

# Aplicação da Plataforma MOHID para simulação computacional de deriva oceânica de petróleo na bacia de Campos - RJ

*Use of the MOHID Platform for computational simulation of oil ocean drift in the Campos basin – RJ*

Maria Manuela Fraga Juliano\*  
Ramiro Neves\*\*  
Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues\*\*\*  
Jader Lugon Junior\*\*\*\*  
Rodrigo Fernandes\*\*\*\*\*

## Resumo

O presente trabalho apresenta um modelo para simulações de processo de deriva oceânica obtidos com o uso do software MOHID na Bacia de Campos (RJ, Brasil), para estudar problemas ambientais com petróleo. Os resultados foram comparados com dados obtidos por satélite e também por meio de medidas de temperatura e salinidade obtidas por boias ARGO disponíveis na região de interesse.

**Palavras-chave:** Vazamento de óleo. Hidrodinâmica. Modelo oceânico. Simulação ambiental. MOHID.

## Abstract

This work presents a model for ocean drift simulations data obtained with the MOHID software in the Campos Basin (RJ, Brazil) to study oil environmental issues. Results were compared with satellite data, as well as temperature and salinity data obtained by ARGO drifters available in the region.

**Key words:** Oil spill. Hydrodynamics. Ocean model. Environmental simulation. MOHID

\* PhD em Oceanografia. Universidade dos Açores - UAC – Açores - Portugal

\*\* PhD em Engenharia Mecânica. Universidade Técnica de Lisboa - IST – Lisboa - Portugal

\*\*\* PhD em Oceanografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – IPRJ – Rio de Janeiro - Brasil

\*\*\*\* DSc. em Modelagem Computacional. Instituto Federal Fluminense/*Campus* Macaé – NUPERN – Macaé, RJ - Brasil. E-mail para contato: jljunior@ifff.edu.br

\*\*\*\*\* Mestre em Engenharia Ambiente Universidade Técnica de Lisboa - IST – Lisboa – Portugal

<sup>1</sup> Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal. (<http://ist.utl.pt>).

<sup>2</sup> Sala 349, Núcleo Central do Tagus Park, 2780-982, Porto Salvo, Portugal (<http://www.hidromod.pt>).

## Introdução

O MOHID é uma plataforma de simulação hidrodinâmica e transporte de constituintes em suspensão e solução. O desenvolvimento do MOHID iniciou-se em 1985, sendo desde então submetido a um contínuo melhoramento e atualização, devido à sua aplicação em muitas pesquisas e projetos de engenharia. Os modelos que o compreendem foram desenvolvidos por uma grande equipe de técnicos pertencentes ao Instituto Superior Técnico de Lisboa, em cooperação próxima com a empresa Hidromod Ltda, e inclui contribuições de uma equipe permanente de pesquisadores, de alunos de doutorado dos Programas de Engenharia Ambiental e Mecânica, bem como de alunos do Curso de Mestrado em Modelagem de Ambientes Marinhos. Contribuições de outros grupos de pesquisa têm, igualmente, sido relevantes para o desenvolvimento do MOHID. A filosofia do novo modelo MOHID (MIRANDA et al., 2000) permite a utilização do modelo em suas abordagens uni, bi e tridimensional. Todo o modelo está programado fazendo uso da filosofia objeto-orientada. A subdivisão do programa em módulos, assim como o fluxo de informações entre esses módulos, foi objeto de estudo por parte dos autores do MOHID. Atualmente, o MOHID é composto por mais de 40 módulos, os quais somam mais de 150.000 linhas de programação. Cada módulo é responsável por gerenciar um certo tipo de informação.

