

RELATÓRIO DE ACTIVIDADES DA
BOLSA DE INVESTIGAÇÃO PARA MESTRE (BI)
(PACMAN/PTDCAA-AMB1/113469/2009)

(Março 2014 – Setembro 2014)

PAC:MAN – Sistemas de gestão do risco de acidentes de poluição em
zonas costeiras



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Bruno Miguel Gomes Epifânio
(bmepifanio@gmail.com)

Lisboa, Setembro de 2014

1. Introdução

Bruno Miguel Gomes Epifânio iniciou a sua actividade no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em Março de 2014 após ter sido classificado em 1º lugar no concurso de admissão como bolseiro de investigação. A orientação da actividade foi assegurada pela Doutora Anabela Oliveira, Doutor Alberto Azevedo e Doutor André Fortunato. Os trabalhos desenvolvidos encontram-se enquadrados nos estudos de investigação científica no âmbito do projecto PAC:MAN – Sistema de gestão do risco de acidentes de poluição em zonas costeiras (PTDC/AAC-AMB/113469/2009), na área científica de Ambiente e Alterações Climáticas – Ambiente, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT).

2. Investigação Científica

2.1. Breve apresentação do projecto PAC:MAN

O projecto PAC:MAN é coordenado pela Doutora Anabela Oliveira (LNEC) e inclui uma equipa de investigadores do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Instituição proponente), Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental e Universidade de Aveiro. Este projecto tem como objectivos investigar: (i) os dados de acidentes passados para desenvolver e validar um conjunto de indicadores ambientais de condições atmosféricas e oceanográficas propícias à ocorrência de derrames; (ii) a capacidade e eficiência do sistema de modelação de elevada precisão para prevenção e previsão do risco de derrame, incluindo todos os processos de transformação de óleo na zona costeira; (iii) a fiabilidade, vantagens e escalabilidade de um sistema de alerta baseado em novas tecnologias móveis; e (iv) o modo como estes vários aspectos inovadores podem ser integrados num sistema de gestão de risco para alerta precoce e aviso da ocorrência de derrames nas zonas costeiras.

Na fase inicial do projecto foi feita a análise de dados *in situ* e de deteção remota para acidentes de poluição na plataforma continental Ibérica e zona costeira, para apoiar o desenvolvimento de indicadores de condições propícias à ocorrência de acidentes com embarcações que ultimamente poderão conduzir ao derrame de hidrocarbonetos. Estes indicadores foram validados para a Ria de Aveiro, a qual foi escolhida pela sua enorme importância ambiental e económica. Foi definido um conjunto de cenários, aos quais estão associados os resultados duma análise de vulnerabilidade local. Os cenários foram utilizados para avaliar a capacidade dos modelos detalhados de serem aplicados na análise de risco, e para desenvolver uma nova metodologia de prevenção deste tipo de riscos. Este sistema de modelação de derrames simula os processos relevantes em escalas adequadas e está acoplado com um sistema de modelação da circulação forçada conjuntamente por ondas, correntes e vento. A metodologia proposta será a base para um sistema inovador de alerta precoce que combina de modo eficiente as condições ambientais propícias à ocorrência de acidentes com previsões detalhadas do percurso e da transformação das plumas de poluentes. Este sistema de alerta irá alimentar um sistema de aviso, o qual será analisado em termos de eficiência e escalabilidade para números crescentes de utilizadores. Os dois sistemas serão ligados através

de um sistema de gestão do risco, adaptado para derrames a partir de um sistema proposto na literatura. Esta infra-estrutura incluirá uma base de dados dos elementos físicos em risco e dos recursos de resposta à emergência, e será customizado para a análise de vulnerabilidade da Ria de Aveiro. O resultado final do projecto será uma nova metodologia de planeamento e resposta para riscos de poluição costeira genérica, baseada nas várias ferramentas e análises propostas.

2.2. Objectivos da Bolsa de Investigação (BI)

A presente Bolsa de Investigação tem como objectivos:

- Desenvolver análise de risco de derrames de hidrocarbonetos através de metodologia quantitativa para o cálculo do risco;
- Elaborar mapas e indicadores de risco com base em simulações de perigosidade e mapas de vulnerabilidade;
- Participar na integração da informação num WebSIG.

2.3. Apreciação crítica da actividade desenvolvida

As actividades desenvolvidas durante a Bolsa de Investigação no período de Março de 2014 a Setembro de 2014 permitiram cumprir os objectivos definidos e permitiram adicionalmente preparar a publicação de um artigo na revista *Ocean and Coastal Management*.

2.3.1. Publicações de artigos em revistas

Azevedo, A., Fortunato, A.B., Epifânio, B., den Boer, S., Gomes, J.L., Oliveira, E.R., Jesus, G., Alves, F., Oliveira, A. – An oil risk management system based on high resolution hazard calculations. *Ocean and Coastal Management* (em desenvolvimento).

2.4. Trabalho desenvolvido e produtos finais

Para o cumprimento dos objectivos propostos foram analisados diferentes fontes de informação relativamente ao risco de derrames de óleo. No decorrer da Bolsa de Investigação foi efectuada uma revisão do estado da arte sobre o risco associado a derrames de óleo em zonas costeiras, realizada uma análise das ocorrências dos derrames de hidrocarbonetos na

Ria de Aveiro, desenvolvida uma metodologia quantitativa de análise de risco de derrames de hidrocarbonetos baseada em simulações de perigosidade e mapas de vulnerabilidade e efectuada uma análise de risco aplicada à Ria de Aveiro.

3. Estado da Arte

Os efeitos adversos que os derrames de óleo provocam no meio ambiente tem captado uma especial atenção da comunidade científica ao longo das últimas décadas. A análise de áreas vulneráveis, determinação da natureza e duração dos impactos ambientais e estudo dos impactos da poluição por hidrocarbonetos são alguns dos temas que têm motivado a abordagem desta temática. A terminologia e conceitos inerentes à avaliação de riscos são bastante ambíguos e controversos na comunidade científica, principalmente devido à recente utilização em diversificadas ciências e ausência de uniformização. Apenas nos últimos anos as agências autorizadas têm começado a compilar os principais vocabulários (Christensen et al., 2003). O conceito de *Perigosidade* está associado à probabilidade de ocorrência de um evento de origem natural ou humana adverso numa dada área e determinado período de tempo, e ao impacto ou magnitude do evento no meio ambiente e sociedade (Cutter, 1993; UNDHA, 1992). Este termo é frequentemente definido como um evento ameaçador (UNDHA, 1992) ou fonte de potenciais danos e possível fonte de risco (ISO Guide 73, 2009) que pode provocar danos físicos, perdas económicas ou degradação do meio ambiente. As fontes de perigosidade resultantes das actividades humanas que potenciam acidentes frequentemente súbitos e não planeados (e.g. derrames de óleo e transporte e uso de substâncias) são ainda designados por perigos tecnológicos (Zêzere et al., 2008).

De acordo com as normas ISO (*International Organization for Standardization*) (ISO Guide 73, 2009), a *Vulnerabilidade* corresponde às propriedades intrínsecas dos elementos expostos resultando em suscetibilidade a uma fonte de risco que pode levar a um evento com consequências. Este termo também pode ser definido como o grau de perda espectável dos elementos expostos quanto às consequências provocadas pelo fenómeno potencialmente adverso (UNDHA, 1992; Schmidt et al., 2011). Simultaneamente, este termo pode ser associado com a suscetibilidade e resiliência dos elementos expostos aos impactos negativos dos eventos perigosos (NOAA, 1999 in Andrade et al., 2010). Assim, a vulnerabilidade está dependente não só da resistência dos elementos expostos e potencial de dano, como também da capacidade de recuperação dos elementos expostos após a ocorrência do evento (Salter, 1997; Kleissen et al., 2007; Lahr e Kooistra, 2010).

O conceito de *Risco* pode ser entendido como as perdas espectáveis decorrentes da ocorrência de um evento perigoso numa dada área e determinado período de tempo, resultantes da interacção entre os perigos naturais ou induzidos pelo Homem e as condições de vulnerabilidade (UNDHA, 1992; De-Lange et al., 2010). No mesmo sentido, outros autores (Ansell e Wharton, 1992; Tarrant, 1998; ISO Guide 73, 2009; Lee e Jung, 2013) definem o

risco como a combinação entre a probabilidade associada à ocorrência de um evento e as consequências que ocorrem sobre os elementos exposto, frequentemente estimado em função da perigosidade e vulnerabilidade – uma abordagem conceptualmente apropriada e amplamente aceite (De-Lange et al., 2010; UNDHA, 1992; Xiaoyan e Xiaofei, 2012). Alguns estudos (e.g. Schwab et al., 1998; Douglas; 2007; Garcia et al., 2013) consideram ainda a inclusão de outro termo na função: a exposição dos elementos. Este termo pode ser descrito por diversos indicadores, tais como a duração da exposição, concentração da substância ou tipo de substância (Kleissen et al., 2007).

