

VAZAMENTO DE ÓLEO EM CURSOS D'ÁGUA: UMA ANÁLISE COM CFD

Paula W. Teixeira, Ricardo A. Medronho

Escola de Química/UFRJ, Centro de Tecnologia, Bloco E, Ilha do Fundão, 21949-900 Rio de Janeiro-RJ,
medronho@eq.ufrj.br

RESUMO – Diversos vazamentos de óleo têm ocorrido, no mundo, ao longo dos últimos anos, causando graves prejuízos ao meio ambiente. Como exemplos de acidentes graves, no Brasil, pode-se citar o vazamento de 1,3 milhão de litros de óleo combustível ocorrido no início do ano 2000, na Baía de Guanabara. E o vazamento de quatro milhões de litros de petróleo cru no Rio Iguaçu, no Paraná, ocorrido em julho de 2000. Estes eventos indesejáveis causaram grandes danos à flora e à fauna das regiões atingidas. O derramamento de óleo inicialmente se espalha como uma película sobre a água. O transporte e o destino do óleo derramado são, geralmente, governados por processos físicos, químicos e biológicos que dependem das propriedades do óleo e das condições meteorológicas, hidrodinâmicas e ambientais da região atingida. Durante as últimas três décadas correlações empíricas deram grande contribuição para uma rápida avaliação de distribuição e evolução de óleo derramado. Entretanto, atualmente, modelos de derramamento de óleo podem utilizar formulações matemáticas mais precisas e fisicamente mais consistentes como, por exemplo, com o emprego da Fluidodinâmica Computacional (CFD). O uso de CFD possibilita o uso das equações de conservação para prever-se a dispersão de óleo em rios e mares através de simulação numérica 3-D. No presente trabalho, fluidodinâmica computacional foi utilizada para simular a dispersão de óleo derramado no acidente do rio Iguaçu. Foram simuladas diferentes condições de vazão de rio e de quantidade de óleo derramado. O pacote computacional empregado foi o CFX 10.0, da Ansys. Com base nos resultados obtidos, é possível prever-se os melhores locais para instalação de barreiras de contenção, a fim de minimizar o dano ambiental local.

PALAVRAS-CHAVE: CFD, fluidodinâmica computacional, vazamento de óleo, rios

1. INTRODUÇÃO

Nas ultimas décadas vêm ocorrendo diversos episódios de vazamento de óleo ao redor do mundo. Um exemplo foi o acidente com o *Exxon Valdez* que em março de 1989 derramou cerca de 41,6 milhões de litros de óleo cru no Alasca (Brikland e Lawrence 2002). Outro acidente catastrófico ocorrido foi na Espanha em frente a costa *Galician* onde o navio *Prestige* se rompeu em dois, vazando aproximadamente 63 mil toneladas de óleo pesado, em novembro de 2002 (Laffon et al. 2005).

No Brasil, um dos casos mais graves ocorreu no Rio de Janeiro onde cerca de 1.300 m³ de óleo combustível foram derramados na Baía de Guanabara, em janeiro de 2000, por causa de uma ruptura de um duto entre uma refinaria de petróleo e o terminal de óleo. Outro acidente aconteceu no canal de São Sebastião, que fica situado no noroeste de São Paulo, devido à colisão entre o navio *Vergina II* e o pier do terminal de óleo, em novembro de 2000. Neste acidente, vazaram, aproximadamente, 86 mil litros de óleo típico da Bacia de Campos. Outra catástrofe ambiental ocorreu em julho de 2000, quando o rompimento de uma tubulação na área *Scraper*, em uma refinaria localizada no Paraná, deixou vazar 4.000 m³ de óleo cru (Gabardo *et al.*, 2003; Meniconi *et al.* (2002). Estes eventos indesejáveis causaram danos incalculáveis à flora e à fauna das áreas atingidas.

