos e de optimização;
- o projecto destas obras ser muito complexo, dispendioso e de lhe estarem associadas inúmeras incertezas relacionadas, por exemplo, com o carácter aleatório das solicitações actuantes (e.g. ondas, correntes), os modelos utilizados para representar a realidade (e.g. modelos físicos/numéricos), etc.

Como tal, é necessário que se utilizem metodologias que permitam considerar a aleatoriedade e as incertezas existentes e incorporar o máximo de conhecimento e de dados disponíveis, e que possibilitem uma gestão dos riscos associados e permitam otimizar o custo do projecto. Uma abordagem de gestão de risco, baseada em métodos probabilísticos e de optimização (que entram em linha de conta com a probabilidade de falha das estruturas e suas consequências), dá resposta a estas necessidades.

No âmbito de uma abordagem de gestão de risco (Figura 2), a aplicação dos métodos probabilísticos e de optimização ao projecto de emissários submarinos e de tomadas de água constitui um assunto inovador de investigação, quer em Portugal, quer no estrangeiro, já que não se conhece nenhum projecto de investigação sobre este tema nem projecto de obras que utilize esta abordagem de forma sistemática. Assim, ele representa o objectivo geral e inovador do trabalho que se pretende desenvolver e que contempla essencialmente as etapas do estabelecimento do contexto e avaliação do risco (Figura 2).

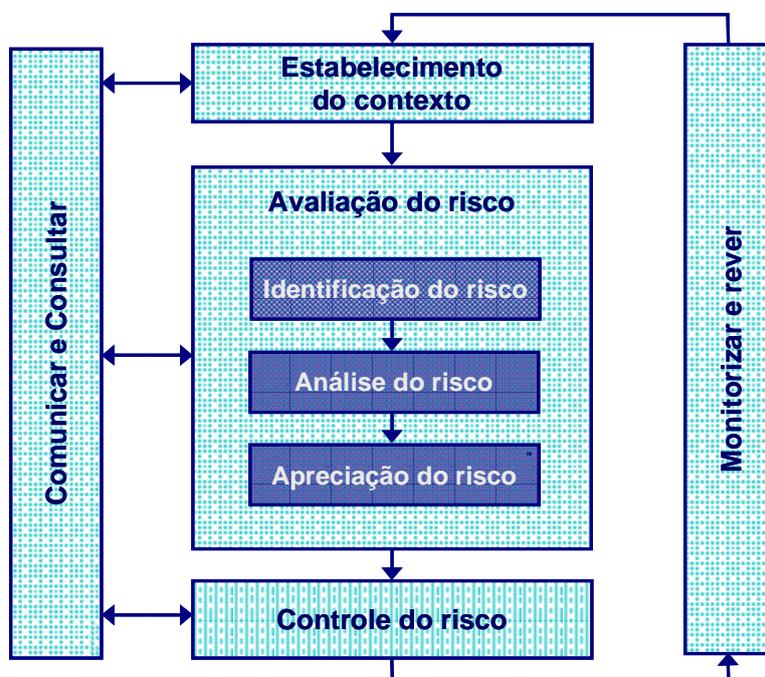


Figura 2 Ciclo da gestão de risco (adaptado de LNEC *et al.*, 2009)

A investigação irá basear-se no conhecimento existente sobre a aplicação destes métodos a outro tipo de estruturas marítimas, tais como quebra-mares e protecções marginais (e.g. PIANC, 1992; BURCHARTH, 2000; OUMERACI *et al.*, 2001; VROUWENVELDER, 2002; CASTILLO *et al.*, 2004, 2006; REIS *et al.*, 2006), que embora tenham especificidades próprias diferentes das estruturas em estudo, constituem um sólido ponto de partida.

Neste artigo apresenta-se o trabalho que se pretende desenvolver e a equipa envolvida. Assim, o ponto 2 descreve o plano de investigação e métodos, no ponto 3 apresenta-se a equipa de investigação e o ponto 4 contém algumas considerações finais.

2 – PLANO DE INVESTIGAÇÃO E MÉTODOS

No Quadro 1 estão representadas as designações das cinco tarefas a realizar no âmbito do trabalho. As tarefas e os resultados esperados descrevem-se nas secções seguintes.

