



DERRAME E DISPERSÃO DE POLUENTES EM BACIAS PORTUÁRIAS E ÁGUAS ADJACENTES

CASO DOS PORTOS DE AVEIRO, FIGUEIRA DA FOZ, LISBOA, SETÚBAL E SINES

Mário Teles, HIDROPROJECTO, SA
Andreia Barata, HIDROPROJECTO, SA

Resumo

No âmbito dos Planos de Emergência dos portos de Aveiro, Figueira da Foz, Lisboa, Setúbal e Sines, cuja elaboração pertenceu à empresa CERTITECNA, foram desenvolvidas aplicações em modelo matemático para a determinação da dispersão de derrames de hidrocarbonetos na água com origem em navios ou instalações portuárias.

Os modelos utilizados nas aplicações pertencem ao sistema MEGA – Modelos Matemáticos de Engenharia e Gestão do Ambiente da Hidroprojecto. Consistem num modelo de hidrodinâmica e qualidade da água e num módulo lagrangeano associado. Este módulo lagrangeano, na versão conservativa, é comparável a excursões de maré e traduz a actuação da maré, do vento e da ondulação. Pode ser operado com opção de decaimento traduzindo o efeito da impulsão e da decomposição na coluna de água, constituindo uma aproximação tridimensional do transporte de um derrame de hidrocarbonetos; nele podem ser também ser incluídos os processos de interacção com a atmosfera. O módulo inclui a hipótese de lançamento em contínuo ou instantâneo, a partir de locais seleccionados pelo utilizador.

Em cada uma das bacias portuárias atrás indicadas foi efectuada a simulação da dispersão de um poluente conservativo a partir de conjuntos de locais identificados com infra-estruturas portuárias e com durações definidas pela escala temporal de intervenção do Plano de Emergência. A diferentes condições de descarga do efluente foram associadas representações distintas dos resultados, nomeadamente: derrames instantâneos em enchente e vazante, com representação langrangeana; e descargas contínuas durante o tempo da simulação, com representação euleriana. Os resultados obtidos foram objecto de tratamento por forma a serem inseridos no sistema informático do Plano de Emergência para utilização em tempo real.

Factores da dispersão de poluentes

Os Planos de Emergência necessitam de prever os padrões da dispersão de substâncias poluentes associadas à actividade portuária em caso de derrame na água. Nos estuários e na zona costeira adjacente a dispersão das substâncias derramadas está essencialmente associada ao transporte produzido pelas correntes de maré e de vento, isto é, à advecção. A advecção é determinada essencialmente pelas condições de turbulência associadas às correntes de maré e de vento, excepto em condições de brisa forte ou de temporal, durante as quais a acção da ondulação pode tornar-se dominante. A complexidade destes processos requer para a sua rigorosa caracterização o recurso a modelos matemáticos.

Além da advecção, actuam processos de difusão que, na região em análise, são em ordem de grandeza de importância inferior àquela.

Modelos Bidimensionais para Simulação da Hidrodinâmica e da Qualidade da Água na Zona Costeira ou estuarina adjacente aos Portos

O sistema de modelos inclui um modelo de hidrodinâmica e um módulo de qualidade da água e um módulo lagrangeano associado. O modelo original, referências [1], [2] e [3], foi objecto de desenvolvimentos posteriores na Hidroprojecto e tem vindo a ser aplicado e verificado em diversos trechos da costa e em estuários. Inclui uma interface para a integração dos resultados num sistema de gestão de emergência.

O módulo lagrangeano, que na versão conservativa é comparável a excursões de maré, pode ser operado com opção de decaimento traduzindo uma aproximação tridimensional do transporte de um derrame de hidrocarbonetos; podem também ser incluídos os processos de interacção com a atmosfera. O módulo inclui a hipótese de lançamento em contínuo ou instantâneo, a partir de locais seleccionados pelo utilizador.

Modelo Bidimensional de Hidrodinâmica

O modelo simula a variação da altura de água e da velocidade média da corrente num domínio bidimensional em escalas temporais da maré, diárias ou da luação. É constituído pelas equações de Navier-Stokes e da Continuidade do Volume, numa formulação bidimensional no plano horizontal e pelas leis que traduzem a variação das condições de fronteira oceânicas (marés, vento ou correntes induzidas pelas ondas) e estuarinas (caudais), Referências [1] e [2]. Inclui também a possibilidade de introdução de diversas descargas ou tomadas de água. O método numérico de resolução dos sistemas de equações é de diferenças finitas, semi-implícito, de duplo varrimento e direcções alternantes (ADI), segundo o algoritmo de Leendertse. São utilizadas grades deslocadas ("staggered") no espaço e no tempo.

O modelo bidimensional de Leendertse retém todos os termos que figuram nas equações gerais, simulando também a variação temporal das fronteiras na zona de espraiados de maré. O modelo retém os fenómenos mais importantes que intervêm na propagação da maré, designadamente: a advecção da quantidade de movimento, o atrito no fundo, o atrito lateral devido à difusão horizontal da quantidade de movimento, o efeito de rotação da Terra (efeito de Coriolis) e os gradientes de pressão. Incorpora também a acção do vento, podendo assim simular os fenómenos de sobre-elevação temporária do nível médio junto à costa que ocorrem para determinadas condições de vento.

Módulo da Qualidade da Água

Neste módulo é simulada a variação temporal da distribuição espacial de uma propriedade conservativa ou não, associada ao movimento da água num domínio bidimensional. É constituído pela equação do balanço de massa do constituinte que se considera, numa formulação bidimensional no plano horizontal e pelas condições de fronteira adequadas. Inclui também a

possibilidade de introdução de diversas fontes ou sumidouros pontuais, Referência [3]. O modelo simula a dispersão dos diversos constituintes à custa dos campos instantâneos de velocidade da corrente e da altura da água, pelo que a equação de balanço é resolvida em conexão com as equações da hidrodinâmica referidas no modelo de hidrodinâmica. O método numérico é semelhante ao referido nesse modelo.