O derramamento de óleo inicialmente se espalha como uma película sobre a água. O transporte e o destino do óleo derramado, geralmente, são governados por processos físicos, químicos e biológicos que dependem das propriedades do óleo e das condições hidrodinâmicas, meteorológicas e ambientais. Os processos incluem convecção, difusão turbulenta, evaporação, dissolução, emulsificação, sedimentação e interação entre a película do óleo com a margem. Quando o óleo é derramado em cursos d'água, ele se espalha formando uma película fina de óleo. O movimento da película é governado pela convecção e difusão turbulenta devido às ações das correntes, ondas e vento. A película se espalha sobre a superfície da água, enquanto a composição do óleo muda desde de o início do vazamento. Frações leves evaporam, componentes solúveis em água são dissolvidos e componentes imiscíveis tornam-se emulsionados. A formação óleo-água ou emulsão de óleo em água depende da turbulência, mas normalmente ocorre em poucos dias depois do derramamento inicial (Wang *et al.*, 2005).

Neste trabalho estudou-se, principalmente, o caso ocorrido em julho de 2000, no Paraná, quando vazaram 4000 m³ de óleo cru (Cusiana – 41° API), alcançando os rios Barigui e Iguaçu. A Figura 1 ilustra o encontro dos rios Barigui e Iguaçu, no dia do derramamento. O óleo derramado tinha uma densidade de 816,4 kg/m³, com 71% de saturados, 18% de aromáticos e 0,8% de asfaltenos. Aproximadamente 30% do óleo derramado chegou aos rios, cerca de 25% evaporou e o restante foi retido na zona de derramamento (Meniconi *et al.*, 2003).

2. METODOLOGIA

A geometria deste trabalho foi baseada no encontro dos rios Barigui e Iguaçu. Foram utilizados os softwares Design Modeler 10.0 e o CFX Mesh 10.0 para a confecção da geometria e elaboração da malha respectivamente, como ilustrado na Figura 2.

A Bacia do Iguaçu é monitorada pela operadora SUDERHSA, da Agência Nacional de Águas (ANA), que mede as vazões, alturas e larguras dos rios Iguaçu e Barigui, sendo que estas variam em função das condições meteorológicas. A Figura 3 mostra as vazões destes rios, em julho de 2000 e a Tabela 1 mostra os valores os valores medidos em 14, 16 e 23 de julho de 2000. Com base nesta tabela, foram considerados três diferentes condições: a) simulação do dia 14 de julho dos rios Iguaçu e Barigui que apresentaram baixas vazões; b) simulação do dia 16 de julho quando ocorreu o acidente propriamente dito e c) do dia 23 de julho quando os rios apresentaram altas vazões.

Tabela 1: dimensões dos rios Iguaçu e Barigui

		14 de Julho	16 de Julho	23 de Julho
Rio Iguaçu	Largura (m)	37,07	38,22	41,42
	Altura (m)	1,44	1,77	2,60
	Vazão (m ³ /s)	15,60	26,40	60,60
Rio Barigui	Largura (m)	21,21	21,68	23,22
	Altura (m)	0,23	0,31	0,79
	Vazão (m ³ /s)	2,24	3,58	17,70

Para as simulações, foi utilizado o software CFX 11.0 da ANSYS. As condições de contorno adotadas para estas simulações foram estado estacionário, modelo de turbulência k- ϵ , densidades e viscosidades do óleo e da água iguais a 814,6 kg/m³, 997 Kg/m³, 100 Pa.s e 0,0009 Pa.s, respectivamente.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos nas simulações mostraram o comportamento do óleo, de acordo com as condições adotadas (Figuras 4 a 15). As Figuras 4-6 mostram as frações volumétricas de óleo na superfície dos dois rios. A área de maior espalhamento do óleo, observado na Figura 4, tem como motivo a menor vazão dos rios. Nesta situação, praticamente todo o óleo fica localizado na superfície e sua fração volumétrica é próxima de 1. As Figuras 5 e 6 mostram que, à medida que aumenta a vazão dos rios, aumenta o grau de mistura, isto é, a fração volumétrica do óleo diminui devido aos maiores níveis de turbulência. Nas Figuras 7-9, são mostradas os vetores velocidade na superfície dos rios e nas Figuras 10-12 pode-se observar a diferença de altura do nível do rio Iguaçu, nas três condições simuladas. A fração volumétrica de óleo na seção transversal do rio Iguaçu diminui de espessura à medida que aumenta a vazão (Figuras 13-15), o que pode ser explicado pelo fato da quantidade de óleo derramado ser constante.

