

# Estudo numérico do deslocamento de manchas de óleo em um tanque

Leonardo F. de Mello<sup>1</sup>, Caio E. Stringari<sup>2</sup>, Jorge C. F. dos Santos<sup>3</sup>, Wilian C. Marques<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciências Computacionais – FURG - leo-demello@hotmail.com

<sup>2</sup>Instituto de Oceanografia - FURG - caiodalaqua@hotmail.com

<sup>3</sup>Instituto de Matemática, Estatística e Física – FURG – jorgecfsantos@bol.com.br

<sup>4</sup>Instituto de Matemática, Estatística e Física – FURG – wilianmarques@furg.br

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é a apresentação de resultados preliminares de um modelo de simulação do comportamento do óleo em ambientes marinhos. O modelo está sendo desenvolvido através da utilização de traçadores lagrangeanos para a simulação do espalhamento das partículas de óleo. Serão incorporados nos traçadores os efeitos físico-químicos complementares que controlam o comportamento do óleo. Nesta fase do trabalho, não foram considerados os fatores de difusão turbulenta entre outros mais complexos que contribuem para o desenvolvimento do campo de óleo. Os resultados neste trabalho mostram o deslocamento tridimensional das partículas do óleo de acordo com um campo de velocidade imposto em um tanque retangular. O modelo foi submetido a testes de sensibilidade utilizando como parâmetro de calibração o número de Courant.

**PALAVRAS CHAVE:** Modelagem numérica, Transporte Lagrangeano, Campo de velocidades.

**ABSTRACT:** The preliminary results of an oil spill model are presented considering idealized simulations in a controlled tank. This model has been developed considering lagrangean tracers to simulate the spreading of the oil particles. The next step forward is incorporate other physical and chemical effects controlling the oil behavior. At this time, the turbulent effects and other complex effects are not considered. The results show that: the spreading of the oil particles are according with the velocity field imposed in a rectangular tank considering that previous sensitivity tests were carried out using the Courant Number parameter.

**KEYWORDS:** Numeric modeling, Lagrangean transport, Velocity field

## 1. INTRODUÇÃO

O derramamento de óleo na costa e no ambiente marinho adjacente é um dos desastres ecológicos mais preocupantes, tanto por causar grandes impactos quanto por atingir, além da fauna e flora, também os círculos econômicos. O Porto do Rio Grande, localizado no Estuário da Lagoa dos Patos, é o porto marítimo mais meridional do Brasil. No contexto do crescimento do porto de Rio Grande, que apenas no ano de 2003 teve um movimento de 3.000 navios e sendo que em 2008 foram transportados mais de 60.000 toneladas de óleo diesel ([www.portoriogrande.com.br](http://www.portoriogrande.com.br)), esse problema se faz cada vez mais presente no estuário. Com as recentes descobertas de petróleo no litoral brasileiro, o problema tende a se agravar.

A modelagem numérica de processos físico-químicos tem se mostrado uma ferramenta importante e de baixo custo computacional para a análise e previsão de processos em diferentes áreas econômicas e ambientais, dando suporte aos órgãos gestores. Portanto, as consequências adversas que surgem com derrames de óleo de diversas proporções motivam desde logo uma preocupação no que diz respeito não só ao monitoramento do acidente, mas também a capacidade de prever eficazmente o comportamento do óleo derramado nas horas seguintes ao acidente.

Dentro do contexto da presente proposta, o desenvolvimento de um modelo numérico lagrangeano para o estudo da dispersão de óleo que possa ser acoplado a qualquer modelo hidrodinâmico, representa uma significativa contribuição para o entendimento dos processos que ocorrem no ecossistema costeiro e marinho.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaremos neste projeto métodos de modelagem computacional que descrevem equações numéricas que possuem uma pequena margem de erro. O modelo de óleo fará isso juntamente com modelo um hidrodinâmico. Quando o óleo chega ao ambiente marinho, entra em contato com diversas características que acabarão por estimular diversos processos. As velocidades que controlam esses processos dependem de fatores climáticos, ambientais e do tipo de óleo considerado. Portanto, o modelo que considere o maior número de processos pode representar mais realisticamente o comportamento da mancha de óleo no ambiente.