O modelo permite simular vários constituintes em simultâneo, nomeadamente os coliformes fecais, o oxigénio dissolvido, a carência bioquímica de oxigénio, os nutrientes, a produção primária e a concentração de sedimentos em suspensão além da salinidade e da temperatura. Para simular a salinidade, ou outro constituinte conservativo, é apenas necessário recorrer à equação de balanço de massa. Para os constituintes não conservativos é necessário introduzir as leis de decaimento e interacção entre eles, o que no modelo é feito através da especificação dos termos de uma matriz de reacção.

Módulo de traçadores lagrangeanos

O sistema de modelos inclui um módulo lagrangeano, desenvolvido na HIDROPROJECTO de acordo com as Referências [4] e [5] que, na versão conservativa, equivale ao cálculo de excursões de maré, ao ser operado com opção de decaimento traduz-se numa aproximação tridimensional do transporte de um derrame, por exemplo de hidrocarbonetos, ou de interacção com a atmosfera. O derrame da substância poluente pode ser simulado em contínuo ou intermitentemente a partir de um conjunto de locais previamente seleccionados.

Considerando um derrame pontual e instantâneo de uma massa de óleo ou outro poluente, este pode ser dividido num número de partículas de igual massa. Inicialmente a evolução da mancha de óleo é fortemente determinada por dispersão inicial associada à tensão superficial e pela evaporação. A trajectória e a extensão da mancha, após este período inicial, é devida sobretudo à advecção e à dispersão turbulenta.

A componente da velocidade responsável pela advecção das partículas é fornecida pelo modelo de hidrodinâmica anteriormente descrito. Para o óleo à superfície considera-se não só o efeito da corrente, mas também a acção do vento. A dispersão turbulenta é simulada por um passeio aleatório. As trajectórias das partículas são calculadas através da integração do campo da velocidade. Cada nova posição de uma partícula é calculada à custa da posição anterior e da velocidade total que se faz igual à soma de uma velocidade de deriva, devida á corrente e ao vento e de uma velocidade dispersiva.

Dados de Base

Os domínios de cálculo resultam da digitalização de dados hidrográficos e topográficos que provêm ou de levantamentos hidrográficos (DGP ou outros disponibilizados para o projecto) ou das cartas náuticas (IH). Os domínios de cálculo, foram representados numa malha regular com as dimensões de 50x50m (Figueira da Foz), 100x100m (Sines), 150x150m (Setúbal) e 300x300m (Lisboa), 100x200m (Aveiro), consistente com a variabilidade espacial da geometria limite e da batimetria da região.

Nas fronteiras oceânicas dos modelos foram especificadas séries temporais de alturas de água através da síntese harmónica da maré para os diferentes marégrafos calculada pelo método do Instituto Hidrográfico, Referência [6] ou calculadas com o programa “Marés” do Instituto Hidrográfico (IH). Foi simulada a ocorrência de períodos de 30 horas de marés de águas vivas, médias e mortas. Recorreu-se também a outros dados publicados, designadamente estatísticas de ventos (IM) e valores de caudal (INAG), bem como valores de velocidade da corrente, salinidade e temperatura utilizados para a calibração dos modelos disponíveis em diversos relatórios (HIDROPROJECTO), ou ainda, no caso do estuário do Mondego, o trabalho da Referência [7], no estuário do Sado o trabalho de Wollast, referências [8] e [9] e no caso do Tejo as Referências [10] e [11].

Na parametrização do atrito foram adoptados valores do coeficiente de Manning a variar no intervalo 0,022 a 0,055 $m^{1/3} s^{-1}$. Para o coeficiente de macro-difusão turbulenta longitudinal foi especificado o valor de 20 $m^3 .s^{-1}$.

Resultados das simulações efectuadas para os Planos de Emergência dos Portos da Figueira da Foz e de Aveiro

Os portos de Aveiro e da Figueira da Foz pela sua proximidade relativa estão sujeitos a acções forçadoras semelhantes e encontram-se localizados em estuário e laguna costeira, que se caracterizam por escoamento orientado ao longo de canais relativamente estreitos.

- Estuário do Mondego

O modelo do estuário do Mondego da HIDROPROJECTO foi objecto de calibração em trabalhos anteriores, se bem que com a batimetria e a geometria limite não actualizadas para a situação presente. Na ausência de dados mais recentes que possibilitassem uma calibração para a situação actual, recorreu-se a um processo de calibração relativo à intrusão salina que, pela sua natureza conservativa, é representativa da hidrodinâmica estuarina. Essa calibração assentou em registos de salinidade do Mondego obtidos em frente a Alqueidão, efectuados pela SOPORCEL, durante dois períodos de 24 horas cada, em Setembro de 1986, Referência [9]. A partir desses registos e dos dados e condições referidos no número anterior, procedeu-se à simulação da hidrodinâmica e do balanço de sal na situação referida a 1986, isto é, sem dragagem da zona de transição e com regularização do Baixo Mondego.

A série temporal de alturas de água foi seleccionada por forma a representar marés com amplitudes semelhantes às amplitudes das marés dos períodos em que foram efectuadas as observações de salinidade adiante referidas para efeitos de calibração do modelo. À salinidade oceânica foi fixado o valor de $S= 36\%$, atendendo ao afastamento das fronteiras oceânicas relativamente à embocadura. Na fronteira de montante, situada a cerca de 20km da confluência entre os braços Principal e Sul do estuário, foi especificada salinidade nula e o regime permanente de caudais de estiagem de $10m^3/s$. A relativa imprecisão associada às condições de fronteira a montante condiciona o rigor absoluto dos resultados do modelo matemático. No entanto, para as mesmas condições em que é efectuada a calibração, a análise comparativa dos resultados permanece válida.

