



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

APLICAÇÃO DE UM MODELO DE TRANSPORTE DE PARTÍCULAS PARA DETERMINAÇÃO DA TRAJETÓRIA DE MANCHAS DE ÓLEO NA LAGOA DOS PATOS - RS

Rafael B. Piovesan¹, Fernando N. A. Alves², Ivan D. Soares³

¹ Fundação Universidade Federal do Rio Grande, email ocerbp@furg.br
Av. Italia km 8, cep 96201-900, Rio Grande-RS

² Fundação Universidade Federal do Rio Grande, email fernandonaa@gmail.com
Av. Italia km 8, cep 96201-900, Rio Grande-RS

³ Fundação Universidade Federal do Rio Grande, email dfsivan@furg.br
Av. Italia km 8, cep 96201-900, Rio Grande-RS

Resumo – Um modulo traçador de partículas lagrangeano foi adicionado ao modelo oceânico da Universidade de Princeton (POM), com o objetivo de estudar o deslocamento de manchas de óleo na Lagoa dos Patos – RS. Este modulo é a primeira fase do desenvolvimento de um modelo de transporte de óleo. Foi realizado um experimento forçado por descarga fluvial e vento, onde dez partículas foram largadas em diferentes pontos da lagoa. Os resultados apontam para o bom funcionamento do modulo de partículas, e uma maior susceptibilidade da costa leste da lagoa aos efeitos de um derrame de óleo.

Palavras-Chave: óleo; modelo-numérico; Lagoa dos Patos

Abstract – The aim of this paper is to study the oil drift in the Patos Lagoon, using a particle-tacking model add to the Princeton Ocean Model (POM). This model is the first step of the developmen of a oil spill model. A simulation forced with river and wind was carried through, ten particles was left in differents points of the lagoon. The results show that the particle-tracking model is working satisfactorily and the east border of lagoon is more susceptible to a oil spill.

Keywords: oil, numerical-model, Patos Lagoon

1. Introdução

Até o ano de 1997 os direitos de exploração de petróleo no Brasil era exclusivos da Petrobrás. Com a aprovação da Lei 9.478/97, a chamada Lei do Petróleo, empresas privadas passaram a poder explorar este produto, desde que, com uma concessão da Agência Nacional de Petróleo (ANP). Com esta medida espera-se um aumento nas atividades de exploração, transporte e refino no país.

Algumas das áreas de refino estão localizadas em áreas costeiras de uso múltiplo, que envolve desde o uso para recreação, para reprodução e criação de espécies de interesse comercial, as quais são áreas de risco em potencial. Uma dessas áreas é a Lagoa dos Patos e seus tributários. A Bacia Hidrográfica da Lagoa dos Patos drena aproximadamente 140.000 km² (Möller *et al.*, 1996), o que representa quase metade da área do Estado do Rio Grande do Sul. Cerca de 260 municípios estão localizados nesta área, com uma população de aproximadamente 7.000.000 de habitantes, o que significa 80% da população do Estado. A magnitude deste sistema lhe confere o *status* de o mais importante recurso hídrico do estado, onde são desenvolvidos os mais diversos tipos de atividades. Dois terminais da Petrobrás estão localizados nesta lagoa: o Terminal de Niterói, que serve a Refinaria Alberto Pasqualine (REFAP), localizado as margens do Rio Gravataí na Grande Porto Alegre; e o Terminal do Rio Grande, responsável por abastecer a Refinaria Ipiranga e navios que ingressam no Porto de Rio Grande, localizado no estuário da Lagoa dos Patos. Nestes terminais grandes volumes de óleo e derivados são carregados e descarregados, sendo constante o risco de acidentes.