Quadro 1 Tarefas

Tarefa	Designação da Tarefa
1	<i>Riscos associados ao projecto de emissários submarinos e tomadas de água e modos de falha destas estruturas</i>
2	<i>Factores de projecto e equações de verificação para os modos de falha a estudar</i>
3	<i>Seleccção e caracterização de casos de estudo</i>
4	<i>Preparação de ferramentas de optimização e simulação</i>
5	<i>Aplicação das ferramentas de optimização e simulação aos casos de estudo</i>

2.1 Tarefa 1

Os objectivos da Tarefa 1 são:

- a identificação dos riscos associados ao projecto de emissários submarinos e de tomadas de água;
- a identificação dos vários modos de falha destas estruturas e sua associação a estados limites últimos, de serviço ou de utilização;
- a selecção dos modos de falha a analisar no âmbito desta investigação.

Os riscos associados ao projecto de emissários submarinos e de tomadas de água estão relacionados com os objectivos do projecto no que respeita a custos, tempo, qualidade, ambiente, segurança, etc. (SIMM e CRUICKSHANK, 1998). Como referido anteriormente, projecto é aqui considerado no sentido lato, i.e. inclui todas as fases de um projecto (concepção, dimensionamento, construção, exploração, manutenção e reparação) e as suas diversas vertentes (engenharia, ambiente e económico-financeira). Neste sentido, pretende-se que todo o projecto se desenrole com envolvimento directo de *stakeholders* (clientes, projectistas, empreiteiros, entidades estatais, representantes da comunidade, seguradoras, etc.) nas várias tarefas.

Para mudar da abordagem tradicional para uma abordagem de gestão de risco, é essencial, numa fase inicial, a realização de um inventário sobre os riscos associados ao projecto destas estruturas, partindo do que já existe na literatura (e.g. SIMM e CRUICKSHANK, 1998; FIGUEIRA, 2008).

De modo a viabilizar a análise dos riscos associados à exploração de emissários e tomadas de água, é necessário identificar primeiro os vários modos de falha das estruturas, i.e., identificar os mecanismos que levam à falha da estrutura (ou de uma parte dos elementos que a constituem), onde se engloba no termo “falha” a paragem operacional do sistema. Exemplos de modos de falha para emissários submarinos e tomadas de água são: a deformação vertical da tubagem devido à entrada de ar, a rotura dos pesos de estabilização da tubagem, a bio-corrosão, a bio-deposição em tubagens/difusores e a dispersão ineficiente da pluma. Para a verificação dos modos de falha, estes são associados a estados limites últimos, de serviço ou de utilização.

Nesta investigação, a identificação dos vários riscos e modos de falha será realizada agregando: i) a informação e o conhecimento existente entre as instituições participantes; ii) a informação disponível na literatura; e iii) a informação que será obtida numa reunião de brainstorming, no qual estarão presentes as cinco instituições que fazem parte da equipa do projecto (ver ponto 3), bem como alguns representantes das várias entidades intervenientes no projecto destas infra-estruturas, que serão contactadas para este fim. Esta reunião será estruturada de acordo com as recomendações apresentadas em SIMM e CRUICKSHANK (1998) para um workshop sobre gestão de risco.

Para associar os modos de falha a diferentes estados limites, será aplicada a metodologia apresentada nas Recomendações Espanholas para Estruturas Marítimas (PUERTOS DEL ESTADO, 2002).

Os resultados esperados da Tarefa 1 são:

- um inventário sobre os riscos associados ao projecto de emissários submarinos e tomadas de água;
- uma listagem dos modos de falha destas estruturas, apresentada em forma tabular e graficamente (recorrendo a árvores de falhas, árvores de eventos ou outras representações simplificadas da realidade).

Com base nestes resultados serão escolhidos, para serem analisados no âmbito desta investigação, os modos de falha mais relevantes (Tarefa 2), que correspondam àqueles que ocorrem com maior frequência, que têm maiores consequências económicas, sociais e ambientais e/ou para os quais foi identificada a necessidade de investigação. Este é o caso dos modos de falha devido à rotura dos pesos de estabilização da tubagem, à bio-corrosão e à bio-deposição na tubagem e no difusor, e da dispersão ineficiente da pluma.