No contexto da elaboração do Plano de Emergência foram simulados derrames de uma substância poluente conservativa através do lançamento de partículas nos quatro locais a seguir indicados: Porto de Pesca; Cais Comercial; Doca; Barra. Os lançamentos foram efectuados ao longo de uma maré nos cinco instantes seguintes: PM+0,5 horas (estofa da PM); PM+3,0 horas (vazante); BM-0,5 horas (estofa da BM); BM+2,0 horas (enchente); PM-1,5 horas (enchente).

As condições de fronteira oceânicas consistiram na especificação do já referido período de marés de águas vivas, em conjugação com três condições associadas ao regime de vento na zona costeira. Desta forma, procurou-se reter quer as condições dominantes no estuário – as correntes de maré – quer as condições dominantes na zona costeira - as correntes de deriva.

As trajectórias seguidas pelas partículas foram registadas ao longo de quatro marés, no total de aproximadamente 50 horas. Considerou-se que, no contexto do Plano de Emergência, o período de actuação que se segue à ocorrência de um derrame está contido nesse intervalo de tempo, isto é, no intervalo de dois dias.

Um derrame que ocorra junto à Doca, junto à margem direita, Figura [1], tenderá a afectar o Braço Principal até à Confluência de montante dos dois braços e, sobretudo, a área exterior adjacente à barra. No Braço Sul do estuário, o derrame tenderá a ficar confinado às vizinhanças do Porto de Pesca. A parte que atinge o mar tende a pairar ao largo na zona adjacente. A sua deriva na zona costeira depende do regime de vento do momento. Na maior parte do tempo tenderá a fazer-se em direcção ao sul, atendendo à predominância de condições de mar e de vento do quadrante noroeste na costa oeste portuguesa. Na ocorrência de vento de sudoeste tenderá a haver contenção na zona da Barra e no interior do estuário.

Um derrame no trecho final do estuário Figura [2], tem efeitos semelhantes aos detectados para um derrame junto à Doca, designadamente a tendência a afectar preferencialmente o Braço Principal e a área exterior adjacente à Barra. Sublinha-se, no entanto, que o Braço Sul tenderá a ser mais afectado por um derrame na Barra do que por um derrame junto à Doca, pelo facto de aquele ocorrer no eixo do rio. A parte do derrame que atinge a zona exterior comporta-se de maneira semelhante à descrita no caso anterior, sendo de notar um maior efeito dispersivo em direcção ao mar para o regime de vento de noroeste.

Um derrame junto ao Cais Comercial, Figura [3], afecta preferencialmente o Braço Principal e a área exterior adjacente à Barra. Se ocorrer no início da enchente a sua influência pode ultrapassar a Confluência entre os dois braços do estuário. Se ocorrer no final da vazante é susceptível de afectar uma extensão apreciável do Braço Sul. Na ocorrência de vento de sudoeste observa-se maior dispersão transversal das partículas que simulam o derrame ao longo do Braço Principal.

Um derrame no Porto de Pesca, Figura [4], tenderá a afectar sobretudo o trecho final do estuário e a zona exterior adjacente à Barra. Os dois braços do estuário tenderão também a ser afectados em extensões semelhantes, dependendo das condições de vento a maior incidência do derrame num ou noutro braço. À semelhança do que se observa nos derrames anteriores, o regime de vento de sudoeste tende a conter um maior número de partículas no interior do estuário, enquanto o regime de noroeste é dispersivo relativamente ao estuário.

- Ria de Aveiro

As simulações efectuadas para o Porto de Aveiro correspondem a um conjunto de condições análogas às descritas anteriormente. Retêm-se, para apresentação, os resultados relativos a lançamentos localizados no Canal Principal e no Terminal Químico, em vazante, que se representam nas Figuras [5] e [6].

Resultados das simulações efectuadas para os Planos de Emergência dos Portos de Setúbal e Lisboa

- Estuário do Sado

Tal como os anteriores, os portos de Lisboa e Setúbal pela sua proximidade relativa estão sujeitos a acções forçadoras semelhantes. Encontram-se ambos localizados em estuários que se caracterizam por uma circulação bidimensional no seu interior, sendo a ligação à zona costeira efectuada por uma barra e por um canal relativamente estreito.

No estuário do Sado a barra através da qual a maré penetra no estuário do Sado tem cerca de 5,5 km de extensão, 300 m de largura e profundidades médias entre 10 e 15 m, excepto em frente ao Outão onde as profundidades são superiores a 30 m. As correntes de vazante na barra podem atingir 2,0 m/s em marés de águas vivas na ocorrência de cheias. Em geral os valores máximos são 1,6 m/s na vazante e 1,2 m/s na enchente. O interior do estuário possui dois canais longitudinais com extensão de 7 km, separados por espriados de maré. Daí resultam duas vias de navegação: o Canal Norte, que serve as principais instalações portuárias, junto à cidade; o Canal Sul ou de Tróia, que serve os complexos industriais situados a montante da cidade. A profundidade média no Canal Sul é cerca de 15 m, superior à do Canal Norte, que é inferior a 10 m. As intensidades máximas das correntes de enchente e vazante nos dois canais são inferiores a 1,0 m/s, excepto em situações excepcionais, ocorrendo nas fases de PM-2 h e PM+3 h, respectivamente.

A hidrodinâmica do estuário do Sado é dominada pela propagação da maré. As acções do regime fluvial e do vento são significativas apenas quando ocorrem condições extremas. A presença de zonas de espriados de maré - Campanário, Cabra, Cabecinha, Carraca, Escama Ferro - introduz gradientes horizontais no campo da velocidade média, que estão na origem de processos dispersivos relativamente intensos. A vorticidade da corrente na presença de profundidades geralmente inferiores a 20 metros traduz-se por sua vez em mistura acentuada segundo a direcção vertical. Por isso o estuário do Sado pode ser considerado bem misturado durante a maior parte do ano.