A avaliação de risco corresponde a uma das fases da gestão do risco que abrange a identificação da forma como os elementos expostos podem ser afectados e a análise de risco em termos de possibilidades e consequências (ISO/IEC, 2009). No âmbito da avaliação de riscos a derrames de óleo, diversos estudos têm visado a poluição marinha (e.g. Grifoll et al., 2010; Olita et al., 2012; Liu et al., 2013), áreas portuárias (e.g. Rao e Raghavan, 1996; Trbojevic e Carr, 2000; Ronza et al., 2006) e transporte marítimo (e.g. Iakovou, 2001; Eide et al., 2007; van Dorp e Merrick, 2011), seguindo abordagens bastante diversificadas.

Na vertente dos trabalhos associados aos métodos quantitativos são vários os estudos que podem ser indicados a título de exemplo. No âmbito da degradação da qualidade da água em áreas portuárias, Grifoll et al. (2010) desenvolveram um método de avaliação de risco ambiental que determina o risco através de índices que reflectem diferentes questões relacionadas com esta temática, tais como possíveis substâncias derramadas, probabilidade de ocorrência dos eventos, as correntes marítimas e a renovação da água na área portuária. Num estudo de Olita et al. (2012) sobre a avaliação de risco a derrames de óleo aplicada a áreas costeiras, os autores utilizam uma metodologia baseada num índice de perigosidade, determinado em função das concentrações do óleo em dois momentos e locais distintos e em dois factores de vulnerabilidade: geomorfologia das praias e níveis de protecção das áreas em estudo. Liu et al. (2013), numa abordagem direccionada para a cartografia de risco a acidentes de poluição, determinaram o risco de poluição ambiental recorrendo a um sistema hierárquico de índices com 4 níveis. O índice de risco foi determinado directamente a partir dos índices de perigosidade e vulnerabilidade, e baseou-se num conjunto de sub-índices referentes ao estado da fonte de risco (e.g. quantidade e propriedade da substância perigosa), controlo preventivo da fonte de risco (e.g. medidas de segurança e sistema de gestão ambiental), eficácia do controlo preventivo (e.g. equipa e plano de emergência local), níveis de exposição sentidos pela população e ecossistemas (e.g. densidade populacional e proximidade às áreas residenciais e industriais) e capacidade de adaptação local para potenciais acidentes de poluição (e.g. PIB per capita e capacidade de resposta das instituições médicas locais). Numa perspectiva mais conceptual e abrangente, Santos et al. (2013) abordaram a ligação entre o ordenamento do espaço marítimo e a análise de risco a derrames de óleo, através da análise dos respectivos enquadramentos dos processos e da identificação dos quadros em comum, e desenvolveram um modelo operacional que efectua a ligação entre ordenamento do espaço marítimo e análise de risco a derrames de óleo. Sobre a avaliação de risco de derrames de óleo, os autores referem que a mesma estima os valores ambientais e socioeconómicos da

região e a extensão dos danos que um derrame pode representar para uma determinada área. Na vertente dos trabalhos técnicos, destaca-se o relatório desenvolvido pelo Kleissen et al. (2007) no âmbito da avaliação de risco ambiental marinho para a plataforma continental holandesa. Este trabalho foca a identificação de áreas de elevado risco ambiental marinho associadas ao transporte de óleo no Mar do Norte, e desenvolve metodologias e ferramentas que permitam efectuar uma avaliação de risco ambiental para derrames de óleo e outras matérias perigosas.

Os métodos de carácter qualitativo estão geralmente associada ao uso de matrizes de risco. No estudo de Lee e Jung (2013) sobre avaliação de risco e planeamento de medidas nacionais para derrames, são analisados acidentes de derrame de óleo e substâncias perigosas e nocivas que ocorreram entre 1994 e 2005 junto à Coreia. Para efectuarem a avaliação de risco, foram utilizadas matrizes de risco que relacionam a frequência dos acidentes com a severidade dos mesmos (que depende da quantidade de substância derramada). O relatório desenvolvido pela IPIECA (2013), cujo principal objectivo consiste em fornecer orientações e estabelecer recomendações para a execução de forma eficaz a avaliação de risco a derrames de óleo e o planeamento de resposta associada a instalação de petróleo e gás, aborda a probabilidade de derrames de hidrocarbonetos no mar e as potenciais consequências ecológicas e socioeconómicas que resultam destes acidentes. Os autores, que efectuem a avaliação de risco através de uma matriz de risco construída a partir da frequência de danos e das consequências, salientam que a matriz de risco é considerada adequada para fases iniciais de projectos onde geralmente pouca informação está disponível.

4. Análise dos derrames de hidrocarbonetos na Ria de Aveiro

A análise de eventos passados foi realizada com base nos incidentes registados pela DGAM (Direcção Geral da Autoridade Marítima) ao longo de um período de 40 anos. A base de dados integra na sua maioria a data e local dos incidentes de derrame, as causas dos derrames e a tipologia e quantidade dos poluente derramados. Num total de 2075 incidentes de derrames de óleo ocorridos ao longo da área de jurisdição portuguesa entre 1971 e 2011, registaram-se 400 incidentes ao longo da região costeira do Norte de Portugal, 1192 ao longo da região Centro, 93 ao longo da região Sul, 92 ao longo da região autónoma dos Açores, 78 ao longo da região autónoma da Madeira e 220 incidentes ao longo da restante Zona Económica Exclusiva portuguesa.

A Ria de Aveiro regista um total de 73 incidentes de derrames de óleo ao longo de 40 anos, na qual se verificam variações inter e intranuais. No período de tempo considerado ocorreu em média 1,8 incidentes por ano. No entanto, destaca-se um período entre 1985 e 2006 durante o qual ocorreram 63 incidentes, correspondendo a 86.3% do número total de incidentes registados (Fig. 1).

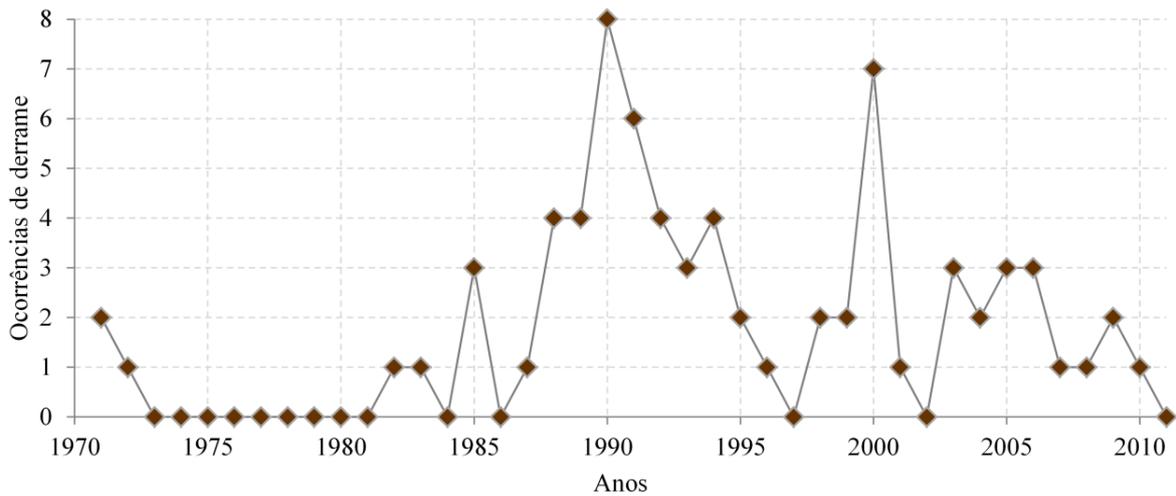


Fig. 1 Variabilidade interanual dos derrames de hidrocarbonetos ocorridos entre 1971 e 2011 na Ria de Aveiro.

A maioria dos incidentes de derrames tem como fonte de origem: navios (34.2%), embarcação de pescas (28.8%) e empresas (17.8%). Considerando apenas os incidentes que integram informação sobre a quantidade de substâncias derramadas (33 dos 73 incidentes), constata-se que os navios e as embarcações de pesca são as fontes de origem de derrames com maior quantidade de derrames (2885 l e 326 l respectivamente), responsáveis por 94.5% da quantidade total dos 33 incidentes ocorridos na Ria de Aveiro. As substâncias oleosas (e.g. óleo, óleo queimado e resíduos oleosos) e o gasóleo são os dois principais poluentes derramados na Ria de Aveiro, 2408 l e 966 l respectivamente.