O modelo de óleo é desenvolvido utilizando técnicas de programação modular escrito em linguagem Fortran90. Este tipo de estruturação permite a compilação de cada um dos módulos separadamente, poupando tempo computacional, de forma que a reutilização dessas estruturas é facilitada. O modelo de óleo será criado juntamente com uma interface de acoplamento ao modelo hidrodinâmico, atualizando-se a cada passo de tempo com dados fornecidos pela hidrodinâmica.

O módulo de transporte Lagrangeano utilizará as velocidades simuladas pelo modelo hidrodinâmico para calcular as trajetórias das partículas de óleo. Tais trajetórias são calculadas considerando que o óleo pode ser idealizado como um número grande de partículas que se movem independentemente na água. A velocidade dos traçadores será interpolada de acordo com as velocidades obtidas nos nós da malha numérica do modelo e a posição final do traçador se é dependente da contribuição de quatro efeitos diferentes representados pela: velocidade da corrente calculada pelo modelo hidrodinâmico, contribuição local do vento, velocidade do processo de espalhamento do óleo e a velocidade randômica devido ao transporte difusivo. Atualmente somente a velocidade da corrente encontra-se implementada de forma a influenciar o deslocamento do óleo.

A evolução das propriedades e processos do óleo será resolvida assumindo um comportamento homogêneo do óleo, exceto o espalhamento, onde a velocidade de cada traçador será calculada individualmente. O espalhamento será determinado de acordo com as proposições feitas por Fay (1969) [1] e Proctor et al. (1994) [2]. O cálculo da evaporação será obtido através do uso de equações empíricas determinadas por Fingas (1998) [3]. Serão utilizadas equações propostas por Mackay et al. (1980) [4] para representar a emulsificação e a dispersão do óleo na coluna de água. A dissolução do óleo será representada por uma equação analítica proposta por Huang e Monastero (1982) [5]. Valores de densidade e viscosidade serão calculados de acordo com fórmulas tabeladas pela NOAA (1994) [6].

Atualmente o modelo de óleo encontra-se em fase inicial de desenvolvimento. Foi construído um módulo preliminar tridimensional de transporte lagrangeano com o objetivo de simular o deslocamento da parcela particulada do óleo utilizando técnicas de discretização espacial em diferenças finitas considerando uma aproximação de primeira ordem para simular o deslocamento, as posições das partículas são calculadas de acordo com as equações I, II e III. A parcela dissolvida do óleo, bem como restantes processos físico-químicos serão incluídos na sequência de desenvolvimento do trabalho.

$$u = \frac{\Delta Z}{\Delta T} = X^{T+1} - X^T = u\Delta T = X^T + u\Delta T \quad (I)$$

$$v = \frac{\Delta Y}{\Delta T} = Y^{T+1} - Y^T = v\Delta T = Y^T + v\Delta T \quad (II)$$

$$w = \frac{\Delta Z}{\Delta T} = Z^{T+1} - Z^T = w\Delta T = Z + w\Delta T \quad (III)$$

O modelo utiliza um campo de velocidades hipotético equacionado de forma a simular um tanque de testes onde o domínio numérico é composto por 1000 elementos cúbicos, sendo a simulação numérica executada durante um intervalo de 21600 segundos. Foram realizadas 10 simulações considerando-se diferentes passos de tempo ( $\Delta T$ ) e um campo de velocidades que apresenta uma redução com o tempo de simulação, assim para cada simulação foi obtido um Número de Courant máximo médio.

