

Dinâmica sedimentar do Baixo estuário da Lagoa dos Patos e possíveis zonas de contaminação por HC.

Hugo Bastos de Oliveira¹ (FURG), Ivan Dias Soares²(FURG)

¹Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Setor de Oceanografia Física, Laboratório de Experimentação Numérica em Oceanografia Física, ocephugo@gmail.com

² Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Departamento de Física, Caixa Postal nº 474, CEP 96201-900, Rio Grande, RS, Brasil, dfsivan@furg.br

Atualmente uma das grandes preocupações do setor industrial (petroquímico e portuário), da gestão pública e da população é a contaminação dos solos e das águas por derivados de petróleo (hidrocarbonetos), assim como a preservação de habitats naturais e da biota.

Rio Grande, cidade localizada em uma área estuarina da Lagoa dos Patos, no extremo sul do Brasil, insere-se nesse contexto por apresentar um grande complexo portuário-industrial (Porto do Mercosul) e um terminal petroquímico de importância estratégica para a economia do estado do Rio Grande do Sul. Além disso, a Lagoa dos Patos é uma hidrovia natural que liga os dois terminais petroquímicos do estado, o terminal de Rio Grande e o terminal da Braskem em Porto Alegre. Por essa razão, o transporte de derivados de petróleo pelas águas da lagoa é bastante intenso, oferecendo risco eminente de contaminação do habitat e da água.

Este trabalho tem como objetivo principal fornecer uma ferramenta de manejo de potenciais contaminações por hidrocarbonetos. A ferramenta em questão é um modelo hidrosedimentar, numérico “3D” com transporte de sedimentos, ECOMSED, que é capaz de simular fenômenos de transporte, deposição e erosão de frações sedimentares agrupadas em coesivas(silte e argila) e não-coesivas(areia fina), composição do fundo e da coluna d’ água. Uma grade numérica do baixo estuário da Lagoa, já foi elaborada e simulações hidrodinâmicas estão em andamento para a utilização no modelo. O estudo representa um importante passo para a caracterização de fluxos na coluna d’ água, zonas de deposição e ressuspensão de sedimentos, e caracterização de zonas fontes e passíveis de contaminação por hidrocarbonetos.

modelo numérico-1, transporte de sedimentos-2, Lagoa dos Patos-3, contaminação por HPAs-4

1. INTRODUÇÃO

A Lagoa dos Patos localizada no Sul do Estado do Rio Grande do Sul, possui 10.227 km² de superfície, representando a maior área lagunar da América do Sul e a maior Lagoa do tipo “estrangulado” do mundo (Kjerfve, 1986) e com uma bacia de drenagem da ordem de 200.000 km² que drena grande parte do Estado do Rio Grande do Sul e Uruguai. Sua área estuarina está localizada na porção Sul do Estado, representando 10% da área lagunar total, e onde se localiza a cidade do Rio Grande, com população estimada em 200.000 habitantes e a presença de um grande complexo portuário (Porto do Mercosul) e industrial, principalmente fertilizantes, pescado, soja e petroquímico. A SPH (Superintendência de Portos e Hidrovias) destaca que a lagoa possui cursos navegáveis, denominado "Hidrovia Lagoa dos Patos", com extensão total de 258km, que liga em seus extremos a cidade do Rio Grande e Porto Alegre. Essa comunicação é de extrema importância pois possibilita a comunicação entre os dois principais portos e terminais petroquímicos do Estado.

Além disso, o estuário da Lagoa se caracteriza por ser uma zona de grande produção biológica, alta diversidade e de importante área de criação, reprodução e alimentação para diversos organismos incluindo grande parte dos peixes que ocorrem no litoral sul do Brasil. A mesma área também vem sofrendo ação antrópica desde o início do Século XVIII, onde se destaca a ocupação urbana, agricultura, pecuária, áreas industriais e portuárias. (Seeliger et al., 1998). Atualmente, o Ministério do Meio Ambiente, enquadra o estuário entre as 17 áreas da zona costeira do Brasil recomendadas para monitoramento ambiental além de especialistas considerarem este local como área de risco ambiental.