5. Metodologia

A metodologia desenvolvida para o cálculo do risco de derrames de hidrocarbonetos teve como principal foco a adopção de uma metodologia quantitativa que calcula detalhadamente a perigosidade através de modelos numéricos de elevada precisão, utiliza componentes detalhadas como a perigosidade e vulnerabilidade e considera vários aspectos relevantes para a gestão do sistema em estudo, nomeadamente as diferentes vulnerabilidades do sistema, os impactos para cada local de derrame analisado e os impactos associados às diferentes fases de maré. De forma a serem identificadas as áreas de maior risco aquando à ocorrência de derrames de hidrocarbonetos, foram quantificados o tempo de exposição dos elementos expostos ao óleo, as probabilidades associada à ocorrência de derrames e as consequências dos derrames de hidrocarbonetos sobre os elementos expostos (Fig. 2). Estes três critérios que possibilitam a determinação da perigosidade e vulnerabilidade (Fig. 2) foram previamente analisados no projecto PAC:MAN por diferentes equipas de investigação: a perigosidade pelos investigadores do Laboratório Nacional de Engenharia Civil e a vulnerabilidade pelos investigadores da Universidade de Aveiro. Dada a relevância dos aspectos considerados nestas duas componentes de risco, efectua-se ao longo dos próximos dois subcapítulos uma

breve descrição da metodologia utilizada para a obtenção da perigosidade e vulnerabilidade, e em seguida a descrição da metodologia referente ao cálculo do risco.

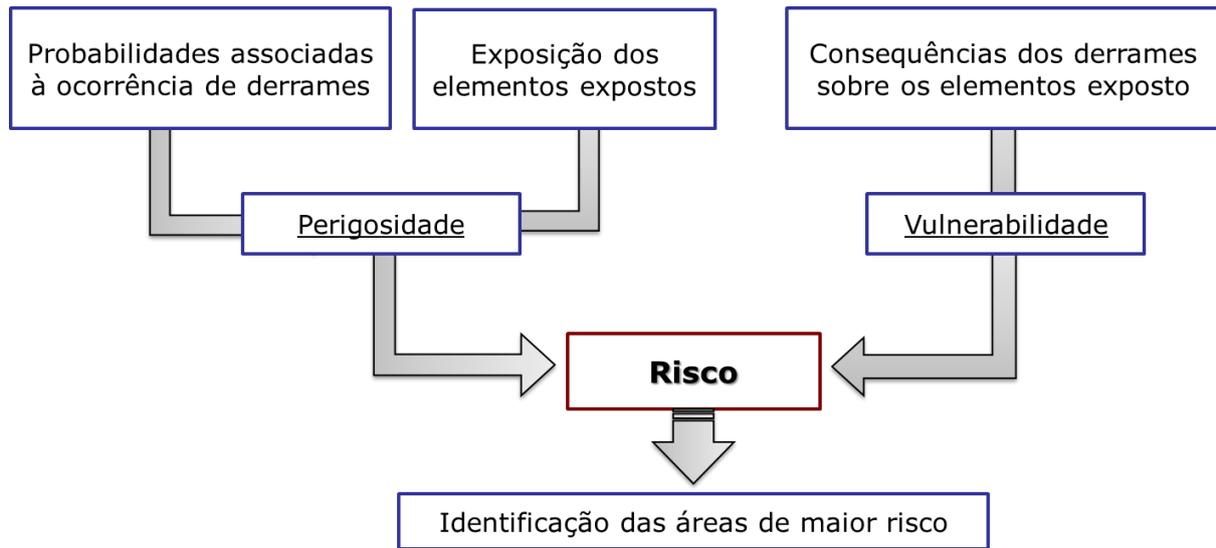


Fig. 2 Fluxograma da metodologia envolvida no cálculo do risco.

5.1. Perigosidade

A perigosidade, determinada como a probabilidade de ocorrência de derrames e respectiva capacidade para atingir as diversas áreas do sistema em análise, foi determinada de acordo com: (i) a probabilidade de ocorrência associada às condições hidrodinâmicas; (ii) a exposição da área afectada pelo derrame; e iii) a probabilidade de ocorrência num determinado local (Fig. 3).

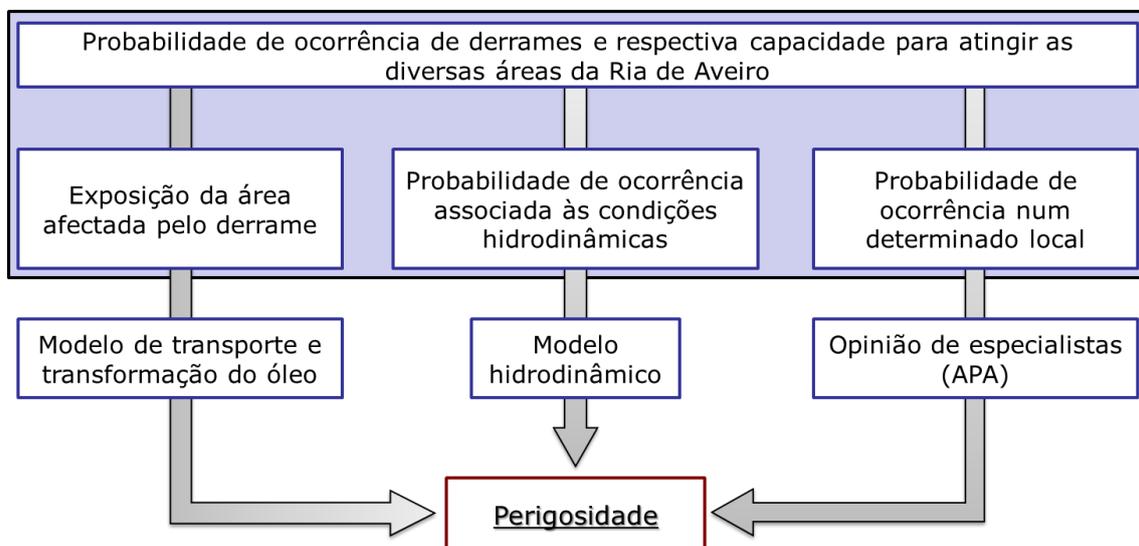


Fig. 3 Fluxograma da metodologia envolvida na determinação da perigosidade.

A probabilidade de ocorrência associada às diferentes condições hidrodinâmicas envolveu uma análise dos registos de ocorrências de acidentes de derrames originados por navios ao longo da costa portuguesa, assim como uma análise dos dados meteo-oceanográficas de forma a permitir a determinação das condições mais prováveis de ocorrência de acidentes no período de Inverno marítimo. Desta análise surgiram 64 condições hidrodinâmicas, que posteriormente foram associadas a cada amplitude de maré (maré-morta, maré-média e maré-viva), resultando em 192 simulações hidrodinâmicas. Para estas simulações foram usados os modelos ELCIRC (Zhang et al., 2004) e SWAN (Booij et al., 1999), acoplado através do sistema de modelação morfodinâmica MORSYS2D (Bertin et al., 2009; Bruneau et al., 2011). No que diz respeito à exposição da área afetada pelos derrames de óleo, esta componente da perigosidade foi determinada por um modelo de derrames de óleo de alta-resolução: o VOILS (Azevedo et al., 2009; 2014). Este modelo agrega modelos de circulação, transporte e de processos de transformação do óleo, e quantifica o tempo de exposição dos elementos expostos ao óleo durante as 48 horas após a ocorrência do derrame. Quanto à probabilidade de ocorrência associada aos locais de derrame, este parâmetro foi analisado para 6 locais de derrame considerados como os mais propícios à ocorrência de derrames na Ria de Aveiro (Fig. 4) e determinada por especialistas da Administração do Porto de Aveiro, tendo por base o seu vasto conhecimento da região (Tabela 1).



Fig. 4 Locais de derrame considerados neste estudo.

Tabela 1 Probabilidades associadas aos locais de derrame analisados neste estudo.

| Locais de derrame | Probabilidades associadas |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Barra (P1) | 35% |
| Porto de Pesca Costeiro (P2) | 5% |
| Terminal Norte (P3) | 15% |
| Terminal de Granéis Líquidos (P4) | 25% |
| Porto de Pesca Longínqua (P5) | 10% |
| Terminal Sul (P6) | 10% |

O conjunto das 192 simulações hidrodinâmicas foi aplicado a cada local de derrame e para derrames iniciados em cada fase de maré (baixa-mar, preia-mar e máxima enchente). Assim, a base de dados de cenários é constituída por 3456 simulações (192x6x3). Obtiveram-se 10 mapas de perigosidade (um para cada local de derrame e fase de maré e um mapa que considera simultaneamente todos os locais de derrame e fases de maré) através da seguinte equação:

$$H(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l S_j T_k Q(x, y)_{ijk}}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad \text{Eq. 1}$$

onde H é a perigosidade, n é o número de condições hidrodinâmicas, m é o número de locais de derrame, l é o número de amplitudes de maré, P_i é a probabilidade de ocorrência associada à simulação hidrodinâmica, S_j é a probabilidade associada ao local de derrame j , T_k é a probabilidade associada à amplitude da maré e $Q(x, y)_{ijk}$ é o indicador do tempo de exposição para ponto da Ria de Aveiro.