O Número de Courant foi utilizado para a análise de sensibilidade dos resultados, é calculado de acordo com a Equação IV, onde U (calculada de acordo com a equação V) é a intensidade do campo de velocidades,  $\Delta T$  representa o passo de tempo do modelo e  $\Delta x$  a variação das distâncias na malha. Assim, um índice alto representa uma condição de possível instabilidade numérica e um baixo representa uma condição de maior estabilidade numérica, mas que pode comprometer a simulação com relação ao custo computacional. Portanto utilizaremos para a apresentação dos resultados a simulação V que apresenta o número de Courant máximo mais próximo da média de todas as simulações consideradas. A tabela 1 mostra os passos de tempo e os respectivos índices obtidos.

$$C = U \cdot \frac{\Delta x}{\Delta T} \quad (IV)$$

Tabela 1 – Relação Courant –  $\Delta T$

Simulação	$\Delta T$	Courant máximo
I	10	0,0132
II	20	0,0261
III	30	0,0387
IV	40	0,0510
V	50	0,0631
VI	60	0,0748
VII	70	0,0867
VII	80	0,0974
IX	90	0,1084
X	100	0,1197

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados são preliminares, uma vez que o modelo de óleo não foi ainda integrado ao modelo hidrodinâmico e não foram incorporados todos os efeitos que controlam o comportamento do óleo.

O campo de velocidades foi equacionado de acordo com as dimensões do domínio numérico, com 10 unidades de largura por 10 unidades de comprimento por 10 unidades de profundidade, sendo que as dimensões que o tanque de simulação assume para o teste são de 1000 metros de largura por 15000 metros de comprimento por 100 metros de profundidade. As equações V, VI e VII descrevem o comportamento do campo de velocidade no comprimento do tanque. O campo de velocidades apresenta uma redução exponencial com o tempo. A figura 1 ilustra o número de Courant para a malha numérica na simulação escolhida, considerando uma perspectiva bidimensional da malha numérica.

$$U = (0,005y^2 + 0,55y - 0,5) e^{0,001 \times T} \quad (V)$$

$$V = 0,00 \quad (VI)$$

$$W = -0,01 \quad (VII)$$

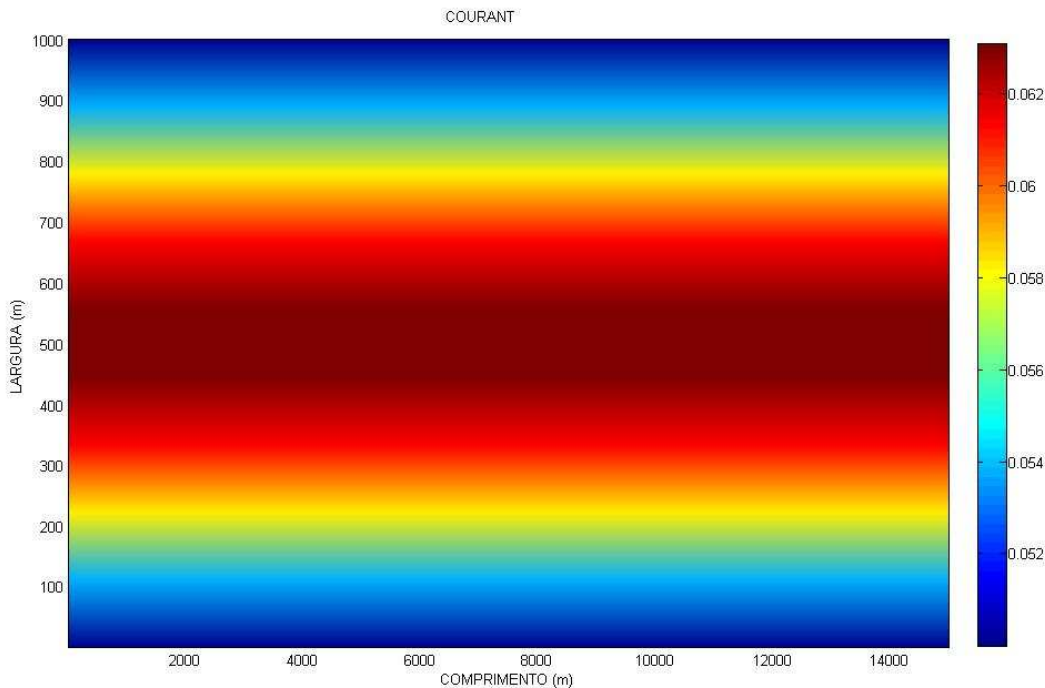


Figura 1 – Número de Courant para malha, considerando uma visualização bidimensional.