2.2 Tarefa 2

Os objectivos da Tarefa 2 são:

- a definição dos factores de projecto para os modos de falha a estudar no âmbito desta investigação;
- a análise e o desenvolvimento das equações de verificação para cada modo de falha.

Factores de projecto são um conjunto de parâmetros aleatórios ou determinísticos (e.g. características geométricas das estruturas), agentes (e.g. ondas, correntes) e acções (e.g. pressões, forças) que podem participar simultaneamente na ocorrência de um modo de falha. Esta ocorrência é descrita em termos de uma expressão que relaciona os diferentes factores de projecto, conhecida por equação de verificação (ou função objectivo), e que permite a verificação da segurança e dos níveis de serviço e de utilização da estrutura com respeito a esse modo de falha. Neste projecto, a definição dos factores de projecto será feita com base na informação e no conhecimento existente nas instituições participantes e na literatura.

As equações de verificação que serão aplicadas neste estudo serão, em princípio, as existentes na literatura. No entanto, para o modo de falha devido à rotura dos pesos de estabilização da tubagem, serão realizados ensaios em modelo físico no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC; ver ponto 3), para estudar a influência do ângulo de incidência da onda e da distância entre estabilizadores

nas pressões/forças nas tubagens. Estes ensaios serão realizados a uma escala tão grande quanto possível, de forma a evitar efeitos de escala indesejáveis.

Os resultados previstos da Tarefa 2 são:

- uma base de dados experimentais sobre a influência do ângulo de incidência da onda e da distância entre estabilizadores nas pressões/forças nas tubagens;
- uma apresentação sistemática das equações de verificação, incluindo a definida com base nos ensaios em modelo físico realizados no âmbito desta tarefa;
- uma lista dos factores de projecto definidos para cada modo de falha a estudar.

A determinação dos factores de projecto e das equações de verificação é essencial para a definição da informação que precisa de ser recolhida para os casos de estudo (Tarefa 3) e para a definição do problema de optimização para cada caso de estudo (Tarefa 4).

2.3 Tarefa 3

Os objectivos da Tarefa 3 são:

- a selecção de casos de estudo na costa portuguesa ou no estrangeiro;
- a caracterização de cada caso de estudo no que diz respeito a critérios práticos de dimensionamento e factores de projecto.

Os casos de estudo serão seleccionados com vista a ilustrar, da melhor forma possível, os modos de falha que foram seleccionados na Tarefa 1 e estudados na Tarefa 2. Como a empresa WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, SA (WW; ver ponto 3) tem participado activamente no dimensionamento, fiscalização e inspecção de mais de 40 emissários submarinos/tomadas de água, a selecção dos casos de estudo será baseada nos projectos em que a WW esteve (ou está) envolvida, o que facilitará a caracterização de cada caso.

Uma vez escolhidos os casos de estudo, e tendo em conta os factores de projecto e as equações de verificação estabelecidas na Tarefa 2, proceder-se-á à recolha e análise da informação e dos dados existentes na WW. Nesta análise serão identificadas, se for o caso, as lacunas existentes e proceder-se-á à recolha dos dados ou da informação em falta, caso esta exista e esteja disponível.

Serão ainda definidos alguns critérios práticos de projecto, que serão restrições do problema de optimização. Entende-se por critério prático de projecto o conjunto de regras de boa prática que devem ser observadas, que devem estar relacionadas com os constrangimentos de construção, com razões de ordem económica, características geométricas, etc. Algumas podem depender do país em questão, enquanto outras podem ter raízes históricas. Exemplos de critérios práticos de projecto para emissários/tomadas de água são os seguintes: o betão armado dos pesos de estabilização deve ter um recobrimento de pelo menos 5 cm de forma a evitar a corrosão; o diâmetro da tubagem deve ser tal que a velocidade do escoamento do efluente seja maior que 2 m/s, de forma a evitar que ocorram depósitos de material no interior da tubagem.