Com base nas Figuras 4 a 15, pode-se concluir que o dano ambiental causado pelo derramamento em estudo poderia ter conseqüências ainda mais graves, caso tivesse ocorrido em 23/07/2007 e não em 16/07/2007. Nesta situação, ter-se-ia um maior grau de emulsificação, com uma maior dificuldade para proceder-se à retirada do óleo derramado.

Como prosseguimento do trabalho, serão conduzidas simulações transientes, a fim de se estudar os melhores locais para instalação de barreiras de contenção, de forma permitir uma pronta retirada do óleo, possibilitando minimizar os possíveis impactos ambientais causados.



Figura 1 - Encontro dos rios Barigui e Iguaçu.

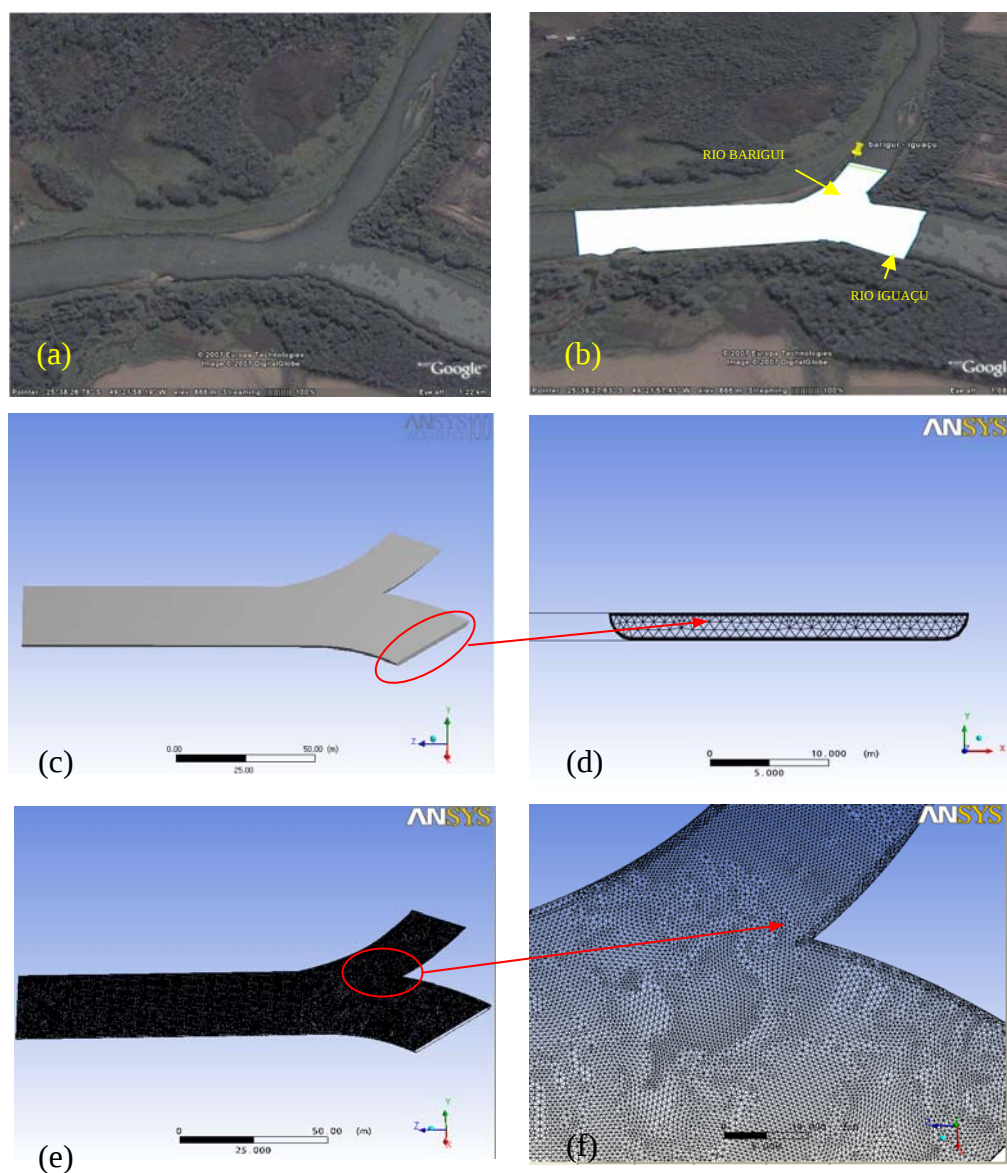


Figura 2: (a) Imagem do Google Earth do encontro dos rios Barigui e Iguaçu, (b) imagem do Goolge Earth com destaque para a área a ser simulada, (c) geometria dos rios feita no Workbench 10.0, (d) vista frontal do Rio Iguaçu, na geometria simulada, (e) malha dos rios preparada no CFX Mesh 10.0, (f) zoom da malha dos rios na zona de encontro.