Informação mais detalhada sobre a componente da perigosidade poderá ser encontrada em den Boer et al. (2014).

5.2. Vulnerabilidade

A vulnerabilidade da Ria de Aveiro incide sobre os indicadores biológicos, físicos e socioeconómicos, quantificados através de um sistema de pontuações atribuído por especialista (Fig. 5).

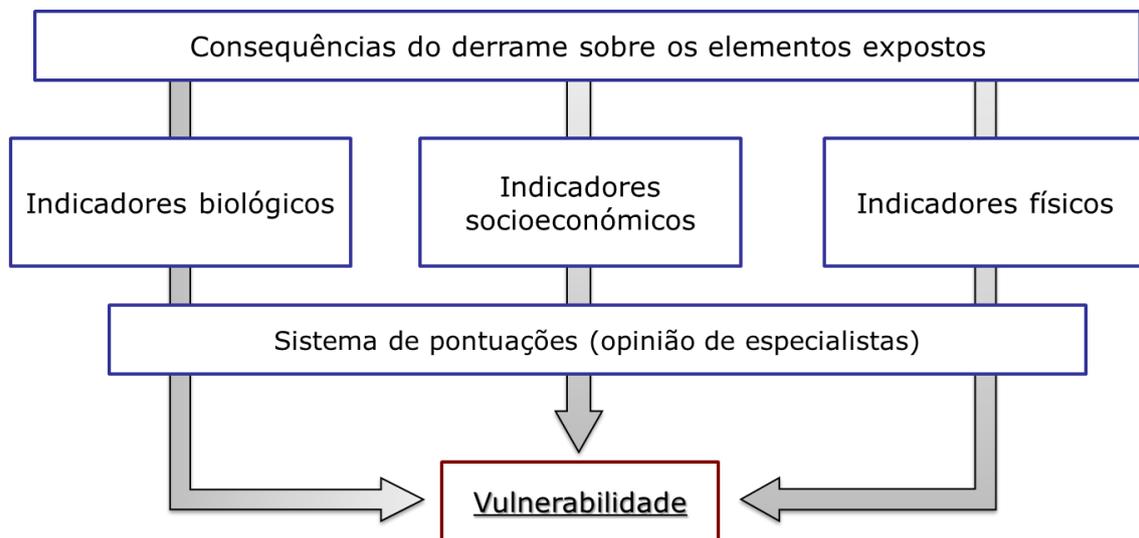


Fig. 5 Fluxograma da metodologia envolvida na determinação da vulnerabilidade.

A determinação do índice biológico baseia-se no estado de conservação, valor da singularidade e factor de resiliência dos habitats; o índice físico considera a exposição dominante do vento e o declive médio da linha de costa; e o índice socioeconómico considera os usos e actividades antrópicas e infra-estruturas. Adicionalmente é considerado um índice de vulnerabilidade global que resulta da média ponderada dos três factores anteriormente mencionados, no qual é atribuído maior peso ao índice socioeconómico.

Informação mais detalhada sobre a componente da vulnerabilidade poderá ser encontrada em Oliveira et al. (2014).

5.3.Risco

A elaboração dos mapas de risco resultou da intersecção da informação proveniente dos mapas de perigosidade com os mapas de vulnerabilidade. Numa primeira fase, procedeu-se à uniformização das projecções cartográficas para ETRS89 Portugal TM06 e extracção da informação da vulnerabilidade para a malha a perigosidade através de ferramentas do software ArcGIS 10.2 (Fig. 6). Após esta nova representação da vulnerabilidade, verificou-se que alguns nós da malha não-estruturada não apresentavam valores de vulnerabilidade devido a uma ligeira discrepância dos limites entre as malhas da perigosidade e da vulnerabilidade. De forma a colmatar estes casos, foi construída uma rotina em linguagem *python* que permitiu atribuir valores de vulnerabilidade a estes pontos sem informação através do ponto mais próximo que contenha a informação pretendida. Em seguida, os índices de vulnerabilidade foram normalizados para uma gama entre 0 e 1 de forma a uniformizar o intervalo de valores entre os 4 índices. Assim, com as diversas informações para a perigosidade e vulnerabilidade para cada um dos 42156 nós da malha previamente definida, obtiveram-se os valores de risco, resultantes da multiplicação entre cada um dos 10 mapas de perigosidade com cada um dos 4 mapas de vulnerabilidade (Fig. 7).

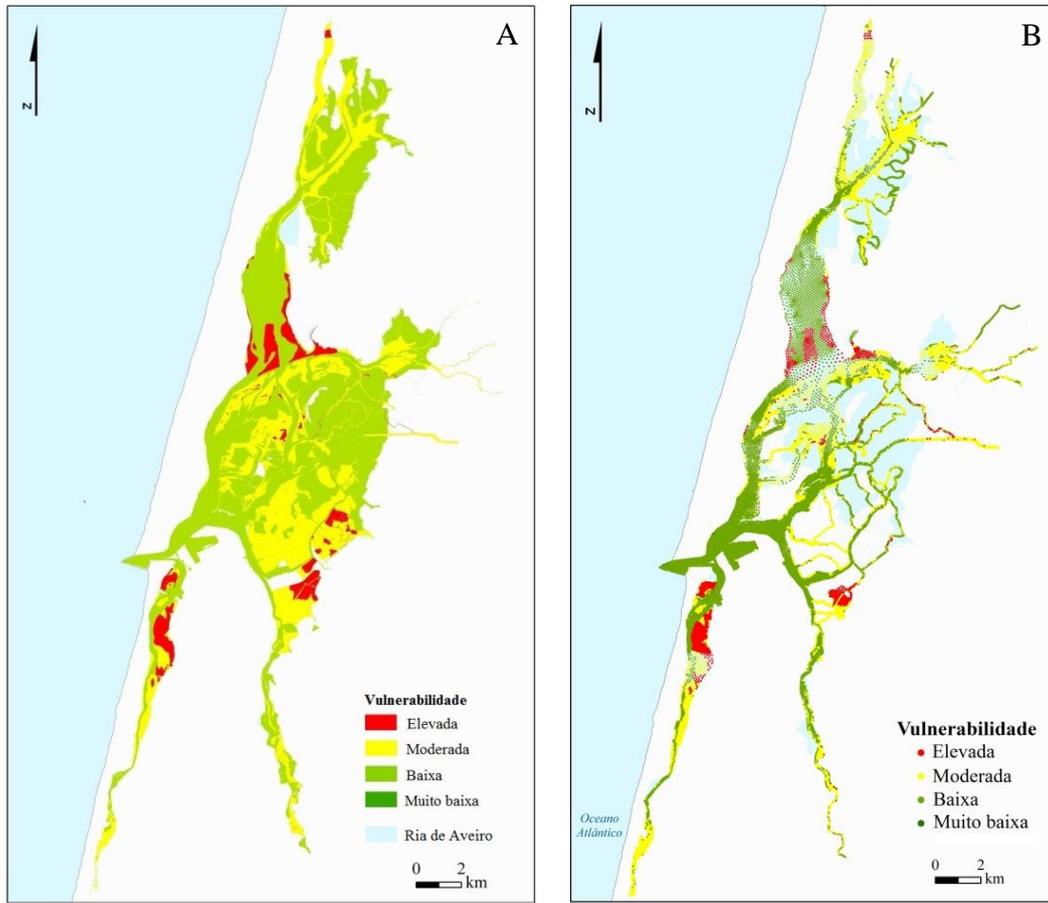


Fig. 6 Extracção dos valores de vulnerabilidade para a malha da perigosidade. A - Malha da vulnerabilidade; B - Malha da perigosidade.

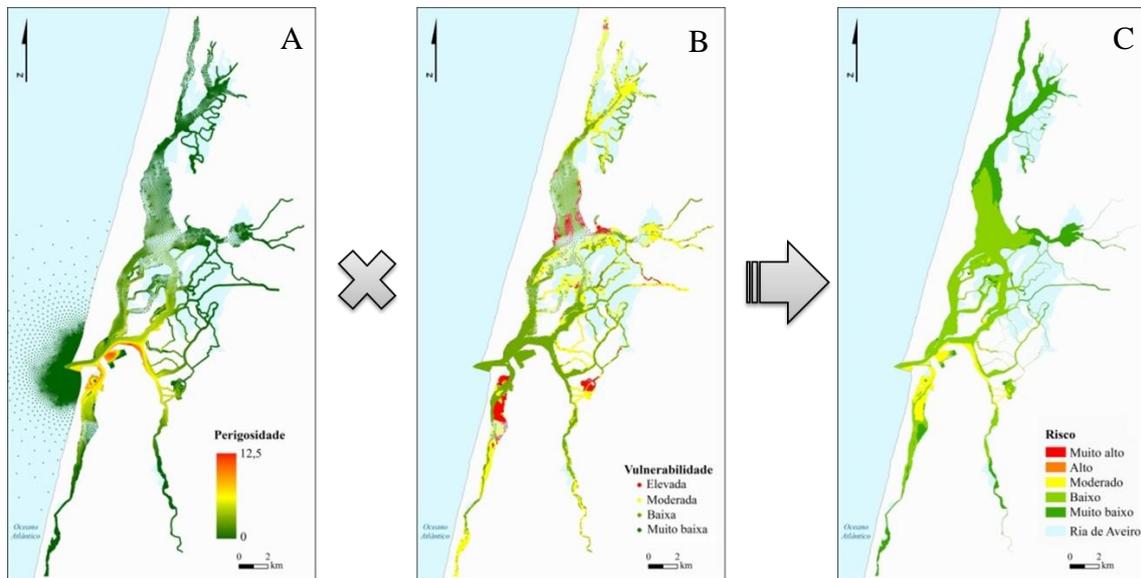


Fig. 7 Processo exemplificativo da obtenção dos mapas de risco. A - Mapa de perigosidade; B - Mapa de vulnerabilidade; C - Mapa de risco.