A contaminação de águas e solos, por petróleo e seus derivados vem merecendo cada vez mais atenção da sociedade. Os hidrocarbonetos presentes no petróleo compreendem classes de compostos orgânicos, como os alifáticos: alcanos, alcenos, alcinos, ciclo alcanos e aromáticos (Solomons, 1996) onde essa diversidade permite a indicação de possíveis fontes da contaminação, tanto por petróleo cru, quanto por seus subprodutos. Alguns estudos sobre impacto antrópico e contaminação por derivados de petróleo já foram realizados no estuário, principalmente em relação a concentração de HPAs no sedimento e estudos de ecotoxicologia (Baisch, 2000a; Baisch, 2000b; Zamboni, 2000), trabalhos mais recentes determinaram zonas de contaminação por HPAs (Reback, 2004; Fronza, 2006).

Os HPAs em condições ambientais apresentam alta afinidade de adsorção em superfícies, e frequentemente associados a partículas sólidas, portanto mais concentrados no material em suspensão e com tendência a sedimentar (Harrison et al, 1975; Wakeham et al, 1980; Germain e Langlois, 1988). De acordo com CNRC (1983) e Payne et al (1988) os sedimentos são os depositários ambientais finais para a maioria dos HPAs, sendo a sedimentação o principal mecanismo de eliminação. Por outro lado, a remobilização dos contaminantes devido a ressuspensão de sedimentos é um processo complexo, que se amplifica pela interação com o próprio material em suspensão presente na água. Esse fenômeno portanto constitui uma fonte importante de contaminantes, principalmente em áreas portuárias (dragagens), áreas rasas (ondas e ventos) e de alta hidrodinâmica (erosão) que causam liberação de sedimentos a coluna d' água.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é caracterizar a hidrodinâmica, o transporte de sedimentos e áreas de deposição/erosão do baixo estuário da Lagoa dos Patos, através de dois modelos numéricos POM e ECOMSED. Pretende-se também estimar zonas passíveis de contaminação por hidrocarbonetos a partir dos resultados dos modelos além de dar subsídios para o monitoramento e a gestão do estuário da Lagoa dos Patos no que tange as contaminações por derivados de Petróleo.

Este artigo irá discutir somente os resultados parciais do trabalho, obtidos nas simulações hidrodinâmicas.

2. METODOLOGIA

A área modelada é a porção estuarina da Lagoa dos Patos, a qual se estende desde a Ponta da Feitoria até a Barra da Lagoa. Esta área está representada por uma grade numérica, que está inserida em uma grade maior, que engloba toda a Lagoa dos Patos e uma parte da Região Oceânica adjacente. As principais forçantes do sistema são o vento e a descarga fluvial, que podem gerar diferentes intensidades de penetração ou expulsão da cunha salina. (Seeliger *et al.*, 1998, Moller *et al.*, 1984). As características sedimentares variam ao longo da Lagoa, com aumento de sedimentos finos com o aprofundamento dos canais (fração silte e argila) e aumento de sedimentos da fração areia próximos as margens, graças a ação das ondas que retiram os sedimentos mais finos. (Calliari, 1980).