A simulação numérica considerada (Simulação V) leva em conta um número de 1000 partículas, sendo que foram salvas informações da posição da partícula a cada 10 segundos. A figura 2 ilustra o espalhamento das partículas com tempo na simulação considerando uma visão bidimensional e a figura 3 ilustra o espalhamento tridimensional das partículas. A forma que a mancha de partículas assume reflete a intensidade do campo de velocidades e sua variação espacial, sendo os valores máximos atingidos no centro do tanque, onde as velocidades são maiores.

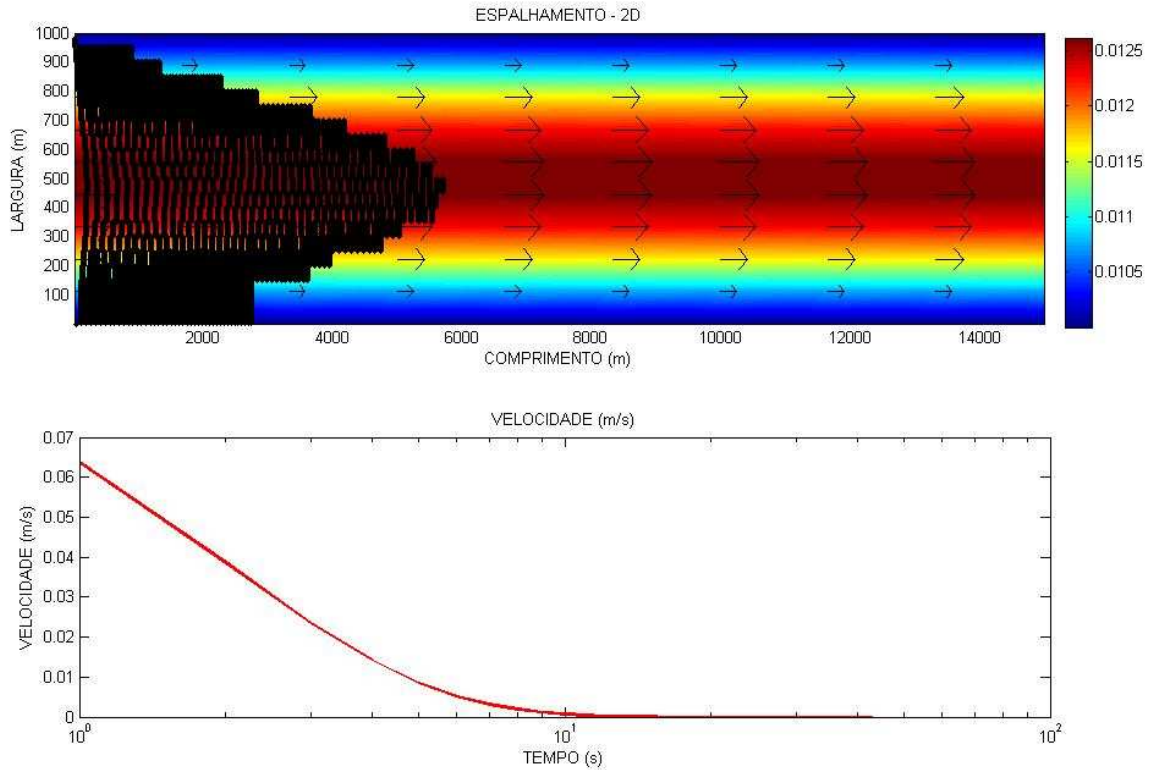


Figura 2 - Espalhamento das partículas de acordo com o campo de velocidades (visualização bidimensional) e velocidade na região central do tanque.

