



## **Análise da Dispersão de Material Radioativo por Modelagem Numérica na Baía de Ilha Grande - RJ**

**Silva <sup>1</sup>, D. A.; Dottori <sup>1</sup>, M.**

*<sup>1</sup>Laboratório de Hidrodinâmica Costeira (LHiCo) – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO USP) – Praça do Oceanográfico, 191 – São Paulo, SP – CEP 05508-120  
danilo2.silva@usp.br*

### **RESUMO**

A operação da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto utiliza águas captadas na Enseada de Itaorna para resfriar seu reator nuclear, despejando-as no Saco de Piraquara de Fora. Desta forma, em um cenário hipotético de vazamento nuclear, as águas despejariam quantidades consideráveis de material radioativo no sistema estuarino. Desta forma, compreender a evolução da dispersão deste material servirá como base para elaboração de planos de mitigação neste cenário. Este trabalho utilizou os módulos hidrodinâmico e de dispersão do modelo *Stevens Estuarine and Coastal Ocean Model* (sECOM), para avaliar a influência das forçantes maré e vento na circulação da região da Baía de Ilha Grande e estudar a evolução da pluma de materiais radioativos lançados em um cenário hipotético de vazamento nuclear. Com isso, obteve-se correntes com intensidades superiores a  $0.6 \text{ m s}^{-1}$ , variando conforme o regime de ventos e maré. Quanto a dispersão do material radioativo, observou-se que a pluma evolui, prioritariamente, para nordeste e leste. Dependendo do regime de ventos predominante, experimentos numéricos mostram que a pluma de radionuclídeos pode atingir regiões como Angra dos Reis, Paraty, Mangaratiba, Marambaia e Mambucaba. A diluição da pluma será mais efetiva ao alcançar a Porção Leste da Baía de Ilha Grande, aonde a corrente de maré possui maiores intensidades.

Palavras-chave: modelagem numérica, poluição nuclear, poluição marinha

### **INTRODUÇÃO**

Em escala global, grandes reservatórios d'água são utilizados para despejo de materiais, sendo que o maior impacto é em regiões de baixa circulação e troca d'água, como estuários semi-confinados (Kennish, 1996). Segundo IAEA e PRIS (2015), 85% das usinas nucleares estão instaladas próximas a reservatórios, utilizando suas águas no sistema de resfriamento dos reatores nucleares e, então, descartando a água de volta no corpo d'água.

No Brasil existem duas usinas nucleares em operação, Angra I e Angra II, ambas localizadas no Complexo Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), na Baía de Ilha Grande (BIG), RJ. Essas usinas utilizam águas captadas na Enseada de Itaorna, resfriam os reatores e descartam a água, aquecida e com baixas concentrações de contaminantes, na Enseada de Piraquara de Fora. Com isso, há a possibilidade, ainda que pequena, de contaminação da região, impactando a sociedade adjacente.

Assim, compreender o padrão de circulação da região e avaliar o destino de possíveis contaminantes radioativos é essencial, no sentido de apoiar os órgãos tomadores de decisão na eventualidade de tais cenários.

### **OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho é avaliar a dimensão da dispersão da pluma de material radioativo e quais regiões serão mais impactadas. Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Determinar como o vento e maré forçam a circulação da região;

- Avaliar a dispersão do material em situação de maré (sigízia e quadratura) e ventos típicos e
- Determinar as principais regiões de impacto do vazamento hipotético.

## METODOLOGIA

Para realização deste trabalho, foi utilizada a modelagem numérica, com a implementação dos módulos hidrodinâmico e de dispersão do modelo *Stevens Estuarine and Coastal Ocean Model* (sECOM). A região de estudo compreende a Baía de Ilha Grande (BIG) e Baía de Sepetiba, utilizando uma grade de, aproximadamente, 750x515m (94x297 células) e 15 níveis sigma, com resolução temporal de 15 segundos. Aplicou-se dois regimes de ventos típicos mais efetivos na indução de correntes superficiais, de nordeste e de sudeste (Oliveira, 2003), além de um experimento mais realista com dados de ventos extraídos do modelo BRAMS, fornecidos pelo CPTEC/INPE, para o período de 21 de Julho a 31 de Agosto de 2016, incluindo o período de aquecimento do modelo.