Para cada factor aleatório de projecto, é necessário ajustar uma distribuição estatística e definir os seus parâmetros relevantes. A definição de quais as distribuições estatísticas apropriadas pode ser baseada em estudos anteriores onde estas tenham sido definidas (por exemplo as distribuições Normal, Gumbel, Weibull) ou pode ter de ser empírica, baseada em dados relativos a este estudo. Dado que o ajustamento das distribuições e dos seus parâmetros é baseado nos dados disponíveis, a quantidade e a qualidade destes dados é de importância fulcral. Se os dados existentes são escassos ou não fiáveis (o que ocorre frequentemente) deve-se ter especial cuidado, critério e intuição sobre os fenómenos físicos envolvidos para escolher a distribuição mais apropriada. A principal mais-valia de métodos estatísticos e de uma análise de sensibilidade (Tarefa 5) é o facto de eles permitirem determinar quais os factores de projecto cuja contribuição é determinante para a função objectivo (Tarefa 4), permitindo que se centre a atenção na caracterização estatística destes factores.

A correlação entre factores será também analisada. Nesse contexto, serão investigadas a utilização de distribuições estatísticas bivariadas baseadas em distribuições univariadas (marginais) de duas variáveis (por exemplo, altura de onda e período). Para os modos de falha devido à deficiência da dispersão da pluma, bio-corrosão e bio-deposição, a equipa estudará a interacção e correlação entre os diferentes factores que podem afectar a qualidade da água, tais como factores físicos, físico-químicos, bioquímicos e biológicos.

Os resultados esperados da Tarefa 3 são:

- a informação e os dados sobre casos de estudo;
- os critérios práticos de dimensionamento para emissários submarinos e tomadas de água;
- uma caracterização estatística dos factores de projecto, incluindo a sua interacção e correlação.

Os resultados desta tarefa constituem o *input* necessário para a definição do problema de optimização para cada caso de estudo (Tarefa 4).

2.4 Tarefa 4

Os objectivos da Tarefa 4 são:

- a revisão dos modelos de optimização existentes;
- a definição dos problemas de optimização para cada caso de estudo;
- a implementação dos problemas em software de optimização e simulação.

A primeira actividade a ser desenvolvida nesta tarefa é a revisão da literatura no que respeita aos métodos de optimização existentes. Optimizar inclui seleccionar, de entre todas as alternativas que resolvem o problema em questão (isto é, as que garantem a fiabilidade da estrutura), a que optimiza (maximiza ou minimiza) a função objectivo. Esta função, que é a que deve ser optimizada, pode ser expressa em termos económicos ou, por exemplo, em termos de perdas de vidas humanas.

No domínio da Engenharia Marítima, já foram definidos e aplicados vários modelos de optimização (e.g. CASTILLO *et al.*, 2004, 2006), que serão analisados e identificadas as suas vantagens e inconvenientes. Seguidamente, estes modelos serão utilizados na descrição do problema de optimização para cada caso de estudo. Esta descrição, para além dos resultados do trabalho realizado nas tarefas 1 a 3, inclui a definição da função objectivo, dos valores mínimos toleráveis para os factores de segurança e/ou dos valores máximos toleráveis para as probabilidades de falha (a realizar no âmbito da Tarefa 4). Os valores definidos para os factores de segurança e/ou para as probabilidades de falha devem depender das consequências dos correspondentes modos de falhas e da vida útil da estrutura em projecto.

Para estimar a probabilidade global de falha, para compreender a interacção e a correlação entre modos de falha e para estimar a probabilidade de falha de cada combinação de modos de falha, serão aplicadas técnicas de simulação (e.g. Monte Carlo, Latin Hypercube Sampling).

Note-se que as ferramentas de optimização e simulação desenvolvidas serão preparadas para os casos de estudo considerados, mas a maioria dos códigos será genérica e poderá ser aplicada, com pequenos ajustes, a outros casos de estudo.

Os resultados expectáveis da Tarefa 4 são:

- uma comparação entre diferentes modelos de optimização;
- um problema de optimização definido para cada caso de estudo;
- ferramentas de optimização e simulação com o problema de optimização implementado para cada caso de estudo.

2.5 Tarefa 5

Os objectivos da Tarefa 5 são:

- a realização de testes das ferramentas de optimização e simulação desenvolvidas;
- uma análise de sensibilidade para cada caso de estudo;
- uma comparação dos resultados obtidos através do método tradicional e da nova metodologia;
- a preparação das recomendações.