Os acidentes com derrames de óleo são conseqüências indesejáveis das operações de exploração, produção e transporte de petróleo. Para a realização de um combate eficiente a derrames de óleo ou derivados, a equipe de resposta às emergências necessita possuir o conhecimento prévio do comportamento físico-químico do óleo, das condições meteorológicas no momento do acidente e da dimensão do derrame, para assim, promover uma ação eficaz no combate da mancha. Por esta razão a elaboração de estudos de avaliação de risco e planos de emergência se torna de grande interesse. Ter conhecimento dos danos que tais atividades podem causar e saber como agir caso acidentes ocorram são essenciais para se evitar danos maiores. Neste contexto, uma ferramenta que vem sendo utilizada largamente em todo o mundo é a modelagem numérica. A partir do desenvolvimento de computadores pessoais de alto desempenho, e o desenvolvimento de modelos de domínio público, os modelos se tornaram ferramentas acessíveis e bem difundidas. Os atuais modelos hidrodinâmicos conseguem representar de forma real as condições de circulação de uma área, e com módulos de dispersão de óleo são capazes de definir cenários que permitem a elaboração das estratégias necessárias para o atendimento de emergência a acidentes com óleo.

Um grande número de modelos de derramamento de óleo são usados no mundo atualmente. Estes variam desde simples traçadores de partícula a modelos tridimensionais, capazes de simular ações de resposta ao derrame e efeitos biológicos, muitos destes citados em Reed (1999).

1.2. Objetivos

Fazer um estudo da dispersão de óleo, em diferentes pontos da Lagoa dos Patos. Para isto será utilizado o modelo numérico POM com um módulo de transporte de partículas lagrangeano. Este módulo consiste na primeira etapa da criação de um modelo de transporte de óleo.

1.3. Área de Estudo

A Lagoa dos Patos (Figura 1), maior lagoa costeira do tipo estrangulada do mundo (Kjerfve, 1986), está localizada na planície costeira do Estado do Rio Grande do Sul, entre as latitudes de 30° S e 32° S. Possui forma alongada na direção nordeste-sudoeste, comprimento de 250 km, largura média de 40 km e área de 10.360 km² (Möller *et al.*, 1996), separando-se do oceano por uma estreita restinga de 240 km de comprimento. Ao norte apresenta duas ramificações: a Lagoa do Casamento; e o Rio Guaíba, lago formado pelos rios Jacuí, Caí, dos Sinos, Taquari e Gravataí. Ao sul esta localizado o Estuário da Lagoa dos Patos, o qual conecta-se ao oceano por um canal de 20 km de comprimento e de 1 a 2 km de largura (Canal do Rio Grande), este permanente aberto devido a presença de dois moles com 4 e 6 km de comprimento. A topografia do fundo lagunar, embora suave, é variada. A maioria das margens mostra-se rasa, oscilando entre 0,5 m e 1m, estando as partes mais profundas confinadas às zonas centrais com média de 8 m, e ao longo do Canal de Rio Grande, onde varia entre 10 e 15 m (Villwock e Tomazelli, 1995).

A Lagoa dos Patos está localizada em uma região de mínima influência de maré (Defant, 1961), a qual possui amplitude média de 0,47 m (Hers, 1977). Além disto, o canal do Rio Grande atua como um filtro amortecedor, confinando grande parte da influência de maré na porção afunilada do estuário e atenuando sua amplitude (Fernandes *et al.*, 2003). A circulação desta laguna, como na maioria das lagunas costeiras estranguladas, é forçada principalmente pela ação do vento e descarga fluvial (Kjerfve, 1986; Möller *et al.*, 1996).

O vento nordeste é dominante ao longo do ano, o vento sudoeste tem maior importância durante outono e inverno quando a passagem de sistemas frontais torna-se mais frequente sobre esta área. Velocidades típicas do vento são entre 3 e 5 m/s (Tomazelli, 1993). Segundo Möller *et al.* (2001), o vento nordeste, em seu efeito local, provoca um rebaixamento do nível na parte norte da laguna, e uma elevação na parte sul. O mesmo vento em seu efeito remoto provoca um rebaixamento do nível do mar na costa (transporte de Ekman), o resultado destes dois efeitos é um transporte em direção ao oceano. O vento sudoeste causa efeito inverso, rebaixamento da parte sul e elevação do nível na parte norte da lagoa (efeito local) e elevação na costa (efeito remoto), com transporte de água para o interior da laguna.