As principais características das distribuições da salinidade e da temperatura apresentadas por R. Wollast com base nas observações efectuadas nos dias 6 e 7 de Julho 1978, traduzem-se, essencialmente, pela configuração das isopleias na zona central do estuário, Refs. [2] e [3]. A zona central do estuário é condicionada pelas águas do tipo marítimo com a salinidade de 36‰ e a temperatura de 16°C e pelas águas do tipo interior, no esteiro da Marateca. Nesta época do ano o caudal de água doce no estuário é insignificante, e como o volume deste esteiro é relativamente grande, o tempo de renovação da água é bastante elevado. A salinidade desta

água tipo varia entre 31‰ e 33.5‰ e a temperatura varia entre 20.5°C e 22.5°C. O esteiro da Marateca funciona como um reservatório de água tipo, e, juntamente com a zona oceânica da desembocadura, confere à parte central do estuário do Sado uma grande estabilidade termohalina.

No Plano de Emergência do Porto de Setúbal os locais de lançamento de poluentes conservativos utilizados foram os seguintes: Outão, Tróia, Fundeadouro Sul, Cais Comercial, Pirites e Setenave. Foram efectuados lançamentos de várias partículas, a partir dos diferentes locais, em diferentes fases da maré e foi simulada a dispersão de partículas durante um período de igual duração, para condições de maré viva, média e morta, combinadas com caudais de época seca, húmida e intermédia, cujos resultados referentes ao Cais Comercial e ao Fundeadouro Sul se apresentam nas Figuras [7] e [8], permitindo evidenciar diferentes padrões de dispersão no estuário.

Os resultados de todos os locais de lançamento foram depois hierarquizados, isto é foram atribuídos diferentes pesos em função das frequências características de cada condição quer ao longo do mês quer ao longo do ano, e foram posteriormente agregados recorrendo a uma metodologia aditiva. Esta agregação traduz a permanência das partículas em cada célula do domínio de cálculo durante o período de simulação, para o conjunto de todas as condições. Os resultados relativos a este indicador foram também ponderados, na medida em que se atribuiu maior peso aos locais de lançamento ao longo dos canais, na barra e junto aos cais, uma vez que foram seleccionados como locais de lançamento aqueles a que está associado maior probabilidade ou risco de descarga de poluentes para o estuário.

O resultado dessa agregação depois de normalizado encontra-se representado na Figura [9], sob a forma de um índice de susceptibilidade do estuário do Sado à poluição por poluentes conservativos de origem portuária. Este índice pretende descrever a susceptibilidade à poluição por hidrocarbonetos associados ao uso portuário, eventualmente lançados no estuário em diferentes pontos ao longo dos cais, canais de navegação e barra. O índice cruza a capacidade de dispersão do estuário com a ocorrência de descargas ou derrames de origem portuária.

- Estuário do Tejo

A validação dos resultados das simulações efectuadas para o Plano de Emergência do porto de Lisboa, designadamente do módulo de traçadores foi efectuada através do cálculo de excursões de maré e da sua comparação com dados de observação. O modelo de hidrodinâmica e qualidade da água foi previamente calibrado.

As únicas observações de excursões de maré no Estuário do Tejo de que se tem conhecimento foram realizadas por Arantes e Oliveira (1941). Constituem uma parte significativa do trabalho Esgotos de Lisboa, Referência [10]. Fornecem, provavelmente, o conjunto de observações mais completo da circulação geral do Estuário: 64 ensaios com flutuadores realizados em todas as zonas do Estuário, completados com uma interpretação criteriosa das observações. Por esta razão, procedeu-se à comparação das excursões de maré calculadas em modelo com alguns daqueles ensaios, tendo-se privilegiado a zona do estuário a montante de Pedrouços.

Os resultados comparativos estão representados nas Figuras [10], [11] e [12]. As excursões de maré seleccionadas correspondem a marés vivas e médias. Pode verificar-se que existe acordo entre as trajectórias calculadas e observadas. O acordo na extensão das trajectórias é, porém, melhor na Cala das Barcas do que na Cala de Samora.

Resultados no Porto de Sines

Foi efectuada a simulação da dispersão de um poluente conservativo a partir de três locais identificados com as infra-estruturas portuárias do Molhe Norte. As descargas foram simuladas independentemente, em regime permanente, durante um intervalo inicial de três horas, após o qual foram interrompidas. O período da simulação foi de 25 horas. Foram retidas três condições de maré - de águas vivas, médias e mortas e duas condições de vento - regimes de noroeste e de sudoeste - perfazendo seis condições. As amplitudes das marés, foram respectivamente de 2,90m, 2,10m, 1,30m, para águas vivas e águas mortas, e a intensidade do vento de 5m/s (10 nós).

Dos resultados das simulações reteve-se na Figura [13] o que representa a área de influência dos derrames no termo do período das simulações, com base na descrição euleriana. Na representação lagrangeana as trajectórias das partículas são calculadas recorrendo exclusivamente ao campo da velocidade. Na descrição euleriana a dispersão é calculada recorrendo à equação do balanço de massa do módulo da qualidade da água. Por estas razões, os resultados sob a forma euleriana traduzem não só a dispersão pelas correntes, mas também a diluição associada ao gradiente da concentração em cada ponto, na hipótese de que ocorre mistura rápida da substância poluente na coluna de água.

As correntes na enseada e no Porto de Sines, bem como no trecho costeiro, são em geral de reduzida intensidade, que é a regra em costa aberta. No entanto, assinala-se a sua intensificação nas vizinhanças da cabeça do Molhe Norte na condição de águas vivas. Nas vizinhanças do Porto e, designadamente, ao longo da face exterior do Molhe Norte, a acção do vento de noroeste não se distingue fundamentalmente da acção da do vento de sudoeste. Para qualquer dos dois regimes, ocorre predominância de correntes norte nesse sector, fenómeno este provavelmente devido a efeitos de revesa de correntes associados à singularidade da costa que a enseada de Sines constitui. Os resultados indicam também que o escoamento da água do interior da bacia portuária se fará, na vazante, em direcção quer ao sul quer ao norte.