Através da aplicação da ferramenta de optimização a cada caso de estudo, serão obtidos quer os valores de projecto e finais das variáveis, quer os valores finais dos factores de segurança e dos índices de fiabilidade. Seguidamente, será realizada uma análise de sensibilidade para cada caso de estudo. Esta análise será uma excelente fonte de informação sobre como uma pequena alteração nos parâmetros ou nos pressupostos utilizadas (dados) modificará os resultados do projecto (dimensões geométricas, custos, fiabilidade, etc.). Esta análise permitirá definir os factores de projecto nos quais o investimento e investigação se devem centrar com o objectivo de reduzir custos (função objectivo).

A ferramenta de simulação será utilizada para estimar a probabilidade global de falha, para entender melhor a interacção e a correlação entre modos de falha e para estimar a probabilidade de falha para cada combinação de modos de falha.

A melhor forma de destacar as vantagens da nova metodologia em relação à metodologia tradicional, é comparando os seus resultados. Esta comparação será feita para cada um dos casos de estudo.

Para apoiar os utilizadores finais idóneos na utilização das ferramentas desenvolvidas no projecto, será preparado um manual de utilização, conciso, completo e claro. Este manual incluirá recomendações para a aplicação das ferramentas a casos de estudo reais.

Os resultados esperados da Tarefa 5 são:

- ferramentas de optimização e simulação testadas para o projecto de emissários submarinos e tomadas de água;
- exemplos de aplicação das ferramentas a casos de estudo reais;
- um manual com recomendações sobre a aplicação das ferramentas a casos de estudo reais;
- uma enumeração das vantagens da metodologia desenvolvida.

3 – EQUIPA DE INVESTIGAÇÃO

O programa de trabalhos proposto neste artigo representa um projecto relevante. Para garantir a sua eficácia, foi constituída uma equipa de investigação multidisciplinar que tem a vantagem de ter uma base de conhecimentos e interesses de investigação comuns mas em áreas de saber e experiência complementares. A equipa reúne especialistas provenientes de cinco instituições (Figura 3):

- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
- Universidade de Granada (UG), Espanha
- Universidade de Aveiro (UA)
- Instituto Superior Técnico (IST)
- WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, SA (WW)



Figura 3 Organograma da equipa de investigação

No âmbito deste projecto, os membros da equipa de investigação partilham um fim comum: atingir os objectivos propostos, contribuir para aprofundar o conhecimento na sua área específica de actividade e partilhar o seu conhecimento com a comunidade científica e com o público em geral. A equipa foi pensada e constituída com o intuito de reunir um conjunto de competências e experiências que se complementassem e cujos elementos se pudessem apoiar mutuamente:

- O LNEC terá a responsabilidade de coordenar o projecto. Apesar das instituições integrantes terem grande experiência de envolvimento em equipas multidisciplinares e em parcerias entre Universidades, Laboratórios de Estado e a indústria, é necessária uma coordenação efectiva entre as várias instituições. O coordenador do projecto terá que assegurar que se alcançam os objectivos no tempo previsto e que os resultados serão difundidos e utilizados. Também acompanhará o progresso do trabalho, em especial os resultados que vão sendo obtidos, e a colaboração entre participantes, centralizando o trabalho de todo o grupo e promovendo a troca de conhecimento entre participantes, o que assegurará a qualidade dos resultados. Para além da coordenação do projecto, o LNEC terá um papel decisivo em todas as fases da investigação, dada a ampla experiência que o LNEC tem em I&DT em: i) risco e segurança (e.g. LNEC *et al.*, 2009); e ii) modelação física de estruturas marítimas, incluindo emissários submarinos (e.g. LOMONACO *et al.*, 2004).
- A UG é uma das principais instituições que contribuíram para a publicação das Recomendações Espanholas para Estruturas Marítimas (PUERTOS DEL ESTADO, 2002), que são hoje uma referência para os projectistas de estruturas costeiras e portuárias. A identificação, análise e apreciação de riscos são componentes chave destas recomendações. Com este perfil e com um profundo conhecimento na área da Engenharia Costeira, Portuária e Marítima, a UG será uma peça chave no projecto: as suas orientações e conselhos serão vitais para o projecto.
- A UA tem uma larga experiência relacionada com os aspectos ambientais da dispersão de efluentes no mar (e.g. HENRIQUES *et al.*, 2004, 2006; MOURA *et al.*, 2007), o que faz com que o seu contributo para o desenvolvimento da componente ambiental do projecto seja de vital importância.
- A experiência do IST em Matemática Aplicada (e.g. FERREIRA e PACHECO, 2008; PACHECO *et al.*, 2008) é essencial para a concretização com sucesso dos objectivos do

projecto, dado o papel fundamental dos métodos probabilísticos e de optimização na metodologia de gestão de risco a ser desenvolvida.