A Lagoa dos Patos drena uma bacia hidrográfica de 140.000 km² que recebe chuvas sazonais e exibe associado a isso um pico de descarga fluvial no inverno (junho-agosto) ou primavera (setembro-novembro). Médias mensais baseadas em 14 anos de dados, para os rios Jacuí-Taquari e Camaquã, variaram de 500 m³/s em março a mais de 3000 m³/s entre agosto e outubro (Bordas *et al.*, 1984).



Figura 1. Lagoa dos Patos.

2. Metodologia

Para este estudo foi utilizado o modelo oceânico da Universidade de Princeton (POM), adaptado para a região da Lagoa dos Patos, com um módulo traçador de partículas. Dois experimentos foram realizados: no primeiro a única força utilizada foi descarga fluvial, esta imposta no contorno norte na região correspondente a cabeceira do Rio Guaíba, com uma vazão de 1000 m³/s. O objetivo deste experimento foi criar um arquivo de inicialização para o experimento com transporte de óleo; o segundo teve o objetivo de verificar a trajetória de dez partículas abandonadas em diferentes pontos da Lagoa dos Patos. Neste experimento além da descarga utilizou-se o vento como força, com intensidade em torno de 3,5 m/s e direção variando de nordeste a sudoeste, simulando a passagem de um sistema frontal, muito comum nesta região.

2.1. Modelo Oceânico da Universidade de Princeton

O POM (Blumberg e Mellor, 1987) é um modelo tridimensional, de diferenças finitas, que trabalha com superfície livre e com a possibilidade de simulações bi e tridimensionais. Duas características básicas desse modelo que o tornaram adequado para este estudo são: o uso de coordenadas sigma e de um esquema de fechamento turbulento. A coordenada sigma é adequada para regiões costeiras onde existe grande variação topográfica, pois permite a representação das variações do terreno com precisão (Blumberg e Mellor, 1987). O esquema de fechamento turbulento é um sub-modelo embutido no modelo POM, que permite o cálculo de coeficientes de viscosidade turbulenta variáveis no tempo e no espaço com base em uma equação para conservação de energia cinética turbulenta. Essa característica é essencial para o cálculo da dispersão de substância dissolvidas na água, como por exemplo, óleo.

2.2. Módulo Traçador de Partículas

O módulo traçador de partículas é a primeira etapa concluída de um modelo de transporte de óleo. Este módulo funciona com o esquema lagrangeano, onde cada partícula possui uma posição, que varia em função da soma das velocidades da água, do vento e de uma velocidade de pequena escala aleatória.

2.3. Grade Numérica

Para a realização do experimento hidrodinâmico, foi elaborada uma grade batimétrica, que engloba a Lagoa dos Patos, Rio Guaíba e uma faixa de oceano. A grade possui 150x450 elementos, com o tamanho dos elementos variando ao longo da grade. No Estuário, zona de maior interesse, os elementos possuem um tamanho de em torno de 100x100m, sendo que no norte da lagoa e na área costeira, os elementos podem ter 1500x1500m. A batimetria foi interpolada a partir de dados de cartas náuticas digitalizadas.

3. Resultados

3.1. Hidrodinâmica

Na figura 2 vemos o efeito do vento nordeste no campo de elevação, percebe-se o efeito local do vento no nível da lagoa, na parte sul há um acúmulo de água e consequente aumento de nível. Próximo à linha de costa observa-se um pequeno rebaixamento do nível em relação a pontos mais ao leste. As velocidades no canal do Rio Grande (Figura 03) indicam um transporte de água da laguna em direção ao oceano. As velocidades no canal tiveram em média uma intensidade de 0.5 m/s, alcançando 1.2 m/s na extremidade dos moles.