Estes aspectos particulares da hidrodinâmica nas vizinhanças do Porto - que no entanto se podem referenciar noutros trechos de costa com hidrografia semelhante à do trecho em análise - reflectem-se no padrão de dispersão da poluição originada junto às instalações portuárias do Molhe Norte. Os resultados relativos ao derrame originado no ponto de descarga situado mais próximo da cabeça desse molhe, quer as trajectórias lagrangeanas quer os que retêm a diluição, indicam que a parte da mancha poluente que extravasa a bacia portuária tende a dirigir-se para norte ao longo do Molhe Norte. Para os outros dois pontos de descarga, as respectivas manchas poluentes tendem a ficar confinadas à bacia portuária no período em que decorreram as simulações.

REFERÊNCIAS

- [1] - J. J. Leendertse and E. C. Gritton, 1971. A Water Quality Simulation Model for Well Mixed Estuaries and Coastal Seas, Vol. I.
- [2] - J. J. Leendertse and E. C. Gritton, 1971. A Water Quality Simulation Model for Well Mixed Estuaries and Coastal Seas, Vol. II, The Computer Program.
- [3] - J. J. Leendertse, 1987. Aspects of SYMSIS2D. A System for Two-Dimensional Flow Computation.
- [4] - J. JÓZSA, 1989: 2-D Particule Model for Predicting Depth - Integrated Pollutant and Surface Oil Slick Transport, ed. Gower.
- [5] - R. PROCTOR E AL., 1994: Modelling Tides and Surface Drift in the Arabian Gulf - Application to the Gulf Oil Spill, ed. Pergamon
- [6] - Instituto Hidrográfico, 1991 - Previsão de Marés para o Continente, Açores, Madeira e Macau;
- [7] - Boletim de Análises da SOPORCEL, 1986 - Fax de 29SET95
- [8] Wollast, R., Rio Sado – Campagne de mesures: Rapport technique, Laboratoire d’oceanographie de l’ Université Libre de Bruxelles (para S.E.A.), Juillet 1978.
- [9] Wollast, R., Rio Sado – Campagne de mesures: Rapport technique, Laboratoire d’oceanographie de l’ Université Libre de Bruxelles (para S.E.A.), Décembre 1978.
- [10] – Arantes e Oliveira, Esgotos de Lisboa, 1941.
- [11] – HIDROPROJECTO para LNEC, EXPO’98, Modelação hidrodinâmica do estuário do Tejo, 1995, .