- A experiência da WW e qualidade reconhecida em projectos de emissários submarinos e tomadas de água (e.g. FIGUEIRA *et al.*, 2008), em especial em dimensionamento, fiscalização e inspecção, é crucial para ultrapassar os desafios relacionados com a melhoria das práticas de projecto correntes e para contribuir para a aplicação, a nível nacional, das metodologias desenvolvidas.

Tal como referido anteriormente, para além das cinco instituições participantes, serão ainda contactadas várias entidades intervenientes no projecto destas infra-estruturas (clientes, projectistas, empreiteiros, entidades estatais, representantes da comunidade, seguradoras, etc.).

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo descreve-se o trabalho que se pretende efectuar e a equipa envolvida num projecto que visa desenvolver uma metodologia de gestão de riscos associados ao projecto de emissários submarinos e tomadas de água, baseada em métodos probabilísticos e de optimização. Além da revisão de literatura, esta investigação inclui desenvolvimento teórico, modelação física e numérica e utilização de casos de estudo reais para testar e ilustrar a aplicação da metodologia e ferramentas desenvolvidas. Os principais resultados expectáveis desta investigação são:

- Um inventário sobre os riscos associados ao projecto destas estruturas e listagem dos seus modos de falha;
- Uma base de dados experimentais sobre forças nas estruturas;
- Uma metodologia para a aplicação de métodos probabilísticos e de optimização ao projecto de casos práticos de engenharia;
- Ferramentas informáticas de dimensionamento probabilístico e de optimização testadas para estas obras;
- Recomendações de projecto.

Este trabalho:

- Justifica-se a nível social e ambiental devido às consequências avultadas que podem resultar de acidentes com emissários submarinos e tomadas de água;
- Permitirá reduzir as perdas económicas associadas ao sobre/sub-dimensionamento destas obras;
- É oportuno numa era:
 - i) de aquecimento global, subida de nível do mar e aumento de ocorrência de temporais, que podem resultar num aumento das solicitações nas estruturas;
 - ii) em que as normas e a sociedade exigem, cada vez mais, uma quantificação dos riscos associados e um aumento da fiabilidade de infra-estruturas de engenharia;
 - iii) em que a gestão de risco é uma ferramenta com crescente aplicação para apoio à decisão.

BIBLIOGRAFIA

BURCHARTH, H.F. - *Reliability Based Design of Coastal Structures*. Vicksburg, Mississippi (USA), Coastal Engineering Research Center, 2000.

CASTILLO, C.; MÍNGUEZ, R.; CASTILLO, E.; LOSADA, M.A. - "An optimal engineering design method with failure rate constraints and sensitivity analysis. Application to composite breakwaters". *Coastal Engineering*, 53, 2006, pp. 1-25.

CASTILLO, E.; LOSADA, M.A.; MÍNGUEZ, R.; CASTILLO, C.; BAQUERIZO, A. - "Optimal engineering

design method that combines safety factors and failure probabilities: application to rubble-mound breakwaters". *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, **130**, 2, 2004, pp.77-88.

CIRIA, CUR, CETMEF - *The Rock Manual. The Use of Rock in Hydraulic Engineering*, 2nd edition. London (UK), CIRIA Publication C683, 2007.

FERREIRA, F.; PACHECO, A. - "Analysis of GI^X/M(n)/N systems with stochastic customer acceptance policy". *Queueing Systems*, **58**, 1, 2008, pp. 29-55.

FIGUEIRA, P. - "Uncertainties in the project of a sea outfall". *Proc. 4th Int. Conf. on Marine Waste Water Disposal and Marine Environment*, Antalya (Turkey), Avanzini, C. (Ed.), Istanbul (Turkey), MWWO Organization (electr. version), 2006.

FIGUEIRA, P. - "Risk assessment in the construction of submarine outfalls and intakes". *Proc. 5th Int. Conf. on Marine Waste Water Disposal and Marine Environment*, Dubrovnik (Croatia), Avanzini, C. (Ed.), Istanbul (Turkey), MWWO Organization (electr. version), 2008.