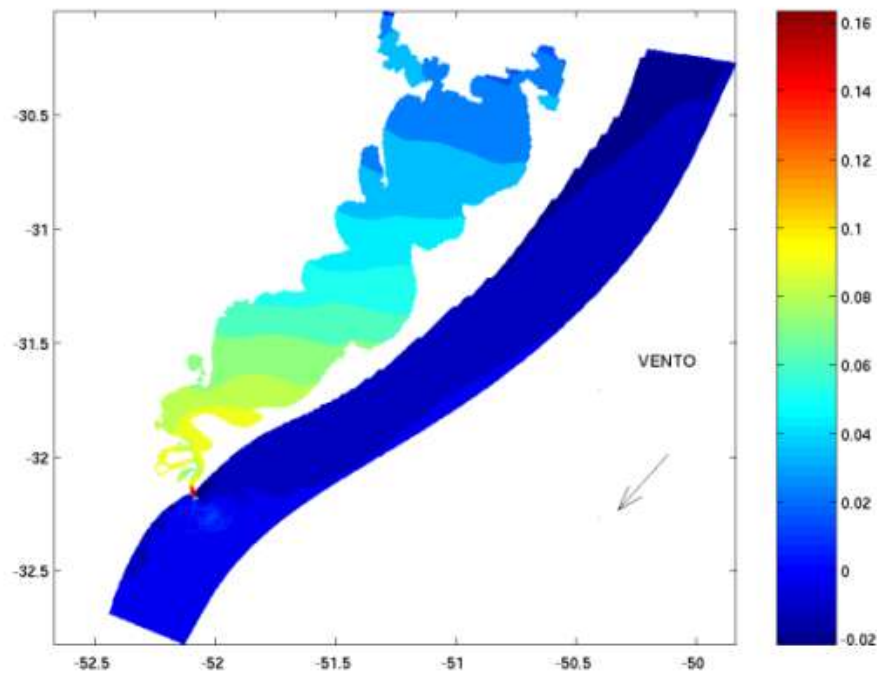


Figura 2. Campo de elevação do nível em situação de vento nordeste.

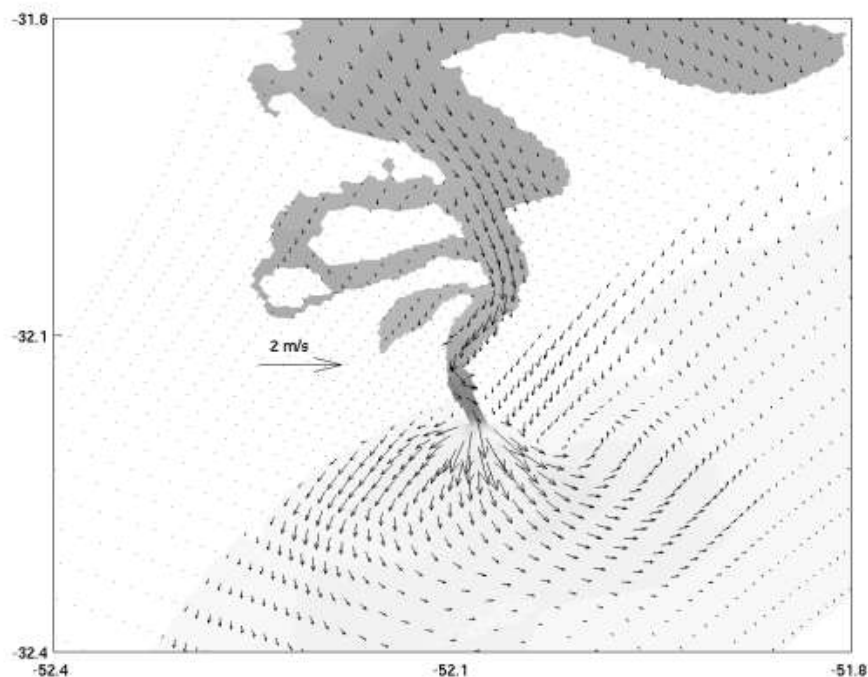


Figura 3. Campo de velocidades no Estuário da Lagoa dos Patos, média de 24 horas em situação de vento nordeste