O modelo foi forçado nos contornos abertos com a condição radiativa (Reid e Bodine, 1968) com dados de amplitude e fase das componentes de maré, extraídos do TPXO 7.2, e nos contornos fechados foi considerada a condição de livre escorregamento, com exceção das células com vazão do Rio Mambucada e da captação/descarga da CNAAA. Como condição inicial do modelo, utilizou-se a mesma empregada em Fragoso (1999), considerando um oceano homogêneo, com temperatura de 25°C e salinidade de 35, em repouso.

Para o módulo de dispersão, foi considerada uma quantidade teórica de  $1.87 \times 10^{10}$  Bq m<sup>-3</sup> (Simões Filho et al., 2013) de Trítio, radionuclídeo considerado conservativo e presente nos reatores do tipo *Pressurized Water Reactor* (PWR), mesmo tipo que os de Angra I e II.

Para compreender a hidrodinâmica, foram realizados 3 experimentos, implementando as forçantes vento e maré de forma isolada e, para modelar a dispersão do material, foram realizados mais 3 experimentos, considerando as mesmas forçantes combinadas, somente com o vento variando entre elas (Tabela 1).

Tabela 1 – Experimentos realizados e forçantes empregadas em cada uma.

Objetivo	Simulação	Experimentos	Tempo
Ação Isolada das Forçantes	I	Vento NE + Rio	10 dias
	II	Vento SW + Rio	10 dias
	III	Maré + Rio	30 dias
Dispersão da pluma de Trítio	IV	Vento NE + Maré + Rio	60 dias
	V	Vento SW + Maré + Rio	60 dias
	VI	Vento CPTEC + Maré + Rio	41 dias

## RESULTADOS

Para a circulação gerada por ventos e maré (experimentos I, II e III), observou-se as velocidades máximas de 0.2, 0.3 e 0.7 m/s (Figura 1), respectivamente. Embora nos dois primeiros experimentos os valores sejam muito próximos, há uma ligeira diferença explicada pela geometria da região modelada (Baía de Ilha Grande e Baía de Sepetiba), em que a Porção Oeste da BIG possui uma maior superfície de contato do que a Porção Leste, favorecendo correntes geradas por ventos de SW, como analisado nestes experimentos. Resultado semelhante foi obtido por Signorini (1980), onde o transporte gerado por ventos do quadrante sul foram maiores que os transporte gerado por ventos do quadrante norte.

Entretanto, nota-se o papel da maré na circulação (Figura 1.c), atingindo intensidades

muito superiores aos outros experimentos, confinadas a leste do domínio.

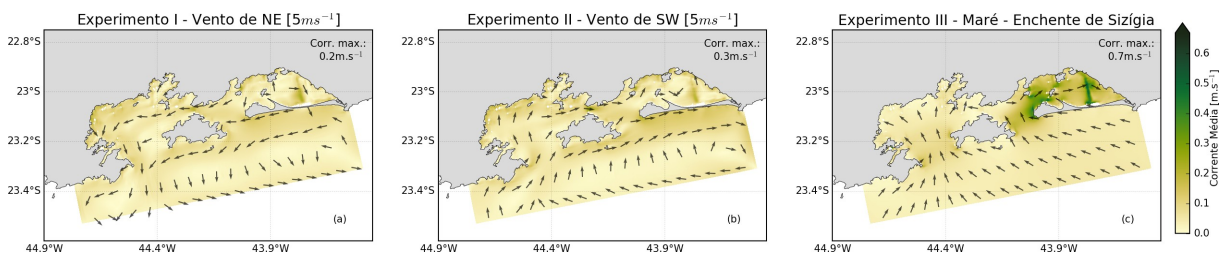


Figura 1 – Corrente média nos experimentos I, II e III. Os painéis (a) e (b) representam o último instante modelado e (c), o instante da segunda maré enchente de sizígia do período modelado. As imagens representam todo o domínio estudado.