O MOHID tem sido aplicado em diversas regiões costeiras e estuarinas, mostrando-se capaz de simular complexas características presentes em escoamentos observados nessas regiões. O modelo tem sido aplicado tanto como ferramenta de pesquisa, quanto em projetos de consultoria. Ao longo da costa portuguesa, diferentes ambientes têm sido estudados com o seu auxílio, incluindo os seus principais estuários (Minho, Lima, Douro, Mondego, Tejo, Sado, Mira, Arade e Guadiana) e lagoas costeiras (Ria de Aveiro e Ria Formosa) (INAG, 2001; MARTINS et al., 2000). O modelo foi igualmente implementado na maioria das lagoas da Galícia como Ría de Vigo (TABOADA et al., 1998; MONTERO, 1999 e MONTERO et al., 1999), Ría de Pontevedra (TABOADA et al., 2000; VILLARREAL et al., 2000), além de outras lagoas (PÉREZ VILLAR et al., 1999).

Além das regiões costeiras da Península Ibérica, alguns estuários têm sido modelados, como o Western Scheldt (Holanda), Gironde (França), esses por meio de modelos desenvolvidos por Cancino e Neves (1999) e o estuário de Carlingford, Irlanda, por meio de modelo desenvolvido por Leitão (1997), assim como alguns estuários localizados na costa brasileira, como nas cidades de Santos e Fortaleza.

Com relação à modelagem de mar aberto, o modelo MOHID já foi aplicado na região do Atlântico Nordeste, onde alguns processos foram estudados, incluindo a corrente costeira de Portugal (COELHO et al., 1994), o comportamento de correntes ao longo do limite da Plataforma Continental no Atlântico Europeu (NEVES et al., 1998) e

a geração interna de ondas de maré (NEVES et al., 1998). Além disso, o modelo também foi aplicado no Mar Mediterrâneo, com o objetivo de se simularem ciclos sazonais (TABOADA, 1999), e nos estudos da circulação do mar de Alborão (SANTOS, 1995). Mais recentemente, o MOHID foi aplicado em diversos reservatórios de água doce portugueses, como Monte Novo, Roxo e Alqueva (BRAUNSCHWEIG, 2001), com o objetivo de estudar o escoamento e a qualidade da água desses sistemas.

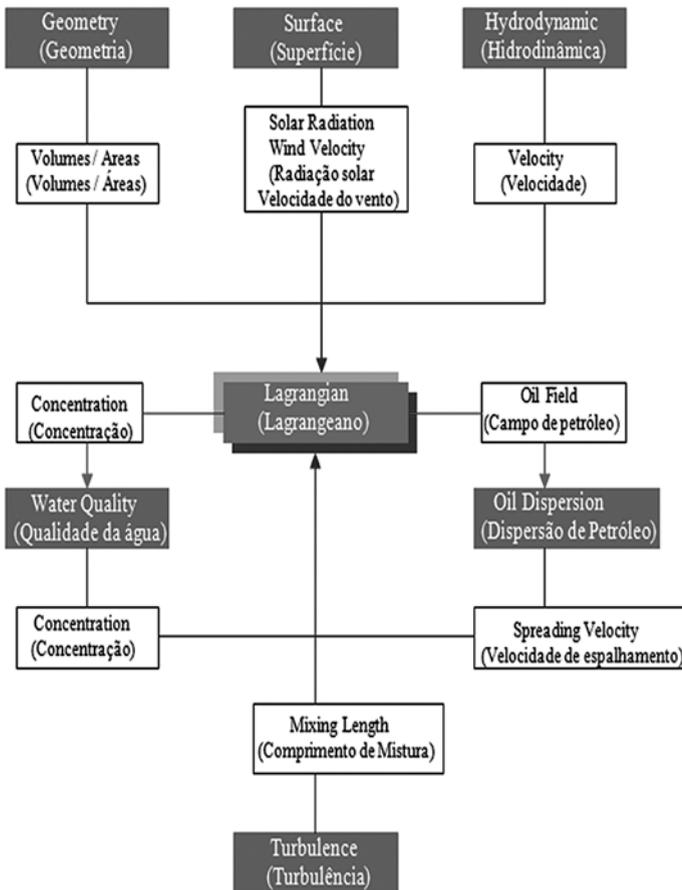
Cabe destacar alguns trabalhos científicos desenvolvidos no Brasil com a plataforma MOHID: Sampaio (2008) contribuiu no gerenciamento costeiro do estuário de Santos, Precioso et al. (2008) estudaram parâmetros de qualidade de água na Lagoa do Vigário (RJ), Lima (2012) utilizou técnicas de problemas inversos para identificar parâmetros hidrodinâmicos no estuário do Rio Macaé e Leitão et al. (2001) desenvolveram um modelo para deposição de sedimentos na zona costeira de São Paulo.