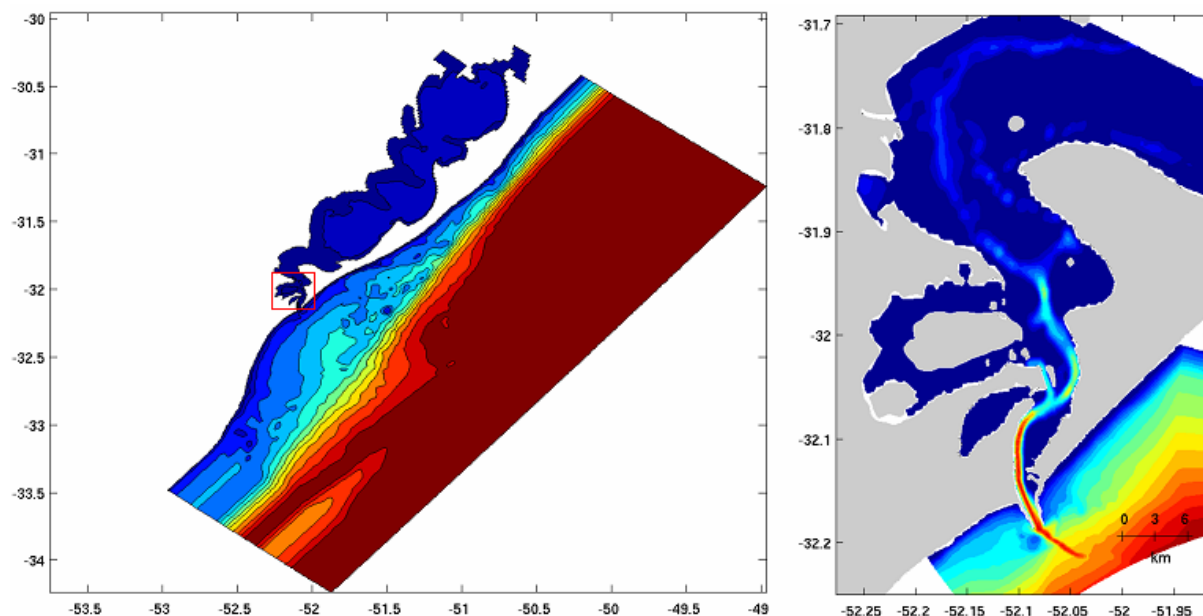


Figura 1. Batimetria da área de Estudo, em vermelho áreas mais profundas e azul áreas rasas; Grade maior da Lagoa, e em detalhe a grade menor do estuário respectivamente.

2.1 Descrição das Simulações

Para as simulações numéricas da circulação, foram elaboradas duas grades numéricas (diferenças finitas), a base sobre a qual a variação das correntes e das massas d' água são calculadas em função de diferentes forçantes (rios, marés e ventos), com a interpolação de dados batimétricos e geográficos da Lagoa para cada elemento de grade. As duas grades estão conectadas através da técnica de aninhamento de grade (grid nesting) "one way", que

permite troca de energia entre a grade maior e a grade menor, onde a grade menor se ajusta as condições da grade maior (Figura 1). Esta técnica foi utilizada porque um estudo numérico da circulação do estuário só consegue reproduzir as correntes com precisão se considerar toda a Lagoa e uma parte do Oceano, além de obter uma resolução maior na área desejada, o estuário da Lagoa, ao mesmo tempo que englobe toda a Lagoa e represente efeitos do vento nos gradientes de pressão (Empilhamento e Rebaixamento de nível da Lagoa e do Oceano). Ventos provenientes de nordeste causam o acúmulo das águas da laguna na porção sul, ao mesmo tempo q rebaixam o nível no oceano costeiro, ocasionando desníveis entre a Ponta da Feitoria e a Porção Sul do Estuário e correntes de vazão, enquanto que no caso de um vento de sudoeste, o sistema é inverso, ocorrendo correntes de enchente para o estuário.

Inicialmente as simulações numéricas com o POM foram realizadas entre o período de 01 de outubro de 1999 e 31 de maio de 2000, com um experimento barotrópico na grade maior, forçado com dados de ventos horários coletados na barra da lagoa (Figura 2), maré astronômica pelo modo interno do POM e componente barotrópica dos principais rios (vazão média de primavera/verão). Os dados obtidos nesta simulação foram armazenados durante 8 meses com intervalos de 1 hora, interpolados espacialmente para a grade menor, e utilizados durante os experimentos nesta na forma de condições de contorno ativas nas variáveis do modo externo e radiativas nas variáveis do modo interno, as quais permitem que os campos tridimensionais na simulação da grade menor se ajuste aos movimentos gerados na simulação da grade maior.