Com intuito de se obter uma representação espacial contínua do risco ao longo da Ria de Aveiro, utilizou-se a triangulação já definida na malha utilizada: através dos nós de cada triângulo da malha (correspondentes aos vértices dos triângulos), as médias de risco forma calculadas e atribuídas à respectiva face do triângulo (Fig. 7).

Os mapas de risco obtidos apresentaram valores máximos de risco entre 9,1 e 61,7, numa gama de valores cujo máximo teórico corresponde a 100. Assim, para obter uma representação dos valores mais distribuída ao longo da possível gama de valores de risco, foi utilizada uma equação que permitiu redistribuir os valores de risco com maior incidência na gama de valores mais reduzida (Eq. 2). Por último, os novos valores de risco (normalizados) que passaram a variar entre 0 e 1 foram agrupados em 5 classes com iguais intervalos de valores e classificados como Muito baixo, Baixo, Moderado, Elevado e Muito elevado (Fig. 8).

$$Risco\ normalizado = \left(\frac{Risk}{100} \right)^{1/4} \quad (Eq. 2)$$

| Classes de risco | Valores |
|------------------|-------------|
| Muito elevado | [0,8 - 1] |
| Elevado | [0,6 - 0,8[|
| Moderado | [0,4 - 0,6[|
| Baixo | [0,2 - 0,4[|
| Muito baixo | [0 - 0,2[|

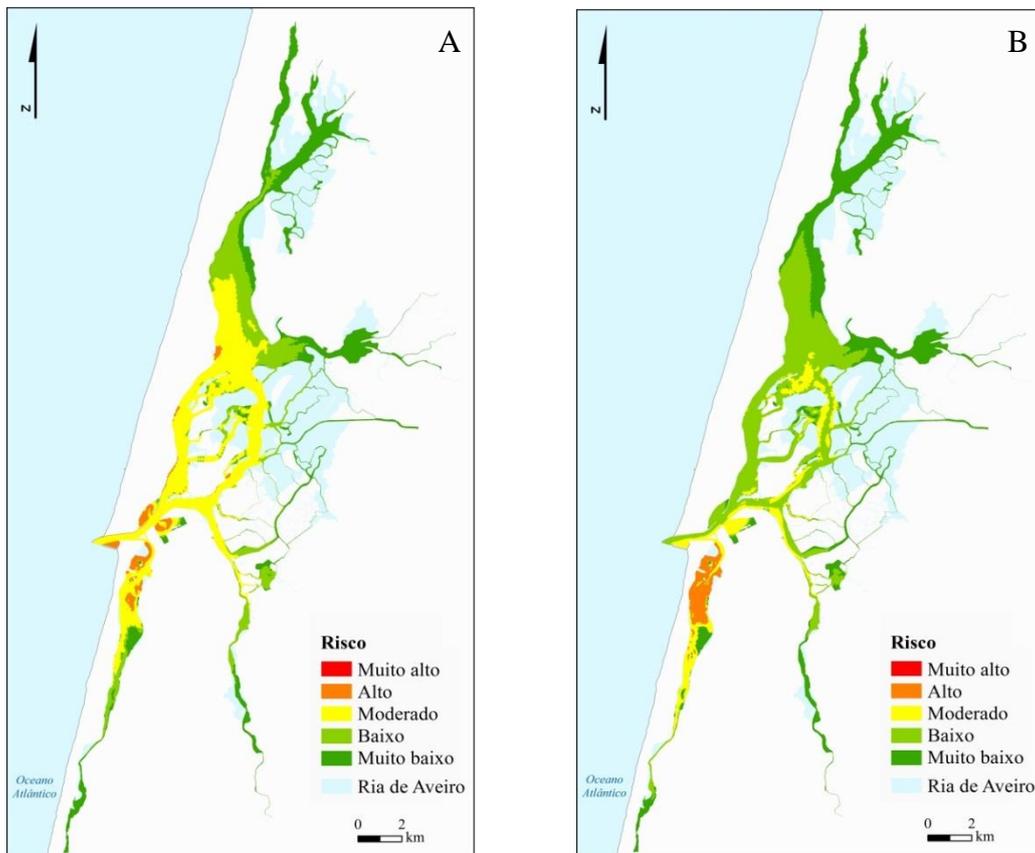
Fig. 8 Agrupamento e classificação dos valores de risco.

6. Análise de risco

6.1. Locais de derrame

Os locais de derrame analisados apresentam consideráveis variações de risco em função do local analisado (Fig. 9). Observando os mapas de risco de uma forma mais alargada e geral, verifica-se que a zona central e a parte superior da zona sul da Ria de Aveiro são as zonas que apresentam maior risco, através das classes Moderada, Elevada e Muito elevada. Nesta região, o sector inicial do Canal de Mira (próxima de P2) destaca-se por corresponder à área mais frequentemente afectada por quase todos os locais de derrame (à excepção do local P6), na qual se regista risco Elevado e Muito elevado. Em oposição, as áreas mais periféricas da Ria de Aveiro correspondentes aos sectores terminais dos canais apresentam risco Muito baixo e Baixo (Fig. 9).

Analisando a extensão dos derrames sobre a Ria de Aveiro, observa-se que os locais de derrame P1, P3, P4 e P5 são os que produzem maior risco (classes Elevada e Muito elevada) em regiões da Ria que se encontram bastante distantes dos respectivos locais de derrame (Fig. 9). Em oposição, os derrames com origem em P2 e P6 apresentam risco Elevado e Muito elevado em áreas mais próximas dos respectivos locais de derrame (Fig. 9). Enquanto os primeiros quatro locais de derrames se encontram junto ao canal que efectua a ligação entre o mar e cada um dos 4 canais principais da Ria de Aveiro, os dois últimos locais mencionados localizam-se nos canais principais da Ria. Perante tais resultados, denota-se que a influência das condições hidrodinâmicas sobre os locais de derrame e consequente potencial de dispersão do óleo ao longo da Ria varia entre estes dois conjuntos de locais de derrame: os locais que se encontram mais expostos às correntes e marés que controlam a dinâmica da laguna apresentam maior potencial de dispersão do óleo causando elevado risco em áreas mais distantes, em oposição aos locais que se encontram em regiões hidrodinâmicas de menor agitação e circulação de água. Os locais P1 e P4 evidenciam-se também por serem os locais de derrame que mais contribuem para a existência de áreas de risco Moderado, Elevado e Muito elevado na região norte da Ria de Aveiro (Fig. 9).