## **Metodologia**

### *Abordagem Lagrangeana*

O sistema MOHID inclui o Módulo Hidrodinâmico baroclínico para a coluna e uma versão 3D para os sedimentos e os correspondentes módulos de transporte, tanto eulerianos quanto Lagrangeanos. Modelos de transporte Lagrangeanos são úteis para simular processos que possuem gradientes acentuados, como, por exemplo, dispersão de petróleo. O Módulo Lagrangeano do MOHID faz uso do conceito de traçador. A propriedade mais relevante de um dado traçador é sua posição no espaço  $(x,y,z)$ . Para um físico, um traçador pode ser uma dada massa d'água; já para um geólogo pode ser uma partícula sedimentar ou um grupo de partículas, enquanto que, para um químico, pode ser uma molécula ou um grupo delas. Já um biólogo pode considerar como tal células do fitoplâncton, ou mesmo um tubarão, de forma que um modelo desse tipo deve ser capaz de simular uma faixa ampla de processos.

O movimento de um traçador pode ser influenciado pelo campo de velocidades gerado pelo Módulo Hidrodinâmico, pela velocidade de espalhamento, gerado pelo Módulo Dispersão de Petróleo, e ainda por oscilações randômicas da velocidade. No estágio presente em que se encontra, o MOHID é capaz de simular a dispersão de petróleo, a evolução da qualidade da água e do transporte de sedimento. Para simular a dispersão de petróleo, o Módulo Lagrangeano interage com o Módulo Dispersão de Petróleo; já para simular a evolução da qualidade da água, o Módulo Lagrangeano faz uso das propriedades descritas pelo Módulo Qualidade da Água. O transporte de sedimento pode estar associado diretamente aos traçadores por meio do conceito de velocidade de deposição. A Figura 1 representa o fluxo de informação entre o Módulo Lagrangeano e outros módulos do MOHID.



**Figura 1:** Fluxo de informação entre o Módulo Lagrangeano e outros módulos do MOHID

Outra importante característica do modelo de transporte Lagrangeano é sua capacidade de computar o tempo de residência. Isso pode ser bastante útil, por exemplo, no estudo de trocas de massas d'água em baías e estuários.

#### *O conceito de traçador*

Como mencionado acima, o Módulo Lagrangeano do MOHID faz uso do conceito de traçador. Os traçadores são caracterizados pelas coordenadas espaciais, volume e uma lista de propriedades (cada qual com uma dada concentração). Essas propriedades podem ser as mesmas descritas no Módulo Propriedades da Água, por exemplo. Cada

traçador tem um tempo associado, durante o qual movimentos randômicos podem ser executados.

Os traçadores são gerados em sua origem. Traçadores que pertencem à mesma origem têm a mesma lista de propriedades e fazem uso dos mesmos parâmetros na caracterização de seu percurso randômico, como decaimento de coliformes etc. As origens podem diferir na forma como emitem traçadores, havendo três formas distintas de se definirem as origens no espaço:

- “Origens Pontuais” que emitem traçadores em um dado ponto no espaço;
- “Origens do tipo Caixa” que emitem traçadores sobre uma determinada área;
- “Origens do tipo Acidente” que emitem traçadores de forma circular ao redor de um dado ponto.

Por outro lado, há duas diferentes formas pelas quais origens podem emitir traçadores no tempo:

- “Origens contínuas” que emitem traçadores durante um período de tempo;
- “Origens instantâneas” que emitem traçadores em um dado instante de tempo.

Origens podem ser agrupadas em grupos de Origens. Origens que pertencem a um mesmo grupo são da mesma forma agrupadas no arquivo de saída, de modo a facilitar a análise dos resultados.