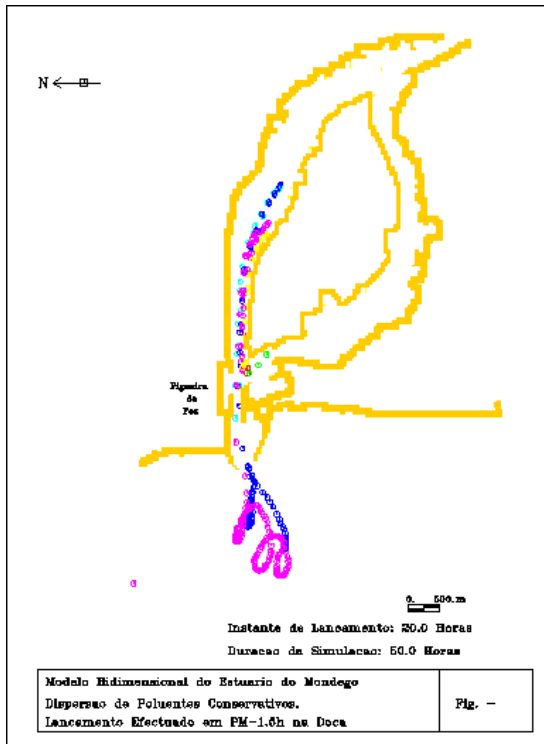


Figura 1: Estuário do Mondego
Dispersão a partir da Doca

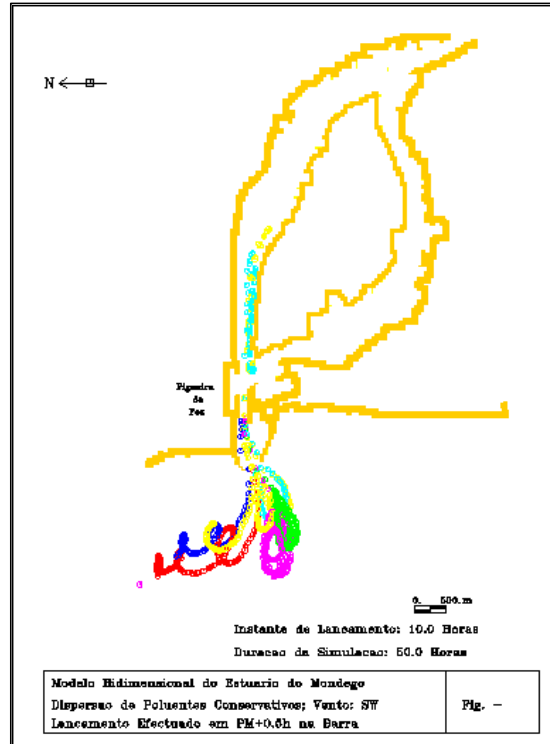


Figura 2: Estuário do Mondego
Dispersão a partir da Barra

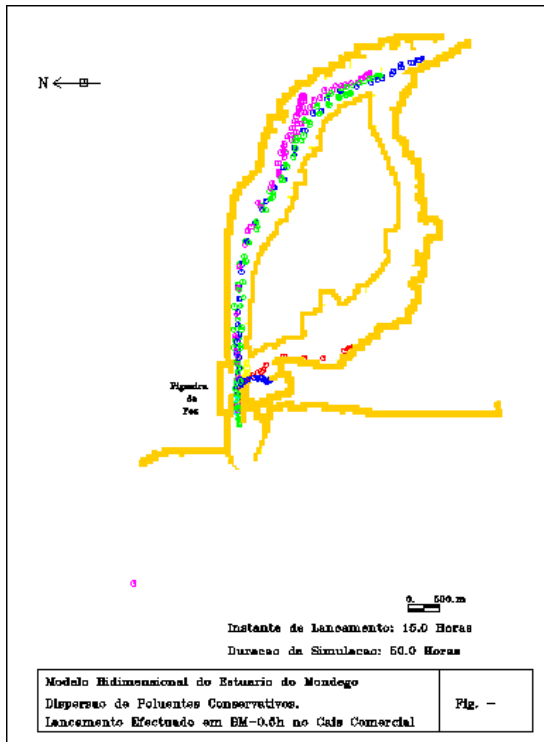


Figura 3:
Estuário do Mondego
Dispersão a partir do Cais Comercial

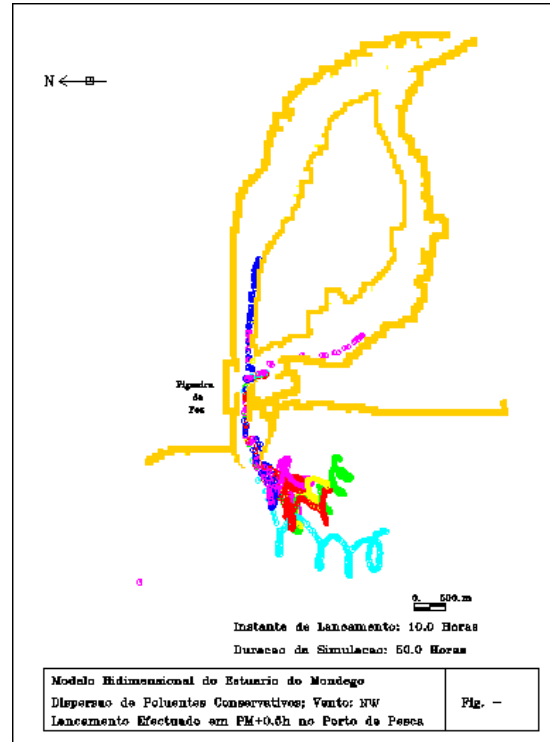


Figura 4:
Estuário do Mondego
Dispersão a partir do Porto de Pesca