FIGUEIRA, P.; AFONSO, C.; AFONSO, A.; RUIVO, N. - "Aspects of the design and construction of the sea outfall of Tangier Port". *Proc. 5th Int. Conf. on Marine Waste Water Disposal and Marine Environment*, Dubrovnik (Croatia), Avanzini, C. (Ed.), Istanbul (Turkey), MWWO Organization (electr. version), 2008.

HENRIQUES, I.S.; ALMEIDA, A.; CUNHA, A.; CORREIA, A. - "Molecular sequence analysis of prokaryotic diversity in the middle and outer sections of the Portuguese estuary Ria de Aveiro". *FEMS Microbiology Ecology*, **49**, 2004, pp. 269-279.

HENRIQUES, I.S.; ALVES, A.; TACAO, M.; ALMEIDA, A.; CUNHA, A.; CORREIA, A. - "Seasonal and spatial variability of free-living bacterial community composition along an estuarine gradient (Ria de Aveiro, Portugal)". *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **68**, 2006, pp. 139-148.

KAY, A. - "The effect of cross-stream depth variations upon contaminant dispersion in a vertically well-mixed current". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **24**, 1987, pp. 177-204.

LNEC *et al.* - *Consórcio Riscos: Pré-candidatura. Proposta a Submeter à FCT no Âmbito do Concurso para a Criação e Operacionalização de Consórcios de I&D Programa Mobilizador dos Laboratórios de Estado*. Lisboa, Março 2009.

LOMONACO, P.; VIDAL, C.; NEVES, M.G.; LOSADA, I. - "Flow measurement around and inside submerged rubble mounds under normal and oblique wave attack". *Proc. 29th Int. Conf. on Coastal Engineering*, Lisbon (Portugal), Smith, J.M. (Ed.), Singapore (Singapore), World Scientific, 2004, pp. 3714-3726.

MOURA, A., HENRIQUES, I.; RIBEIRO, R.; CORREIA, A. - "Prevalence and characterisation of integrons from bacteria isolated from a slaughterhouse wastewater treatment plant". *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, **60**, 2007, pp. 1243-1250.

OFFICE OF THE OMBUDSMAN - *Executive Summary of the Investigation Report on the Co-ordination between the Drainage Services Department and Environmental Protection Department over the Protection of Public Beaches from being Polluted by Sewage Discharges*. Hong Kong (China), January 1998.

OUMERACI, H.; KORTENHAUS, A.; ALLOP, W.; DE GROOT, M.; CROUCH, R.; VRIJLING, H.; VOORTMAN, H. - *Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters*. Amsterdam (The Netherlands), Balkema, 2001.

PACHECO, A.; TANG, L.C.; PRABHU, N.U. - *Markov-Modulated Processes and Semiregenerative Phenomena*. Singapore (Singapore), World Scientific, 2008.

PIANC - *Analysis of rubble mound breakwaters*. Permanent International Association of Navigation Congresses, 1992.

PUERTOS DEL ESTADO - *R.O.M.-0.0. General procedure and requirements in the design of harbor and maritime structures. Part I: Recommendations for Maritime Structures*. Technical Report, Puertos del Estado, Spain, 2002.

REIS, M.T.; HEDGES, T.S.; WILLIAMS, A.; KEATING, K. - "Specifying seawall crest levels using a probabilistic method". *Maritime Engineering Journal*, 159, 4, 2006, pp. 137-145.

REIS, M.T.; NEVES, M.G. - *Comportamento estrutural de emissários submarinos. Emissários submarinos em Portugal*. Lisboa (Portugal), LNEC Relatório 24/03-NPE, Janeiro 2003.

SIMM, J.; CRUICKSHANK, I. - *Construction Risk in Coastal Engineering*. London (UK), Thomas Telford, 1998.

SUMER, B.M.; FREDSOE, J. - "Hydrodynamics around cylindrical structures". *Revised edition, Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 26*, Singapore (Singapore), World Scientific, 2006.

USACE - *Coastal Engineering Manual*. Vicksburg, Mississippi (USA), Coastal & Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2003.

VROUWENVELDER, T. - *Reliability based code calibration. The use of the JCSS probabilistic model code*. Joint Committee of Structural Safety, Workshop on Code Calibration, 2002.