### *Módulo Petróleo*

A previsão e a simulação da trajetória e degradação de manchas de petróleo são essenciais para a elaboração de planos de resposta e contingência a derramamentos, assim como para a avaliação de impactos ambientais que possam decorrer de derramamentos. Com o objetivo de se prever o comportamento de derivados de petróleo, eventualmente derramados em zonas costeiras, um modelo de degradação de petróleo foi desenvolvido no MOHID, capaz de prever a evolução e o comportamento de processos (incluindo transporte e dispersão) e propriedades de derivados de petróleo em água. Alguns procedimentos de resposta a derramamentos também foram integrados a esse modelo.

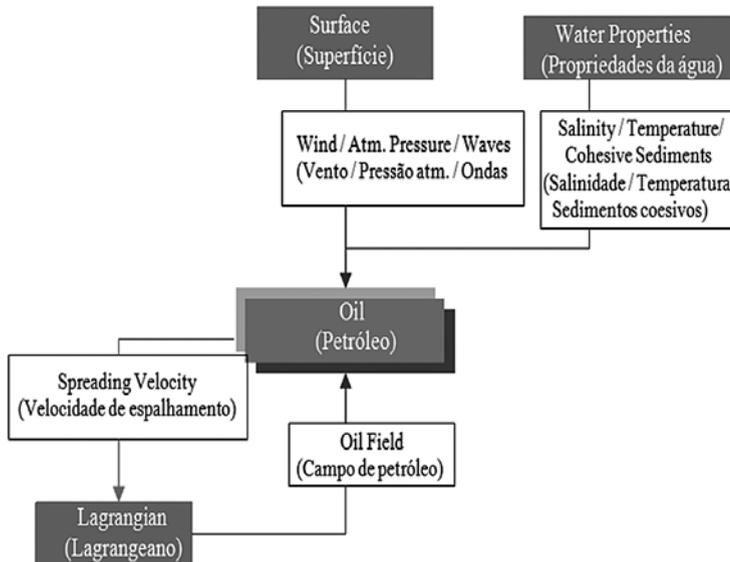
Tanto a densidade quanto a viscosidade, assim como diferentes processos, estão incluídos no Módulo Petróleo, tais como espalhamento, evaporação, dispersão, sedimentação, dissolução, emulsificação, aporte de petróleo em praias e técnicas de remoção. Diferentes métodos alternativos foram programados para a previsão desses processos. Por essa razão, ao utilizar o modelo, há mais de uma forma de simular os processos, dependendo, por exemplo, das características da malha computacional ou da magnitude da mancha que se está simulando.

O Módulo Degradação faz uso, principalmente, dos Módulos 3D Hidrodinâmico

e 3D Lagrangeano. O Módulo Hidrodinâmico simula o campo de velocidades necessário ao Módulo Lagrangeano, para calcular a trajetória da mancha de petróleo. Essas trajetórias são computadas assumindo-se que a mancha de petróleo pode ser idealizada como um grande número de partículas que se movem de forma independente na água. Propriedades da água e condições atmosféricas são introduzidas no Módulo Lagrangeano, sendo utilizadas pelo Módulo Petróleo para a determinação de processos e propriedades da própria mancha. Com exceção do espalhamento e do aporte de petróleo em praias, todos os processos de degradação e propriedades são considerados como uniformes para todos os traçadores, como, por exemplo, propriedades da água e condições atmosféricas, as quais são presumidas como as que prevaleçam no local de origem do acidente.

Como mencionado anteriormente, o movimento dos traçadores de petróleo pode ser influenciado pelo campo de velocidades, pelo vento (determinado no Módulo Superfície), pela velocidade de espalhamento (determinada no Módulo Petróleo) e pelas velocidades randômicas.

A temperatura do petróleo é entendida como a mesma da água, negligenciando-se a radiação solar e qualquer outro processo de transferência de energia que possa vir a influenciar a sua temperatura.