3.2. Transporte de Óleo

Após o início do experimento com vento, dez partículas foram colocadas no modelo para que suas trajetórias fossem seguidas. A figura 4 mostra a trajetória das partículas até 48 horas de simulação, quando o vento nordeste começa mudar de direção. Observa-se que há uma tendência para as partículas irem em direção a sudeste. No caso das partículas 4, 5, 6 e 8 isto se deve ao transporte das correntes geradas por vento ser defletido 90° para a esquerda no hemisfério sul, as partículas 1, 2 e 3 seguem o fluxo gerado pela descarga do Rio Guaíba, enquanto as partículas 7 e 8 seguem o fluxo da

lagoa em direção ao oceano. A partícula 9 se diferencia das outras por após um certo momento segue para noroeste, isto se dá pela presença de um vortice naquele local, gerado pela morfologia dos moles. Na figura 5 estão plotadas as trajetórias das partículas até 160 horas momento em que o vento tinha direção próxima de sudoeste. A mudança de direção do vento fez com que a maioria das partículas mudassem a direção de deslocamento, empurrando-as para noroeste. As partículas 1 e 2 após fazerem uma pequena mudança nas suas trajetórias encontraram a margem e pararam de se deslocar. As de número 7 e 8 continuaram seguindo o fluxo de saída da lagoa e esbarraram na margem.

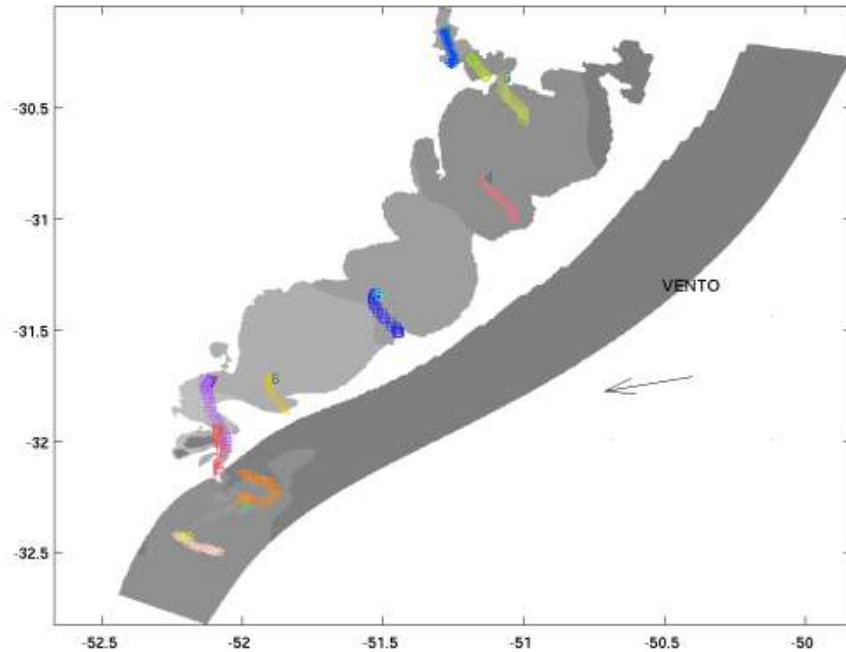


Figura 4. Trajetória das partículas com 48 hrs de simulação.