Comparando os experimentos IV e V, notamos que a maior diferença está na direção preferencial de evolução da pluma, que é comandada pela direção dos ventos em cada experimento. Entretanto, no experimento IV, os ventos de SW transportam o material radioativo para leste do domínio, atingindo regiões com correntes mais intensas devido à influência da maré e, desta forma, diluindo de maneira mais eficaz os radionuclídeos, em comparação ao experimento V que, para o mesmo instante de tempo, possui uma maior concentração do material na região oeste do domínio (Figura 2).

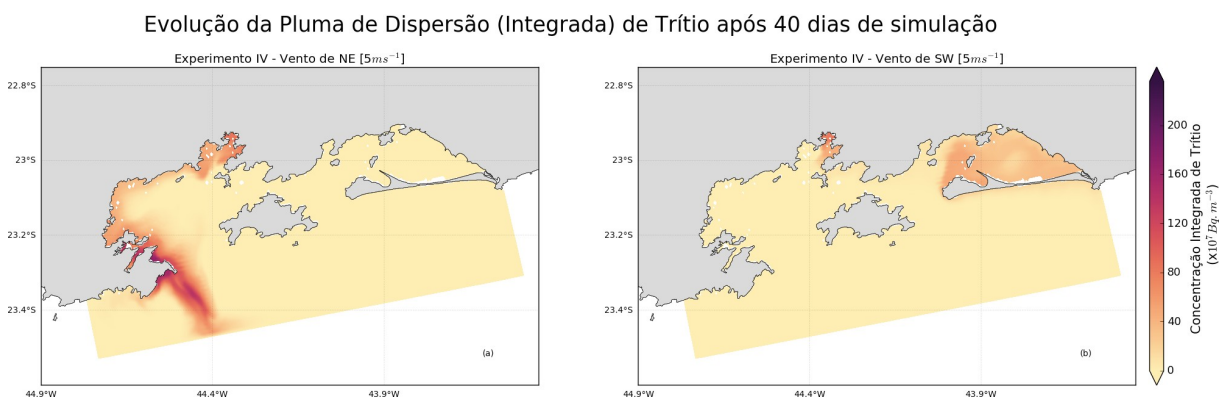


Figura 2 – Comparação entre os experimentos IV e V, respectivamente, no instante correspondente a 40 dias de simulação, sendo a concentração total na coluna. As imagens representam todo o domínio estudado.

Quanto ao experimento VI (Figura 3), observou-se que a evolução da pluma ocorre, preferencialmente, para leste do domínio, conforme no experimento IV, onde parte dela permanece por mais de 30 dias na Baía da Ribeira, e outra parte é transportada para regiões de correntes mais intensas, sendo rapidamente diluídas. Baseando-se nos experimentos IV, V e VI, estima-se que levaria mais de 60 dias para que grande parte do material fosse diluído na região, o que poderia acarretar em sérios problemas para a biota local, onde o material nuclear seria bioincorporado nos organismos e no sedimento, passando a fazer parte da cadeia alimentar.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que, em caso de vazamento nuclear na CNAAA, a presença do material radioativo nas águas da região de estudo seria de, no mínimo, 60 dias, até uma redução a níveis de concentração inferiores ao previsto na resolução nº283 do CONAMA, que prevê um total anual de descarte de Trítio de  $18.5 \times 10^{16} \text{ Bq.m}^{-3}$ . Além disso, as regiões de maior impacto seriam a própria Baía da Ribeira, ponto de descarte da CNAAA e, dependendo do regime de ventos predominante no período do vazamento, a pluma de material radioativo poderia alcançar regiões a oeste, como Paraty e Mambucaba, ou a leste, Angra dos Reis, Baía de Sepetiba e Marambaia. Destaca-se que a pluma será melhor diluída ao atingir regiões a leste

do domínio estudado, onde a maré gera correntes mais intensas.