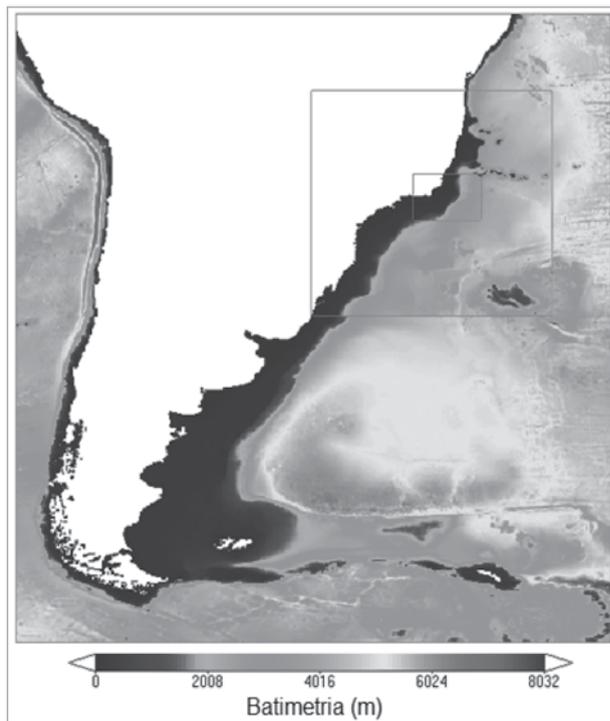


**Figura 2:** Fluxo de informação entre o Módulo Petróleo e outros módulos

## Resultados

### *Estudo de Caso*

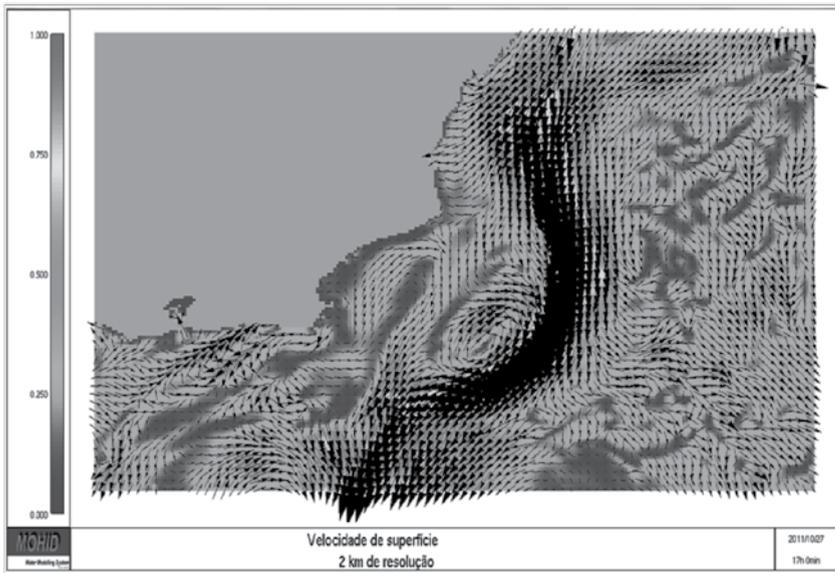
Este trabalho apresenta uma aplicação da plataforma MOHID, por meio de seu Módulo Petróleo em uma abordagem Lagrangeana, que objetivou simular o transporte de uma mancha de petróleo, decorrente de recente derramamento ocorrido na costa norte fluminense. O domínio simulado e batimetria são apresentados na Figura 3.