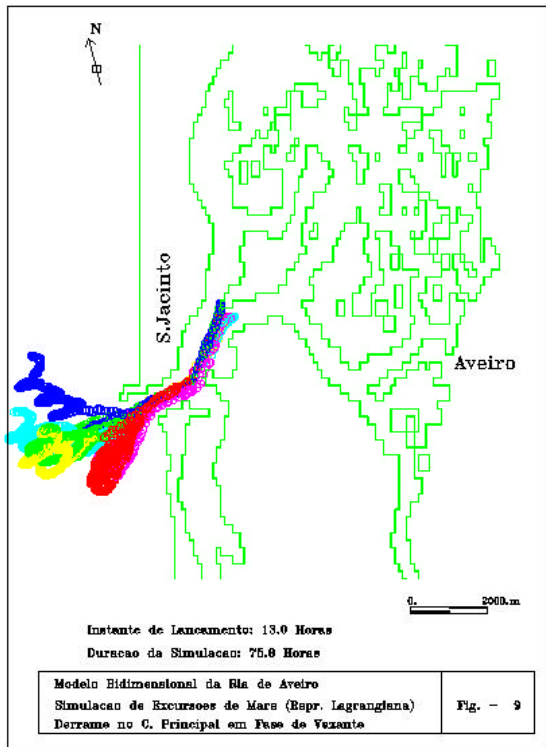


Figura 5: Dispersão a partir do Canal de Navegação

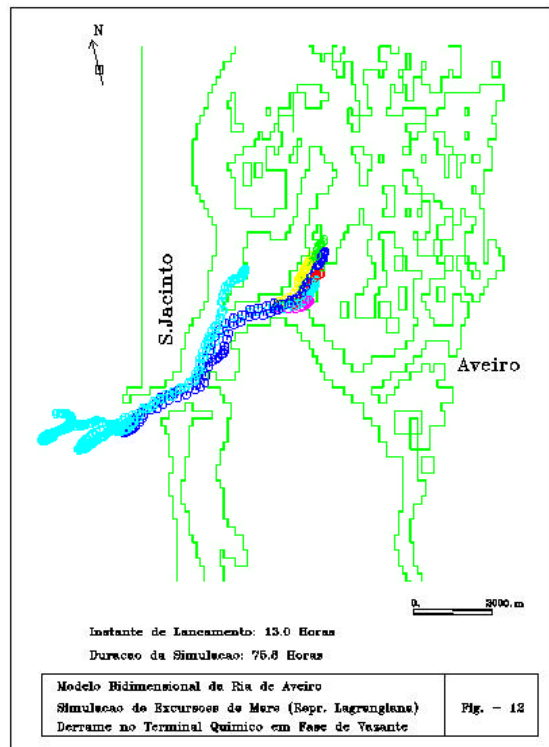


Figura 6: Dispersão a partir do Terminal Químico

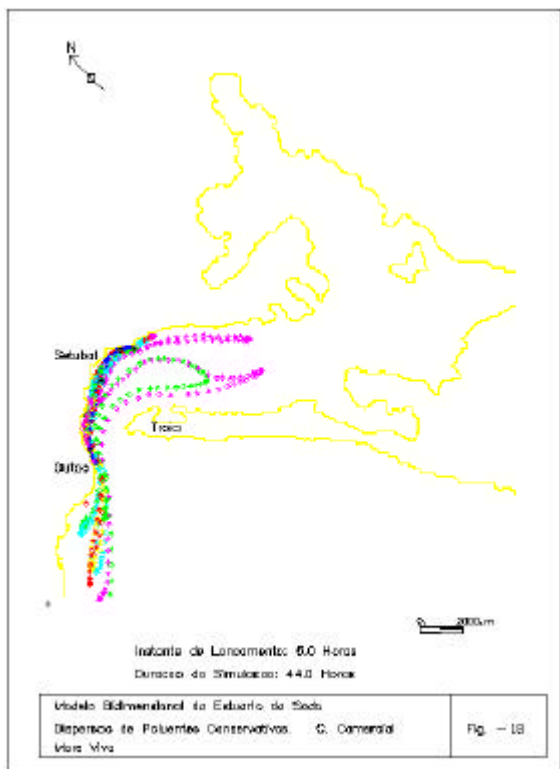


Figura 7: Estuário do Sado
 Dispersão a partir do Cais Comercial

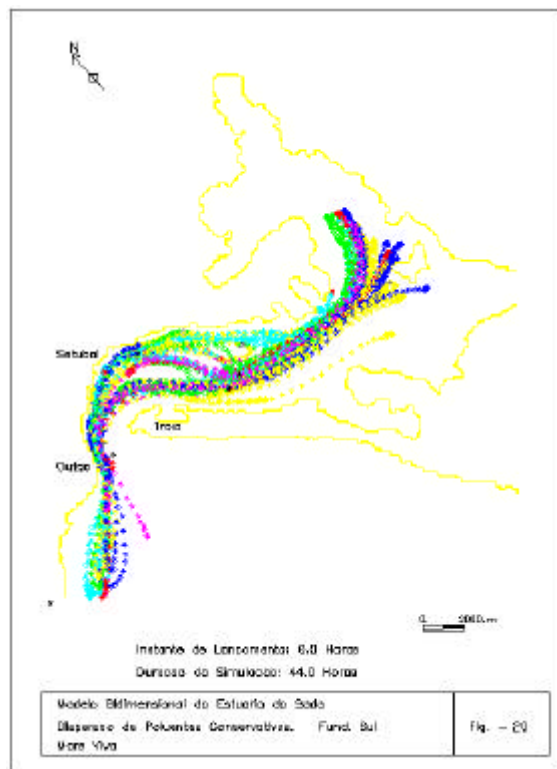


Figura 8: Estuário do Sado
 Dispersão a partir do Fundeadouro Sul

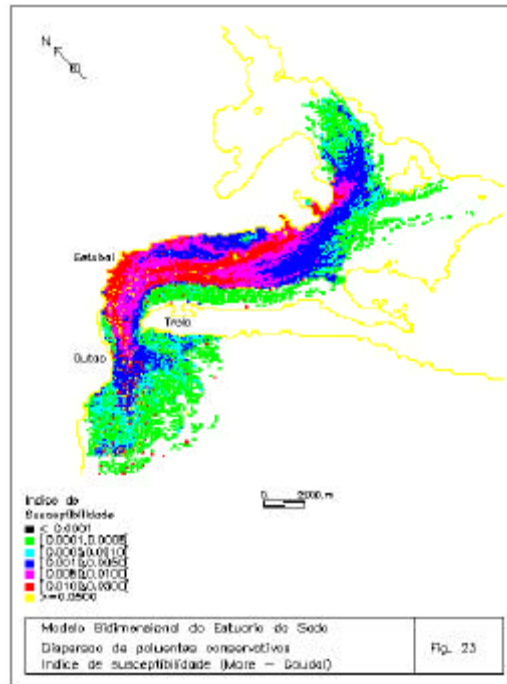


Figura 9: Estuário do Sado