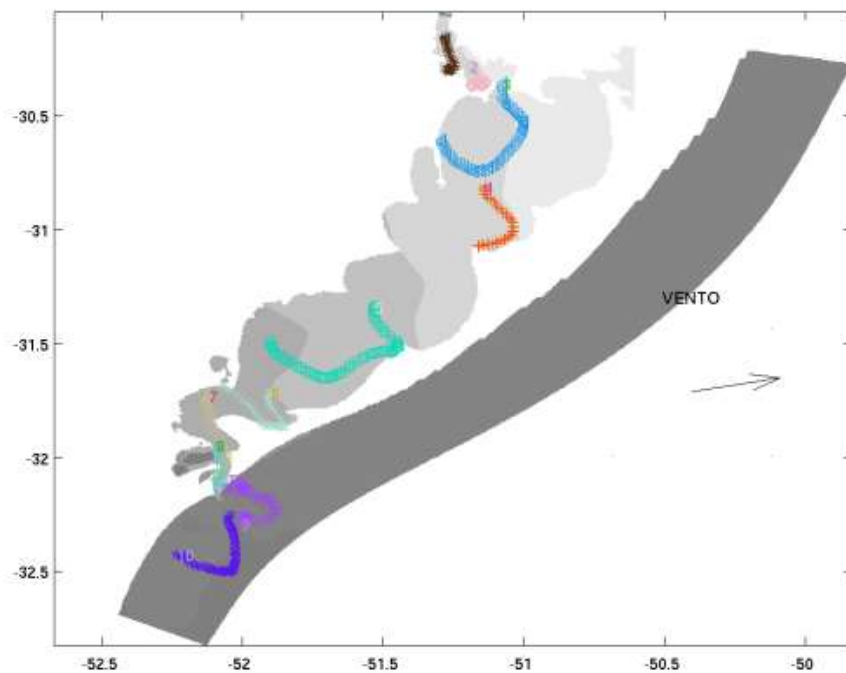


Figura 5. Trajetória das partículas com 160 horas de simulação.

4. Conclusões

O modelo hidrodinâmico está respondendo como o esperado, reproduzindo o que Möller *et al.* (2001) concluiu, apesar do rebaixamento/elevação do nível do mar na costa não estar sendo significativo. O menor rebaixamento/empilhamento do nível deve estar ocorrendo pela pouca largura da faixa de oceano, não sendo suficiente para o efeito remoto do vento atuar.

As partículas respondem bem ao modelo hidrodinâmico seguindo os fluxos criados pela descarga e fricção do vento. Devido a dominância do vento nordeste na região (Tomazelli, 1993), é de se esperar que a margem leste da Lagoa dos Patos seja mais susceptível a derrames de óleo.

5. Agradecimentos

A Agência Nacional do Petróleo pela bolsa concedida através do PRH-27.

6. Referências

- BLUMBERG, A., MELLOR, G. A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model. In Heaps, N., Editor. *Three-dimensional coastal ocean models*, v. 4, chap. 1, p. 1-16, American Geoph. Union Ed, 1987.
- BORDAS, M. P., CASALAS, A., SILVEIRA, A., GONÇALVES, M. Circulação e dispersão em sistemas costeiros e oceânicos. Caso da Lagoa dos Patos. *Technical Report instituto de Pesquisas hidraulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil*, 1984.
- DEFANT, A. . Physical Oceanography, v.01. Pergamon Press, New York, 1961.
- FERNANDES, E. H. L., MARÍÑO-TAPIA, I., MÖLLER, O. O., DYER, K. R.). The attenuation of tidal and subtidal oscillations in the Patos Lagoon estuary. *Ocean Dynamics*, 2004.
- HERZ, R. . Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos. *Universidade de São Paulo. Tese de doutorado*, 1977
- KJERFVE, B. . Comparative oceanography of coastal lagoons. In: Estuarine variability, Wolfe, D.A., (Ed.), pp. 63-81. Orlando, Florida: Academic Press, 1986.
- MÖLLER, O. O., LORENZZETI, J. A., STECH, J. L., MATA, M. M. . The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. *Continental Shelf Research*, v.16, p.335-351, 1996.
- MÖLLER, O. O., CASTAING, P., SALOMON, J. C., LAZURE, P. . The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of the Patos Lagoon. *Estuaries*, v.24(2), p. 275-289, 2001.
- REED, M., JOHANSEN, O., BRANDVIK, P. J., DALING, P., LEWIS, A., FIOCCO, R., MACKAY, D., PRENTKI, R. . Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art. *Spill Science & Technology Bulletin*, v.5, p.3-16, 1999.
- TOMAZELLI, L. J.. O regime de ventos e taxa de migração de dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas* v.20, p.18-26, 1993.
- VILLWOCK, J. A. e TOMAZELLI, L. J., . Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *CECO-UFRGS. Notas Técnicas*, v.8, p.1-45, 1995.