**Figura 3:** Batimetria da região de estudo

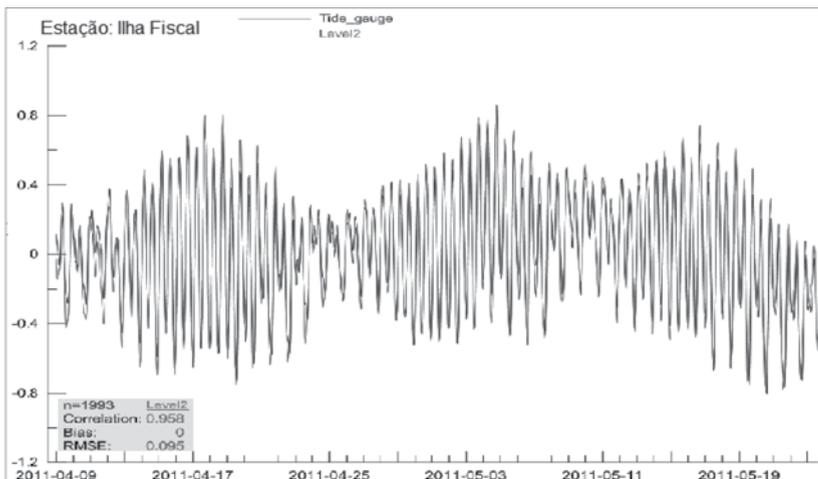
Embora a região de interesse, para fins práticos, devesse estar confinada ao menor detalhe da figura (costa norte fluminense), o domínio simulado compreendeu toda a região maior, em razão de a circulação atmosférica e marinha serem influenciadas por sistemas tão longínquos quanto os presentes no extremo sul do continente americano. O modelo adotou resolução crescente, da maior para a menor região destacadas na Figura 3.

Na Figura 4 é apresentado o campo de velocidades simulado para o dia 6 de maio de 2011. Destaca-se a presença de importantes vórtices na região de interesse.



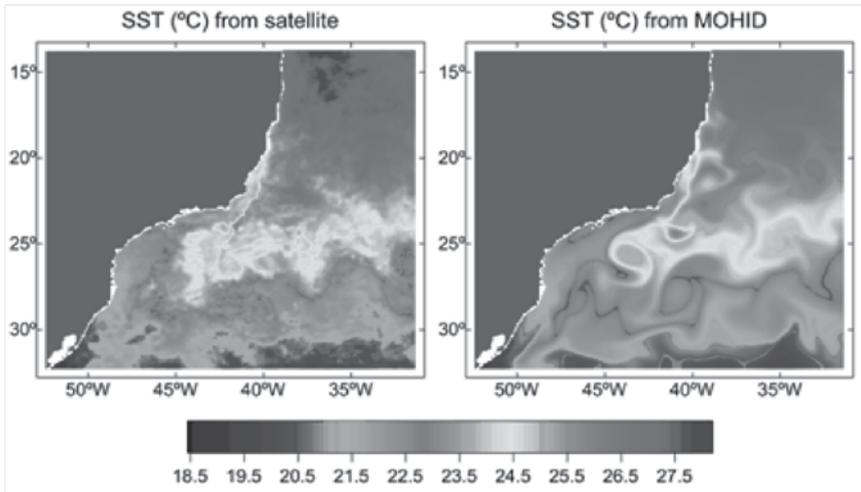
**Figura 4:** Representação do campo de velocidade

Tanto o modelo hidrodinâmico quanto o modelo de transporte foram validados por observações de campo. O modelo hidrodinâmico foi aferido pela comparação entre a variação de nível observada e simulada. A Figura 5 apresenta esses resultados para a estação maregráfica situada na Ilha Fiscal, no interior da Baía de Guanabara. Pode-se observar que uma excelente concordância foi obtida. Vale ressaltar que uma melhor simulação somente foi obtida quando se considerou a maré meteorológica e não somente a astronômica.