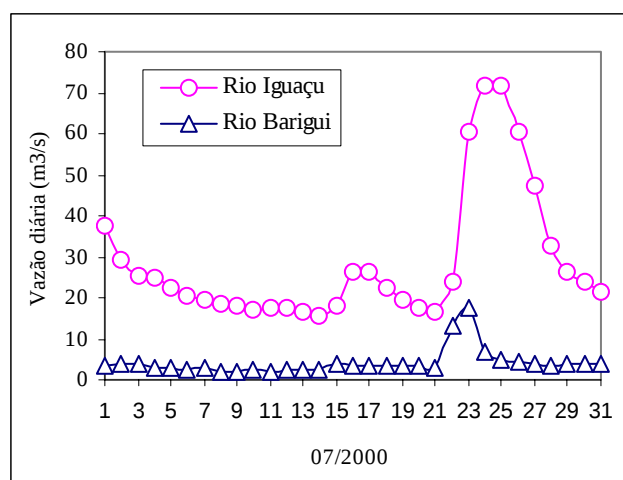


Figura 3: Vazões diárias dos rios Iguaçu e Barigui em julho de 2000

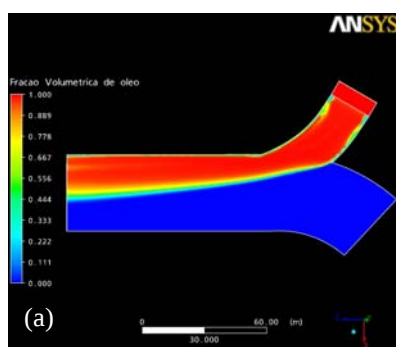


Figura 4: Fração volumétrica de óleo no dia 14/07/2000

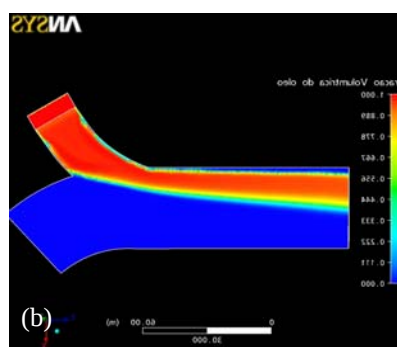


Figura 5: Fração volumétrica de óleo no dia 16/07/2000

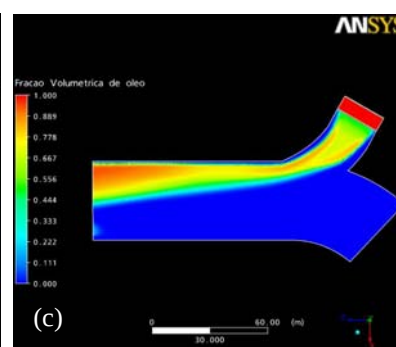


Figura 6: Fração volumétrica de óleo no dia 23/07/2000

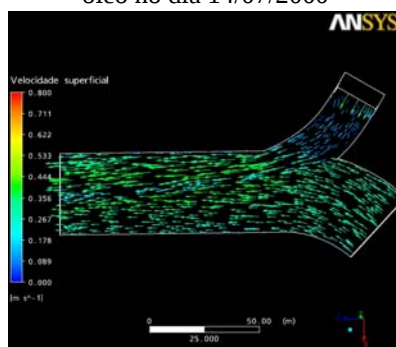


Figura 7: Vetores velocidade na superfície dos rios no dia 14/07/2000

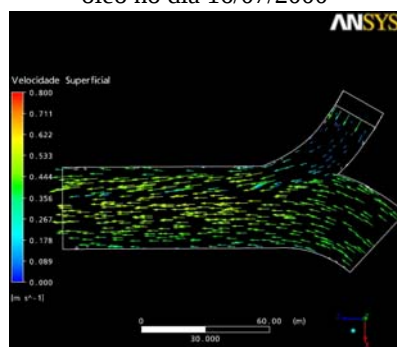


Figura 8: Vetores velocidade na superfície dos rios no dia 16/07/2000

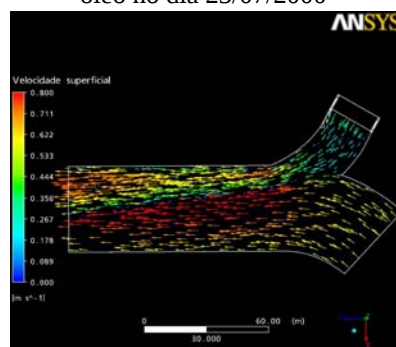


Figura 9: Vetores velocidade na superfície dos rios no dia 23/07/2000

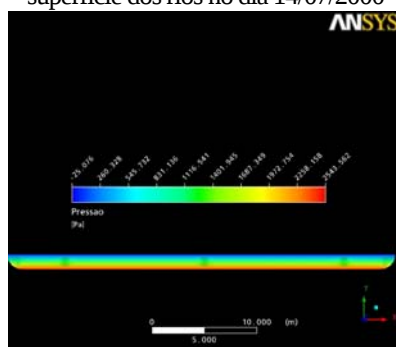


Figura 10: Vista frontal na saída do rio Iguaçu no dia 14/07/2000

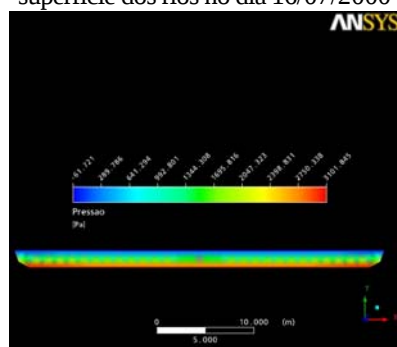


Figura 11: Vista frontal na saída do rio Iguaçu no dia 16/07/2000

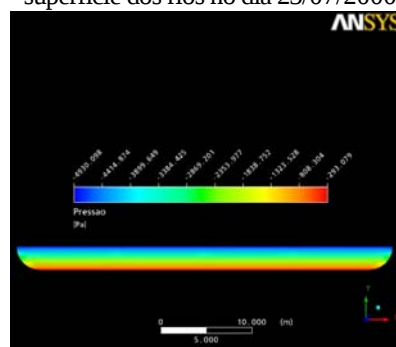


Figura 12: Vista frontal na saída do rio Iguaçu no dia 16/07/2000

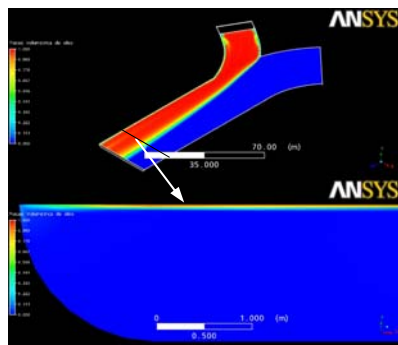


Figura 13: Detalhe da seção transversal do rio Iguazu no dia 14/07/2000

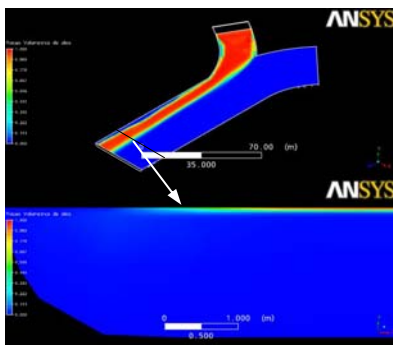


Figura 14: Detalhe da seção transversal do rio Iguazu no dia 16/07/2000

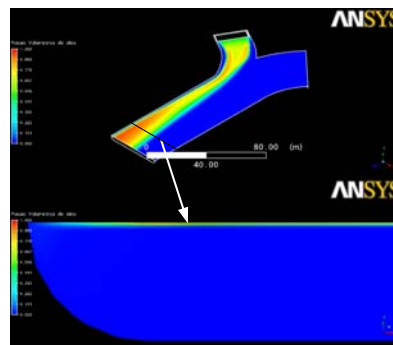


Figura 15: Detalhe da seção transversal do rio Iguazu no dia 23/07/2000