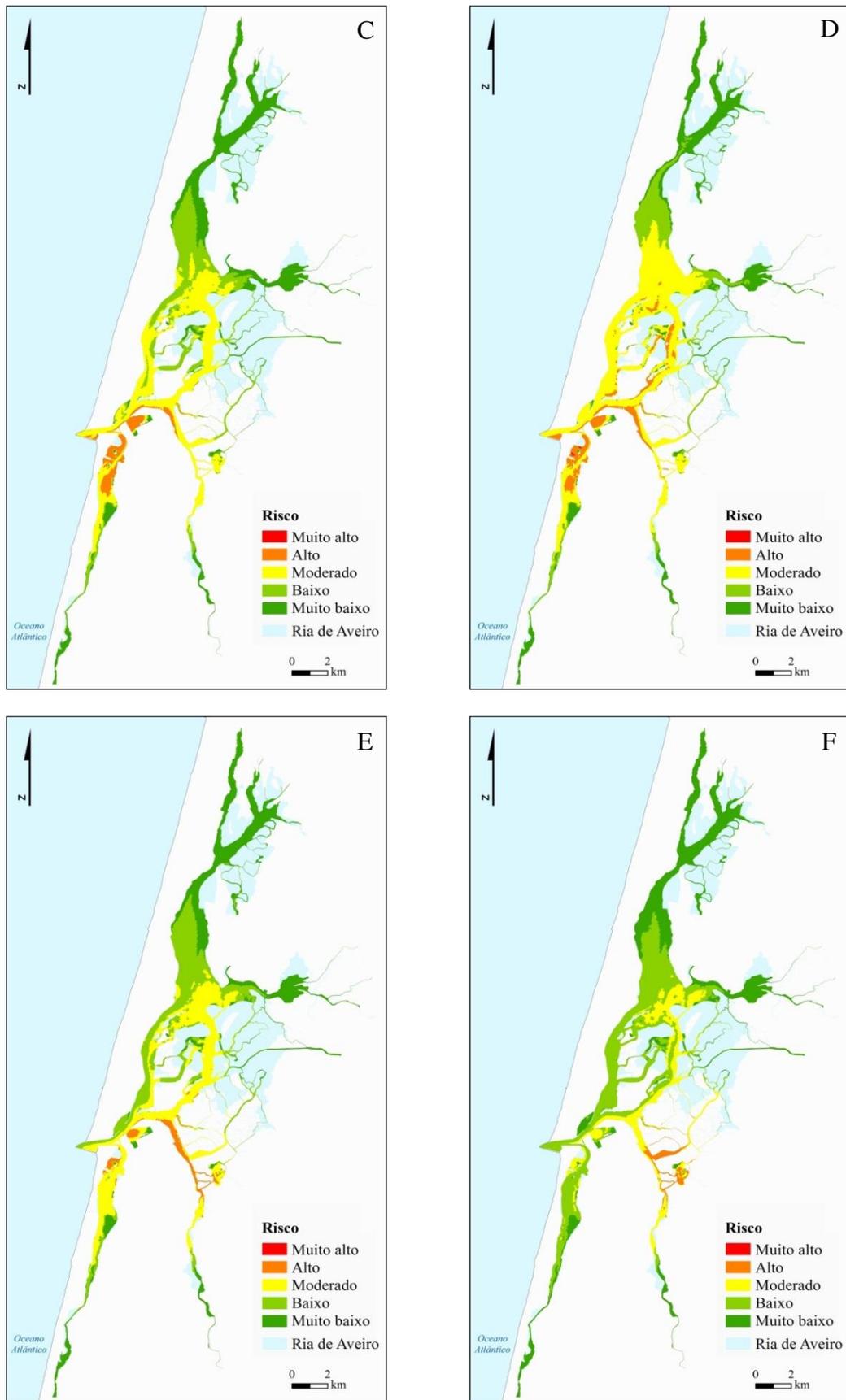
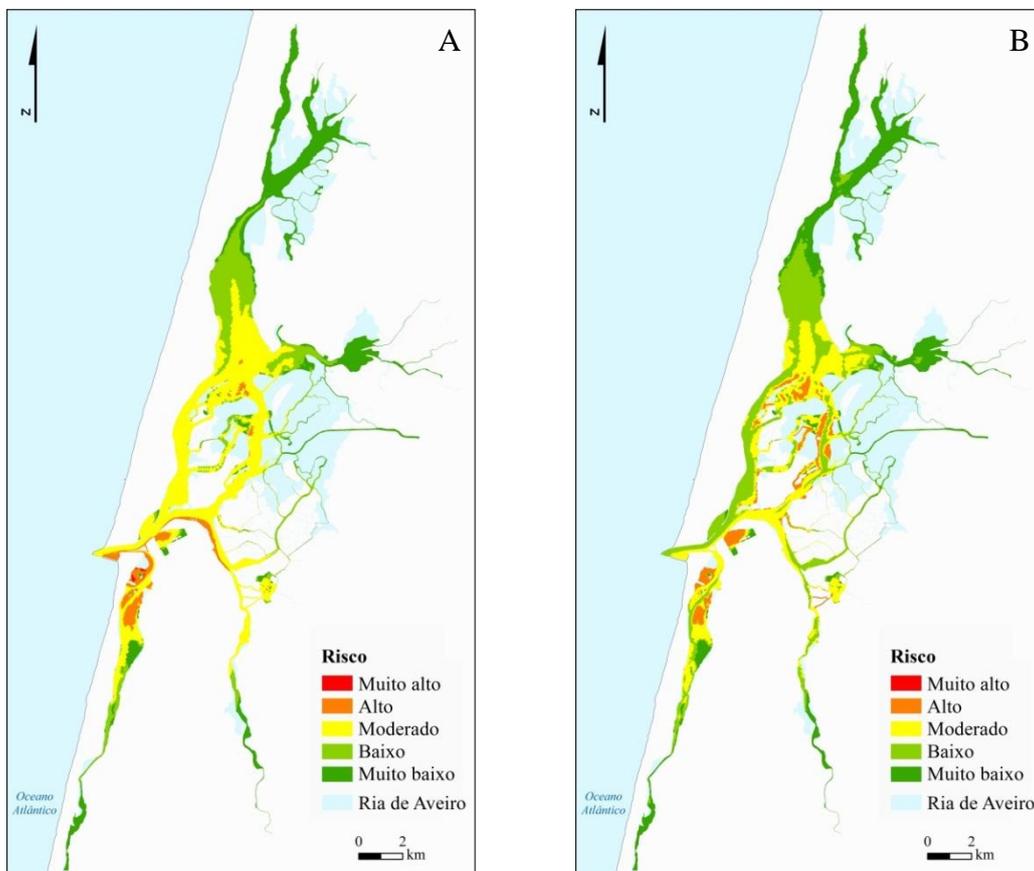


Fig. 9 Mapas de risco para cada local de derrame considerando o índice de vulnerabilidade global. A - Barra (P1); B - Porto de Pesca Costeiro (P2); C - Terminal Norte (P3); D - Terminal de Granéis Líquidos (P4); E - Porto de Pesca Longínqua (P5); F – Terminal Sul (P6).

Os mapas de risco produzidos para cada índice de vulnerabilidade revelam que diferentes índices de vulnerabilidade produzem diferentes áreas e magnitudes de risco na Ria de Aveiro. O índice socioeconómico destaca-se por apresentar maiores áreas de risco Elevado e Muito elevado, comparativamente com os restantes mapas de risco que consideram diferentes índices de vulnerabilidade (Fig. 10). Em oposição, encontram-se os mapas produzidos com o índice físico, que apresentam menor risco na Ria de Aveiro (Fig. 10).

Quanto às particularidades de cada índice de vulnerabilidade, verifica-se que o índice físico tende a apresentar classes de risco mais elevadas em zonas intertidais e áreas confinadas da Ria de Aveiro, como são exemplos o Terminal Norte do Porto de Aveiro e pequenos e estreitos canais da Ria de Aveiro (Fig. 10); os mapas de risco que consideram o índice biológico são bastante semelhantes aos respectivos mapas de risco que consideram o índice de vulnerabilidade global (Fig. 10); e os mapas de risco referentes ao índice socioeconómico são semelhantes aos respectivos mapas de perigosidade, como consequência da elevada uniformidade de valores do referido índice de vulnerabilidade numa vasta área da laguna.



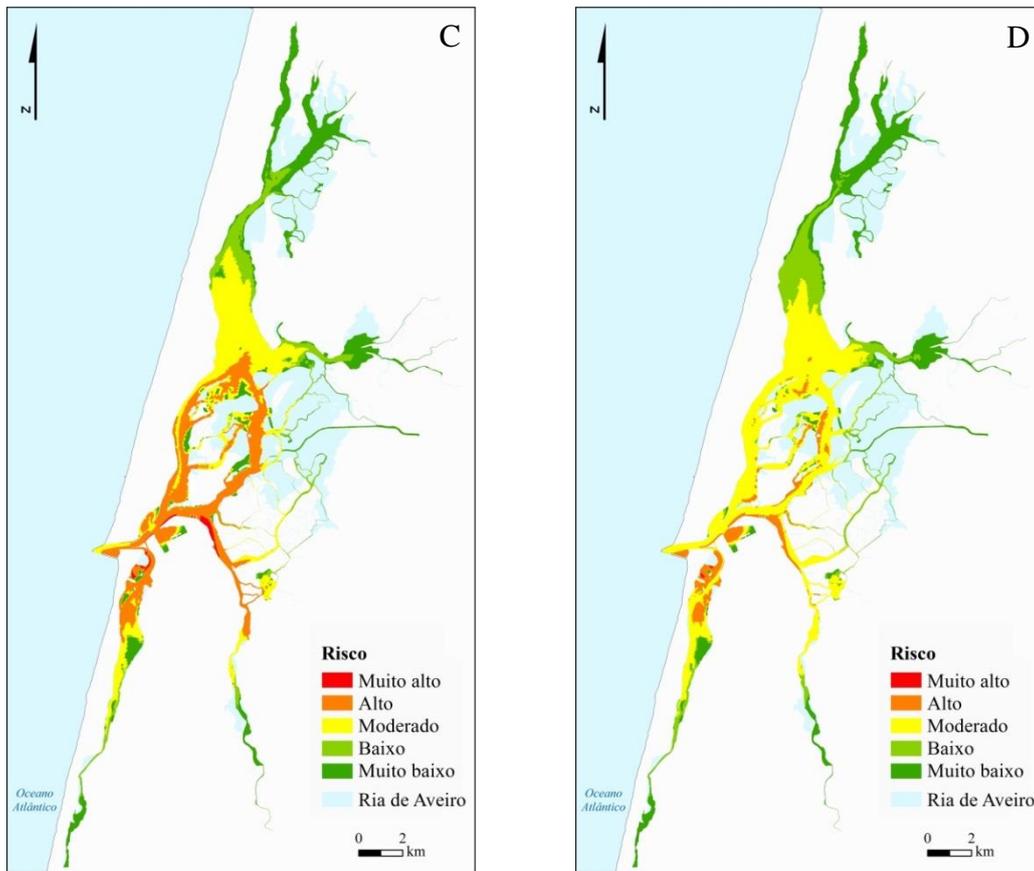


Fig. 10 Mapas de risco para cada índice de vulnerabilidade individual considerando o local de derrame do Terminal de Granéis Líquidos (P4). A - Índice biológico; B - Índice físico; C - Índice socioeconómico; D - Índice de vulnerabilidade global.