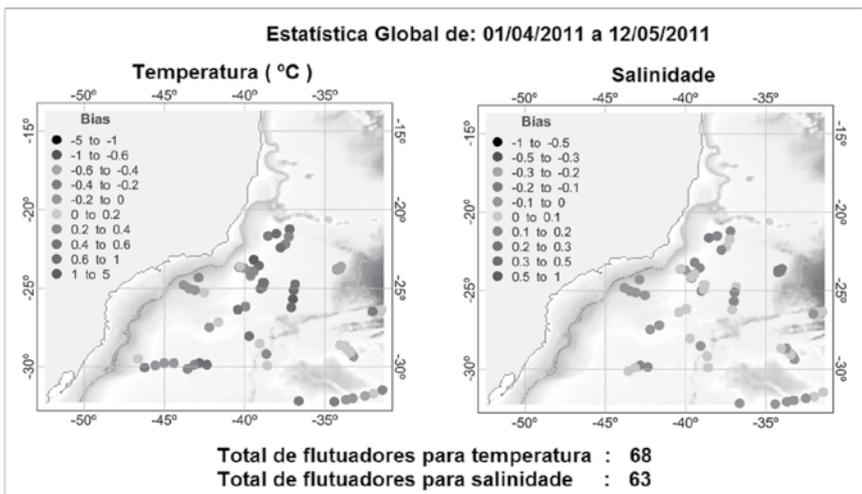
**Figura 5:** Comparação entre a variação de níveis simulados e observados

Já o modelo de transporte foi validado por dois conjuntos de dados. Superficialmente, a temperatura simulada foi comparada com a registrada por imagens de satélite. Na Figura 6, esse resultados são mostrados para o dia 25 de maio de 2011. Mais uma vez uma excelente concordância pode ser constatada visualmente.



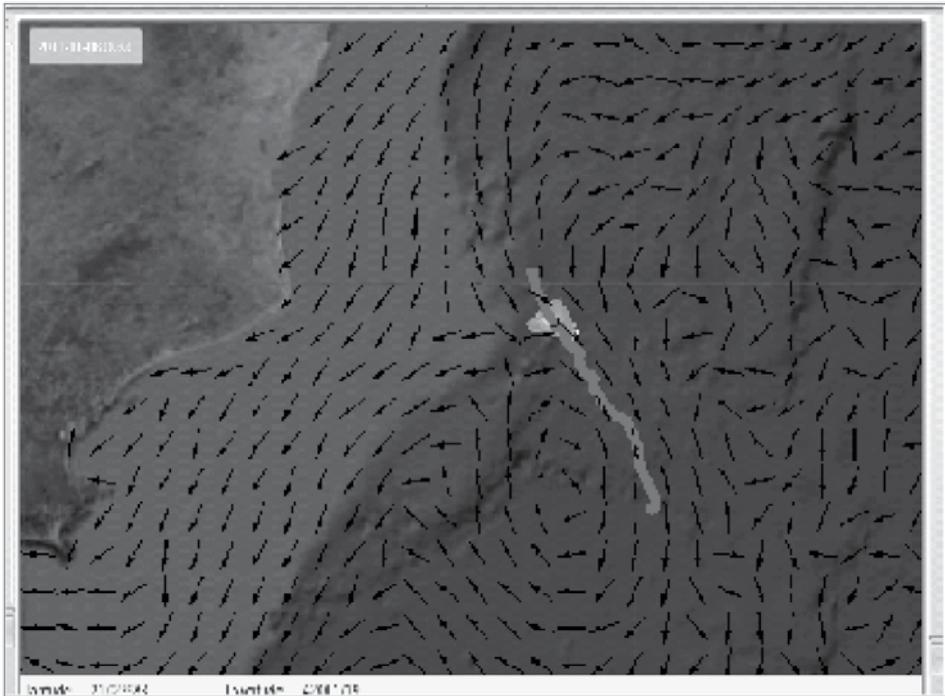
**Figura 6:** Comparação entre as temperaturas simuladas e observadas

Por outro lado, pela perspectiva vertical o modelo foi validado por perfis verticais gerados por sondas que, à deriva pelo Atlântico, periodicamente registram valores de temperatura e salinidade. A Figura 7 apresenta essa comparação para para diversos pontos e permite constatar uma ótima concordância entre simulação e observação.



**Figura 7:** Comparação entre simulações e dados das sondas ARGO

Uma vez garantida a consistência das simulações, tanto hidrodinâmicas quanto de transporte, implementou-se um modelo de dispersão de petróleo. Na ausência de levantamentos voltados especificamente para a validação desse modelo, a comparação foi feita com uma imagem disponibilizada na internet. Em que pese a dificuldade de se ter uma estatística dessa comparação, verifica-se, visualmente, que o modelo foi capaz de reproduzir satisfatoriamente a mancha de óleo, tanto na forma quanto na distância em relação à costa, tendo essa última informação grande relevância ambiental.