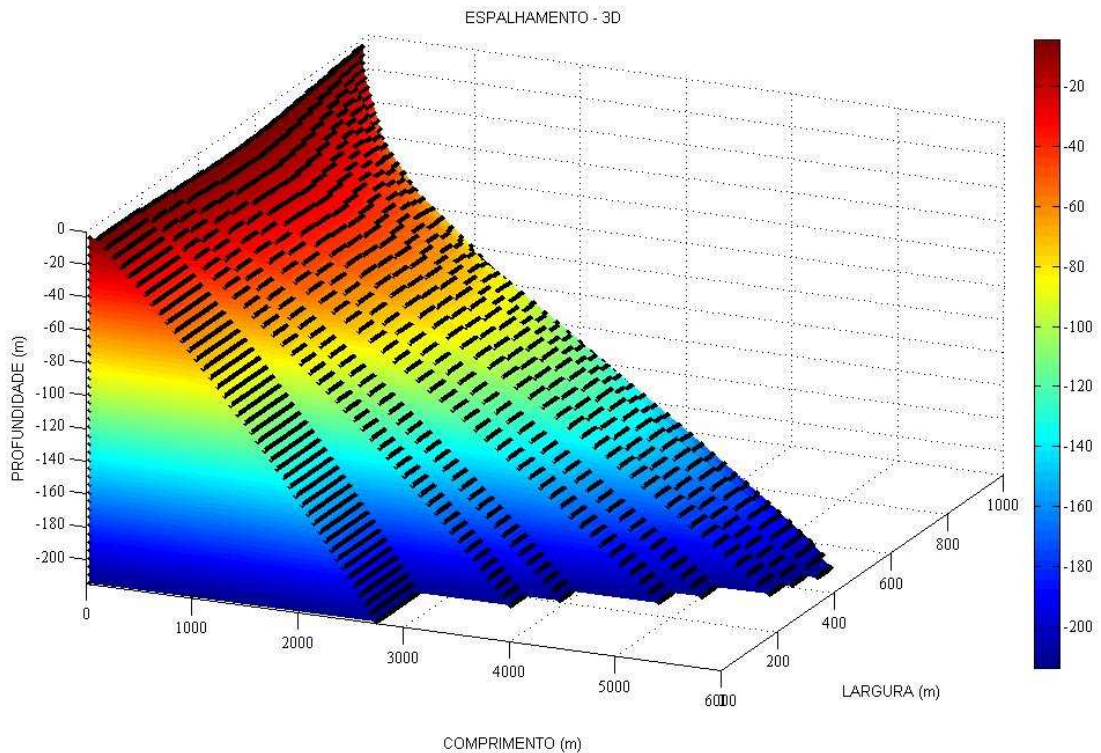


Figura 3 - Espalhamento das partículas de acordo com o campo de velocidades (visualização tridimensional).

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados preliminares de velocidade e deslocamento das partículas mostram um comportamento simplificado descrevendo apenas o seu deslocamento em um campo tridimensional de velocidades, contudo, esses resultados já nos mostram que o modelo está pronto para incorporar outros fatores que resultam em uma modelagem mais próxima da realidade para que possamos caracterizar melhor o ambiente em questão.

Os próximos passos no desenvolvimento deste modelo englobam seu acoplamento a um modelo hidrodinâmico, além da consideração dos efeitos de difusão turbulenta e outros processos físico-químicos importantes para descrever o comportamento do campo de óleo em um ambiente marinho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Fay J. A. 1969. The spread of oil slicks on a calm sea. Oil on the Sea, Plenum Press, NY, pp. 53-63.
- [2] Proctor, R., Flather, R. A., Elliot, A. J. 1994. Modelling tides and surface drift in the Arabian Gulf – application to the Gulf oil spill. Continental Shelf Res 14:531-545.
- [3] Fingas, M. 1998. The evaporation of oil spills: development and implementation of new prediction methodology. Marine Environmental Modelling Seminar '98, Lillehammer, Norway.
- [4] Mackay D., Buist, I. A. Mascarenhas, R., Paterson, S. 1980. Oil spill processes and models. Environment Canada Manuscript Report No. EE-8, Ottawa, Ontario.
- [5] Huang, J.C., F.C. Monastero 1982. Review of the state-of-the-art of oil spill simulation models. Final Report submitted to the American Petroleum Institute.
- [6] NOAA 1994. ADIOSTM (Automated Data Inquiry for Oil Spills) user's manual. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division,NOAA. Prepared for the U.S. Coast Guard Research and Development Center, Groton Connecticut, 50 pp.