6.2.Fase de maré

Os mapas de risco que consideram simultaneamente todos os locais de derrame para cada fase de maré apresentam pouca discriminação entre as áreas mais afectadas das menos afectadas na Ria de Aveiro devido à reduzida presença da classe Elevada e ausência da classe Muito elevada nos referentes mapas (Fig. 11). Adicionalmente verifica-se que estes mapas de risco são bastante semelhantes quanto às classes de risco e áreas mais afectadas. No entanto, é possível verifica-se que na fase de preia-mar (T2) o risco é ligeiramente menor e na fase de máxima enchente (T1) o risco é maior quando comparado com outros dois casos analisados (Fig. 11).

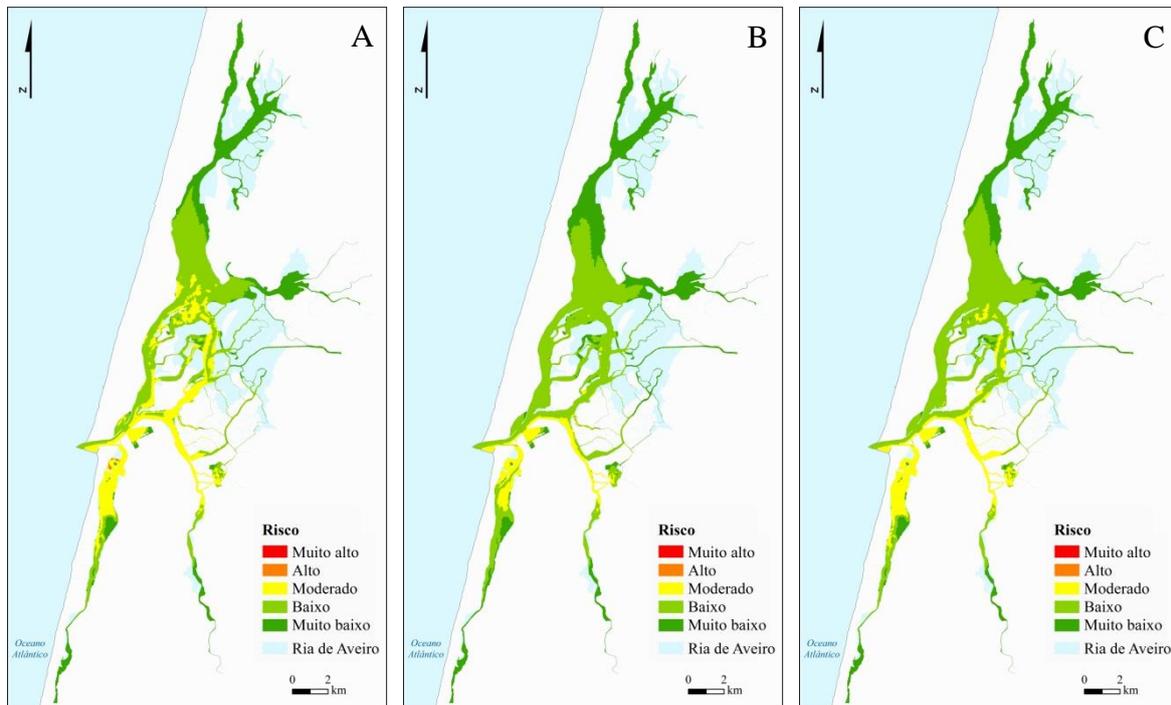


Fig. 11 Mapas de risco para cada fase de maré considerando o índice de vulnerabilidade global. A - Máxima enchente (T1); B - Preia-mar (T2); C - Baixa-mar (T3).

Analisando os mapas de risco relativos às fases de maré e que consideram cada índice de vulnerabilidade constata-se que o índice socioeconómico é o que mais afecta a zona central da Ria de Aveiro, através das classes Moderada e Elevada (Fig. 12). Por sua vez, os mapas de risco que consideram os restantes índices individuais de vulnerabilidade mostram que os canais de Mira e Ílhavo e o Terminal Norte são de uma forma geral as áreas mais afetadas (Fig. 12).

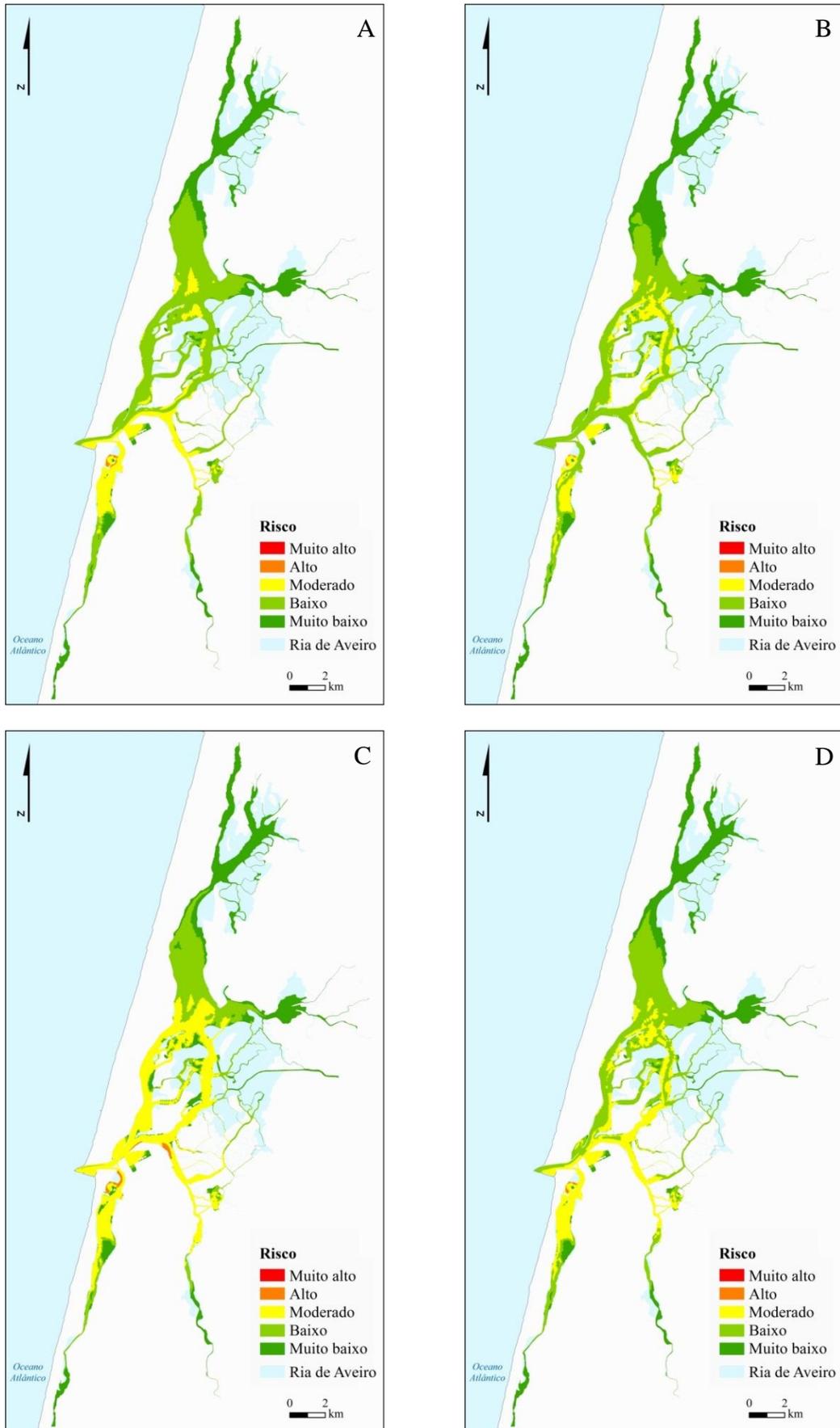


Fig. 12 Mapas de risco para o índice de vulnerabilidade considerando a fase de máxima enchente (T1): A - índice de biológico; B - Índice físico; C - Índice socioeconómico; D - Índice de vulnerabilidade global.