**Figura 8:** Simulação de deriva de óleo

## Conclusão

Os resultados são promissores para uso no gerenciamento da problemática ambiental na região modelada. A exemplo de outras aplicações já realizadas, o simulador MOHID foi capaz de reproduzir, de forma satisfatória, diversos cenários observados na região oceânica que inclui a costa brasileira. Particularmente na simulação do comportamento de uma mancha de óleo, levantamentos específicos para o fim de validação se mostram necessários, apesar de qualitativamente o modelo construído ter mostrado muito bom desempenho. Nesse quesito vale lembrar que o MOHID já foi

aplicado com sucesso na reprodução e evolução da mancha de óleo originária do acidente que envolveu a embarcação Prestige, ocorrido na costa espanhola (NEVES et al., 1998).

### Referências

BRAUNSCHWEIG, F. Generalização de um modelo de circulação costeira para albufeiras. Tese (Mestrado) - Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, 2001.

CARRACEDO, P.; TORRES-LOPEZ, S.; BARREIRO, M.; MONTERO, P.; BALSEIRO, C. E.; PENABAD, E.; LEITÃO, P. C.; PÉREZ-MUÑUZURI, V. Improvement of pollutant drift forecast system applied to the Prestige oil spills in Galicia Coast (NW of Spain). Development of an operational system. Marine Pollution Bulletin, v. 53, p. 350-360, 2006.

COELHO, H.; SANTOS, A.; ROSA, T. L.; NEVES, R. Modelling the wind driven flow off Iberian Peninsula. GAIA, v.8, p.71-78, 1994.

LEITÃO, J. C.; SILVA, A.; FERREIRA, P. Modelação Matemática da Deposição de Dragados na Zona Costeira do Estado de São Paulo – Brasil. In: SEMINÁRIO A HIDROINFORMÁTICA EM PORTUGAL, 2001, Lisboa.

LIMA, E. B. Problemas Inversos Aplicados à Identificação de Parâmetros Hidrodinâmicos de um Modelo de Estuário do Rio Macaé. Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro UERJ, Nova Friburgo/RJ, 2012.

MARTINS, F.; LEITÃO, P.; SILVA, A.; NEVES, R. 3D modeling in the Sado estuary using a new generic vertical discretization approach. Oceanologica Acta, 2000.

NEVES, R.; COELHO, H.; LEITÃO, P.; MARTINS, H.; SANTOS, A. A numerical investigation of the slope current along the western European margin. In: BURGANO, V.; KARATZAS, G.; PAYATAKAS, A.; BREBBIA, C.; GRAY, W.; PINDER, G. (Ed.). In: COMPUTACIONAL METHODS IN WATER RESOURCES, 12., 1998. v.2, p. 369-376.

PRECIOSO, C. H. O.; KALAS, F.; RODRIGUES, P. P. G. W.; LUGON JR., J. Avaliação da variabilidade de parâmetros ambientais numa lagoa urbana (Campos dos Goytacazes, RJ) com auxílio do sistema MOHID. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v.4, p.186 – 204, 2010.

SAMPAIO, A. Avaliação da correlação entre parâmetros de qualidade da água e socioeconômicos no complexo estuarino de Santos – São Vicente, através de modelagem

numérica ambiental. Dissertação (Mestrado) – UNISANTA. Universidade de Santa Cecília, 2008.

SANTOS, A. J. Modelo Hidrodinâmico Tridimensional de Circulação Oceânica e Estuarina. Thesis (Ph. D.) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 1995.

TABOADA, J.J. Aplicación de modelos numéricos al estudio de la hidrodinámica y del flujo de partículas en el Mar Mediterráneo (Application of numerical models for the study of hydro-dynamics and particle fluxes in the Mediterranean Sea). Dissertation (Ph. D.) - Universidad de Santiago de Compostela, Spanish, 1999.