Índice de Susceptibilidade

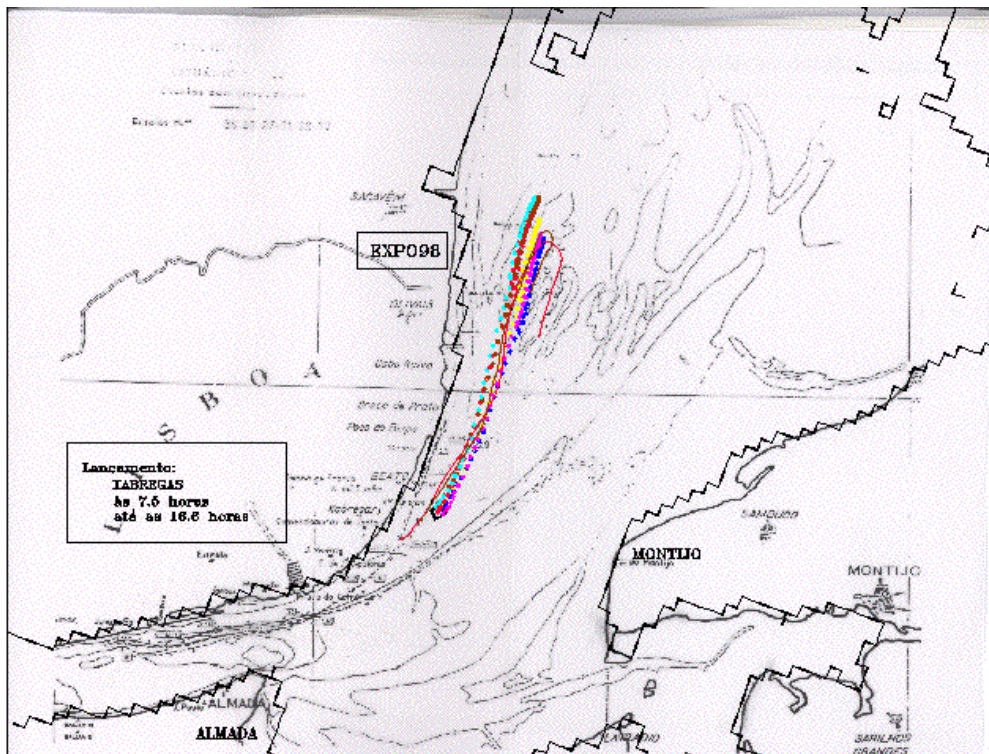


Figura 10: Estuário do Tejo
Dispersão na Cala de Samora

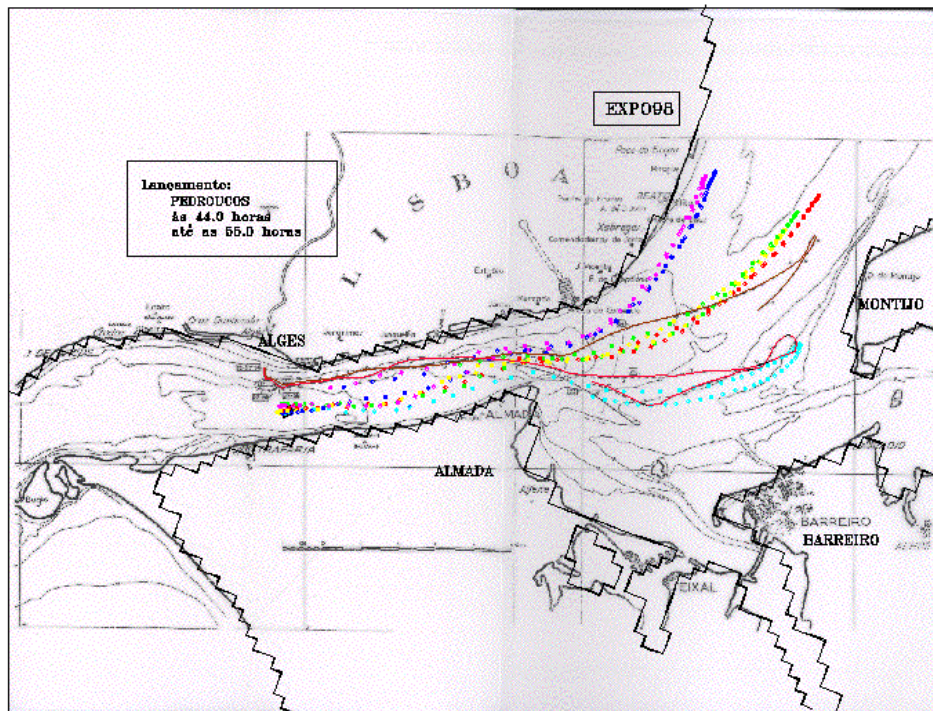


Figura 11: Estuário do Tejo
Dispersão na Cala das Barcas

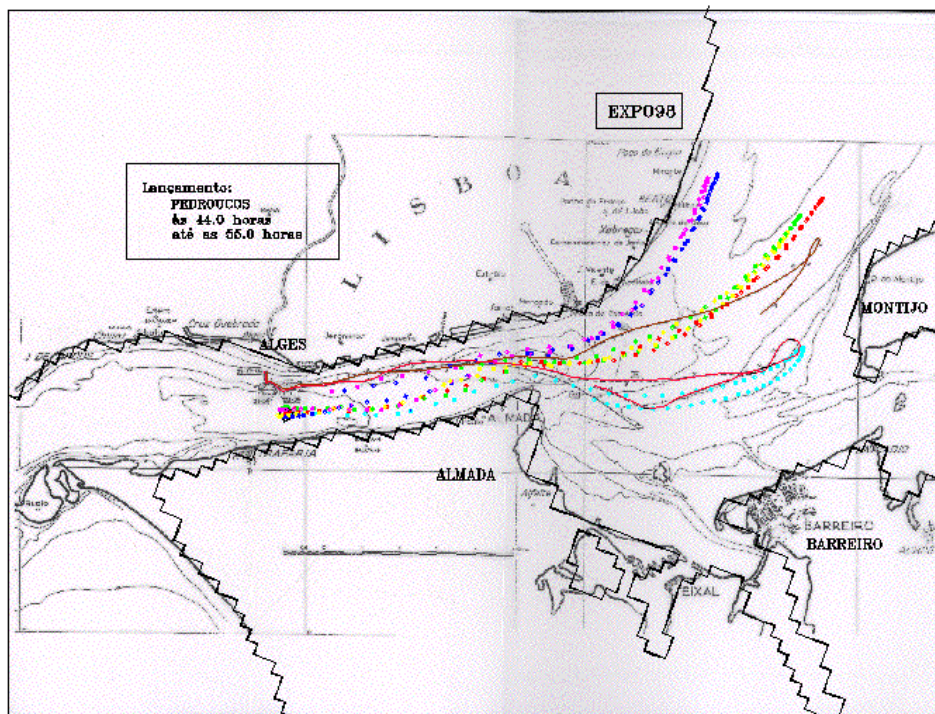


Figura 12: Estuário do Tejo
Dispersão no "Corredor" do Tejo

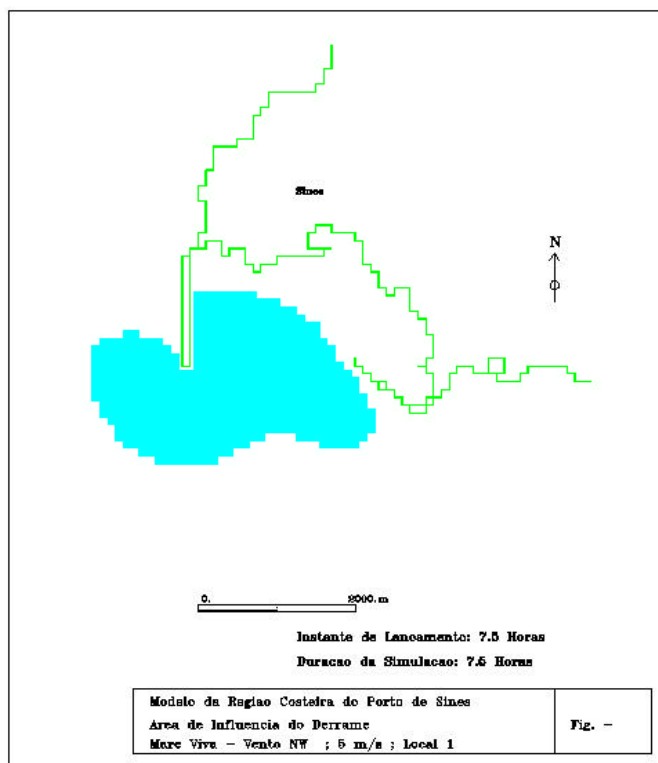


Figura 13: Porto de Sines
Dispersão a partir do Molhe Oeste