7. Contributos da análise de risco no âmbito da gestão de risco a derrames de hidrocarbonetos

A presente análise de risco a derrames de hidrocarbonetos constitui uma poderosa ferramenta que pode ser utilizada de diversas formas para apoiar a elaboração de medidas de mitigação e estratégias de gestão do risco. A análise de risco que considera os distintos índices de vulnerabilidades tem como maior potencial a possibilidade de efectuar um melhor e eficaz planeamento e gestão dos recursos, através do posicionamento dos recursos do sistema natural em áreas de menor risco e, preferencialmente, em áreas de reduzida vulnerabilidade. Por sua vez, a análise que tem em consideração as distintas fases de maré permite antever as áreas e elementos vulneráveis que serão mais afetados em caso de um acidente, facilitando desta forma a implementação de medidas de combate aos derrames em zonas estrategicamente mais favoráveis. Quanto à análise de risco que incide sobre os distintos locais de derrame, esta fornece informações mais específicas e detalhadas, contribuindo beneficemente para uma melhor elaboração de planos de contingência e implementação de planos de resposta. Estes planos além de propiciarem maior assertividade nos locais a implementar as medidas de resposta aos derrames, também potenciam maior eficácia no combate à dispersão do óleo e consequentemente menor impacto do óleo sobre os recursos.

Referências

- Andrade, M., Szlafsztein, C., Souza-Filho, P., Araújo, A., Gomes, M., 2010. A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: A case study using GIS and remote sensing. *Journal of Environmental Management* 91, 1972-1980.
- Ansell, J., Wharton, F., 1992. *Risk: Analysis, assessment, and management*. John Wiley & Sons.
- Azevedo, A., Oliveira, A., Fortunato, A., Bertin, X., 2009. Application of an Eulerian-Lagrangian oil spill modeling system to Prestige. *Proceedings 10th International Coastal Symposium, Journal of Coastal Research, Special Issue 56*, 777-781.
- Azevedo, A., Oliveira, A., Fortunato, A.B., Zhang, J., Baptista, A.M., 2014. A cross-scale numerical modeling system for management support of oil spill accidents. *Marine Pollution Bulletin*, 80, 13-147.
- Bertin, X., Oliveira, A., Fortunato, A.B., 2009. Simulating morphodynamics with unstructured grids: description and validation of an operational model for coastal applications. *Ocean Modelling*, 28,1-3, 75-87.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, C4, 104, 7649-7666.
- Bruneau, N., Fortunato, A.B., Dodet, G., Freire, P., Oliveira, A., Bertin, X., 2011. Future evolution of a tidal inlet due to changes in wave climate, sea level and lagoon morphology (Óbidos lagoon, Portugal). *Continental Shelf Research* 31, 18, 1915-1930.
- Cutter, S., 1993. *Living with risk: The geography of technological hazard*. London and NY: Edward Arnold.
- De-Lange, H., Sala, S., Vighi, M., Faber, J., 2010. Ecological vulnerability in risk assessment – A review and perspectives. *Science of the Total Environment* 408, 3871-3879.
- den Boer, S., Azevedo, A., Vaz, L., Costa, R., Fortunato, A.B., Oliveira, A., Tomás, L.M., Rodrigues, M., 2014. Development of an oil spill hazard scenarios database for risk assessment. In Green, A.N. and Cooper, J.A.G. (eds), *Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa)*, *Journal of Coastal Research, Special Issue 70*, 539-544.
- Douglas, J., 2007. Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 7, 283-288.
- Eide, M., Endresen, O., Breivik, O., Brude, O., Ellingsen, I., Roang, K., Hauge, J., Brett, P., 2007. Prevention of oil spill from shipping by modelling of dynamic risk. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1619-1633.
- Garcia, D., Bruschi, D., Cumo, F., Gugliermetti, F., 2013. The Oil Spill Hazard Index (OSHI) elaboration. An oil spill hazard assessment concerning Italian hydrocarbons maritime traffic. *Ocean & Coastal Management* 80, 1-11.
- Grifoll, M., Jordà, G., Borja, Á., Espino, M., 2010. A new assessment method for water quality degradation in harbour domains, using hydrodynamic models. *Marine Pollution Bulletin* 60, 69-78.
- Iakovou, E., 2001. Na interactive multiobjective model for the strategic maritime transportation of petroleum products: risk analysis and routing. *Safety Science* 39, 19-29.

- IPIECA, 2013. Oil spill risk assessment and response planning for offshore installations. Final report, p. 152.
- ISO/IEC, 2009. Risk assessment – Risk assessment techniques. ISO 31010:2009.
- ISO, 2009. Risk management – vocabulary. ISO Guide 73:2009.
- Kleissen, F., Arentz, L., Reed, M., Johansen, O., 2007. Marine environmental risk assessment system: Conceptual design and preliminary demonstration for the Dutch continental shelf. Delf Hydraulics Report, p. 46.
- Lahr, J., Kooistra, L., 2010. Environmental risk mapping of pollutants: State of the art and communications aspects. *Science of the Total Environment* 408, 3899-3907.
- Lee, M., Jung, J., 2013. Risk assessment and national measure plan for oil and HNS spill accidents near Korea. *Marine Pollution Bulletin* 73, 339-344.
- Liu, R., Borthwick, A., Lan, D., Zeng, W., 2013. Environmental risk mapping of accidental pollution and its zonal prevention in a city. *Process Safety and Environmental Protection* 91, 397-404.
- Olita, A., Cucco, A., Simeone, S., Ribotti, A., Fazioli, L., Sorgente, B., Sorgente, R., 2012. Oil spill hazard and risk assessment for the shorelines of a Mediterranean coastal archipelago. *Ocean & Coastal Management* 57, 44-52.
- Oliveira, E.R., Silveira, B., Alves, F.L., 2013. Support mechanisms for oil spill accident response in coastal lagoon areas (Ria de Aveiro, Portugal). *Journal of Sea Research* 93, 112-117.
- Rao, P., Raghavan, K., 1996. Hazard and risk potential of chemical handling at ports. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 9, 199-204.
- Ronza, A., Carol, S., Espejo, V., Vílchez, J.A., Arnaldos, J., 2006. A quantitative risk analysis approach to port hydrocarbon logistics. *Journal of Hazardous Materials A128*, 10-24.
- Salter, J., 1997. Risk management in a disaster management context. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 5, 60-65.
- Santos, C., Michel, J., Neves, M., Janeiro, J., Andrade, F., Orbach, M., 2013. Marine spatial planning and oil spill risk analysis: Finding common grounds. *Marine Pollution Bulletin* 74, 73-81.
- Schmidt, Matcham, I., Reese, S., King, A., Bell, R., Henderson, R., Smart, G., Cousind, J., Smith, W., Heron, D., 2011. Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk modelling. *Natural Hazards* 58, 1169-1192.
- Schwab, J., Topping, K., Eadie, C., Deyle, R., Smith, R., 1998. Planning for post-disaster recovery and reconstruction. *Planning Advisory Service report 483/484*, p. 346.
- Tarrant, M., 1998. Risk communication in the context of emergency management planning: Planning with rather than for communities. *Australian Journal of Emergency management* 4, 20-21.
- Trbojevic, V., Carr, B., 2000. Risk based methodology for safety improvements in port. *Journal of Hazardous Materials* 71, 467-480.
- United Nations/Inter-Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR), 2004. *Living with risk - A global review of disaster reduction initiatives*. New York and Geneva, p. 457.

- UNDHA, 1992. Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management. Departement of Humanitarian Affairs of the United Nations. 81p.
- van Dorp, J., Merrick, J., 2011. On a risk management analysis of oil spill risk using maritime transportation system simulation. *Annals of Operations Research* 187, 249-277.
- Xiaoyan, D., Xiaofei, L., 2012. Conceptual model on regional natural disaster risk assessment. *Procedia Engineering* 45, 96-100.
- Zhang, Y., Baptista and A.M, Myers, E.P., 2004. A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plume-shelf systems: I. Formulation and skill assessment. *Continental Shelf Research*, 24/18. 2187-2214.
- Zêzere, J.L., Ramos, C., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., 2008. Perigos naturais, tecnológicos e ambientais na região do Oeste e Vale do Tejo. *Inforgeo* 22/23, 37-49.

Lisboa, 8 de Setembro de 2014

O Bolsheiro de Investigação

A handwritten signature in black ink, reading "Bruno Epifânio". The signature is written in a cursive style with a prominent vertical stroke for the letter 'i'.

(Bruno Epifânio)