4. CONCLUSÃO

As simulações do comportamento do óleo derramado em diferentes situações mostraram que mudanças de vazão nos rios, devido às condições meteorológicas na data do vazamento, podem alterar significativamente a dispersão do óleo, dificultando a sua retirada.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP e à Agência Nacional do Petróleo e, em particular, a Escola de Química, através do seu programa EQ-ANP (PRH-13) pelo apoio recebido.

6. REFERÊNCIAS

- BIRKLAND, T.A., LAWRENCE, R.G., The Social and Political Meaning of the *Exxon Valdez* Oil Spill. *Spill Science & Technology Bulletin*, v.7, nº 1-2, p. 17-22, 2002.
- GABARDO, I.T., MENICONI, M.F.G., CARNEIRO, M.E.R., FALCAO, L.V., BARBANTI, S.M., PLATTE, E.B., Oil Spills in a Tropical Country – Brazilian Case Studies. *Proceedings International Oil Spill Conference (IOSC)*, April/2003, Canada.
- LAFFON, B., RÁBADE, T., PÁSARO, E., MÉNDEZ, J., Monitoring of impact of *Prestige* oil spill on *Mytilus galloprovincialis* from Galician coast. *Environment International ARTICLE IN PRESS*, 2005.
- MENICONI, M.F.G., GABARDO, I. T., CARNEIRO, M. E. R., BARBANTI, S. M., SILVA, G.C., MASSONE, C. G., Brazilian Oil Spills Chemical Characterization – Case Studies. *Environmental Forensics*, v.3, p. 303-321, 2002.
- MENICONI, M.F.G., GABARDO, I. T., BARBANTI, S. M., CAICEDO, N. L., Chemical Characterization of environmental samples after oil spill in Iguassu River, Paraná, Brazil, July/2000. *Proceedings International Oil Spill Conference (IOSC)*, April/2003, Canada.
- MICHEL, J., Assessment and Recommendations for the Oil Spill Cleanup of Guanabara Bay, Brazil. *Spill Science & Technology Bulletin*, v.6, nº 1, p. 89-96, 2000.
- WANG, S.D., SHEN, Y.M., ZHENG, Y.H. Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas. *Ocean Engineering*, v.32, p.1556-1571, 2005.

NUMERICAL SIMULATION OF SPILLED OIL IN STREAM OF WATER

ABSTRACT – In the last decade many oil spills has occurred around the world. Those had a strong impact in the environment. As examples of accidents was: Exxon Valdez in mach 1989, other example was in Alaska, *Prestige* November 2002 in Spain. In Brazil, the worst accident was in Paraná when 4 million liters of crude oil spilled in Iguazu River, which occurred in July 2000. Others accidents were in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, in January 2000 and in São Sebastião channel, São Paulo, in July 2000. The aim of this study is to simulate the spilled oil in water flow utilizing Computational Fluid Dynamic The package computational employed is the CFX 10.0, ANSYS. With base in the results obtained, is possible foresees the best localities for contention barriers installation, in order to minimize the local environmental.

KEYWORDS: oil spill, Computational Fluid Dynamic (CFD),

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.