Evolução (em superfície) da Pluma de Dispersão de Trítio liberado em 01/08/2016

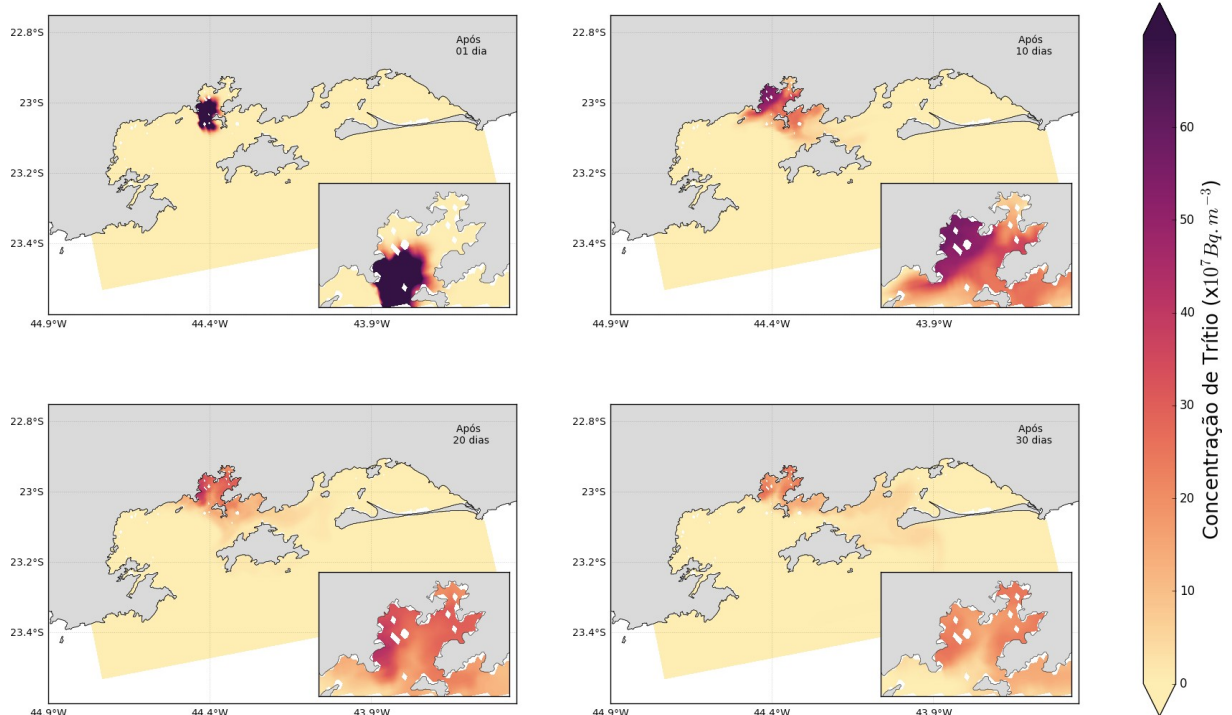


Figura 3 – Dispersão da pluma de material radioativo no experimento VI, os painéis representam, na ordem, os instantes de 6 horas, 10 dias, 20 dias e 30 dias após o vazamento. As imagens representam todo o domínio estudado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IAEA, International Atomic Energy Agency e Power Reactor Information System PRIS. 2015. The 1953 North Sea Floods. <<http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByType.aspx>>. Online; Acessado em: 23 Abr. 2015
- KENNISH, M. J. 1996. *Practical handbook of estuarine and marine pollution. Volume 10.* CRC press.
- OLIVEIRA, R. F. 2003. *O comportamento evolutivo de uma mancha de óleo na Baía de Ilha Grande/RJ: modelagem, análise numérica e simulações.* Ph.D. diss., **Tese de Doutorado, IMECC–Unicamp, Campinas/SP.**
- REID, R. O. & BODINE, B. R. 1968. “Numerical model for storm surges in Galveston Bay.” *Journal of the Waterways and harbors Division* 94 (1): 33–58.
- SIGNORINI, S. R. 1980. *A Study of the Circulation in Bay of Ilha Grande and Bay of Sepetiba: part II: an assessment to the tidally and wind-driven circulation using finite element numerical model.* **Boletim do Instituto Oceanográfico** 29 (1): 57-68.
- SIMÕES FILHO, F. F. L.; AGUIAR, A. S.; SOARES, A. D. & LAPA, C. M. F. 2013. “Modelling the transport of radionuclides released in the Ilha Grande bay (Brazil) after a LBLOCA in the primary system of a PWR.” *Instituto de Engenharia Nuclear: Progress Report*, no. 1:103.