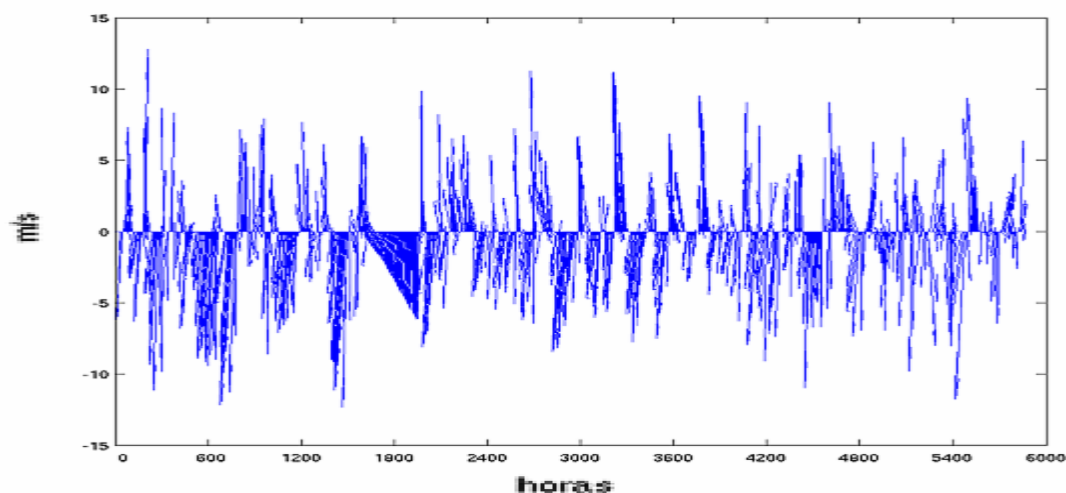


Figura 2. “Stick plot” com dados de vento horários coletados na estação dos práticos da Barra entre 01 de outubro de 1999 e 31 de maio de 2000.

2.2 Descrição dos Modelos

O modelo POM (Princeton Ocean Model), é um modelo tri-dimensional, construído a partir de discretização a diferenças finitas das equações primitivas do movimento e das equações da termodinâmica já amplamente utilizado em todo o mundo. O modelo utiliza coordenadas cartesianas na horizontal e coordenadas sigma na vertical, contendo um sub-modelo interno para cálculos de coeficientes de viscosidade turbulenta em movimentos de pequena escala, “sub-grid scale motions”, i.e menores que o tamanho da grade numérica, também conhecido como esquema de fechamento turbulento. Além disso, o POM utiliza a técnica de separação dos movimentos barotrópicos e baroclínicos, chamada de “mode-splitting”. Essa técnica permite que as equações dos movimentos barotrópicos, sejam resolvidas separadamente daquelas que representam os movimentos baroclínicos, que são computacionalmente mais pesadas, e em consequência mais lentas de serem resolvidas. O modelo também permite o uso de grades curvilíneas, elementos retangulares com tamanhos diferentes, que permite uma maior resolução espacial em determinadas áreas da grade e menor resolução nas demais. (Blumberg and Mellor, 1978)

O modelo ECOMSED (Estuary and Coastal Ocean Model with Sediment Transport), é um modelo baseado no POM, com algumas modificações realizadas para realizar a simulação do comportamento de sedimentos coesivos e não coesivos, em grande variedade de ambientes aquáticos, principalmente ambientes costeiros. Fenômenos como transporte e deposição para coesivos, diâmetros menores que 75µm (silte e argila), e não coesivos, diâmetros entre 75-500µm (areia fina a média) são resolvidos utilizando dados de um modelo hidrodinâmico. É importante citar que o transporte de partículas com diâmetros maiores que 500µm, ou seja, sedimentos mais grosseiros (areias grosseiras e cascalho) que se movimentam por transporte de fundo (“bed load”), não é considerado no modelo. Os sedimentos coesivos utilizam uma forma implícita para a velocidade de sedimentação, a partir da concentração de material na coluna d’ água e os efeitos do atrito, diferentemente das

partículas não-coesivas, que sedimentadas discretamente, sem interação com outras partículas.(HydroQual, 2002).

3. RESULTADOS e CONCLUSÃO

O experimento numérico na grade maior, que representando o modo barotrópico, foi capaz de reproduzir os eventos de empilhamento e rebaixamento do nível da Lagoa e do Oceano. Através do efeito do vento Local, as diferenças de nível entre a zona Norte da Lagoa e a zona sul foram representadas assim como as diferenças de nível entre estuário e o oceano, pelo efeito do Vento não-local também. Para ilustrar esse evento, foi escolhido 2 instantes de tempo distintos, onde o primeiro corresponde ao instante 1500, com vento de sudoeste, nível da lagoa alto ao norte, e empilhamento de água na região costeira. No segundo, correspondente ao instante 3300, o vento estava de nordeste, o nível da lagoa estava alto ao sul da lagoa, enquanto que na região costeira o nível era rebaixado (Figura 3).

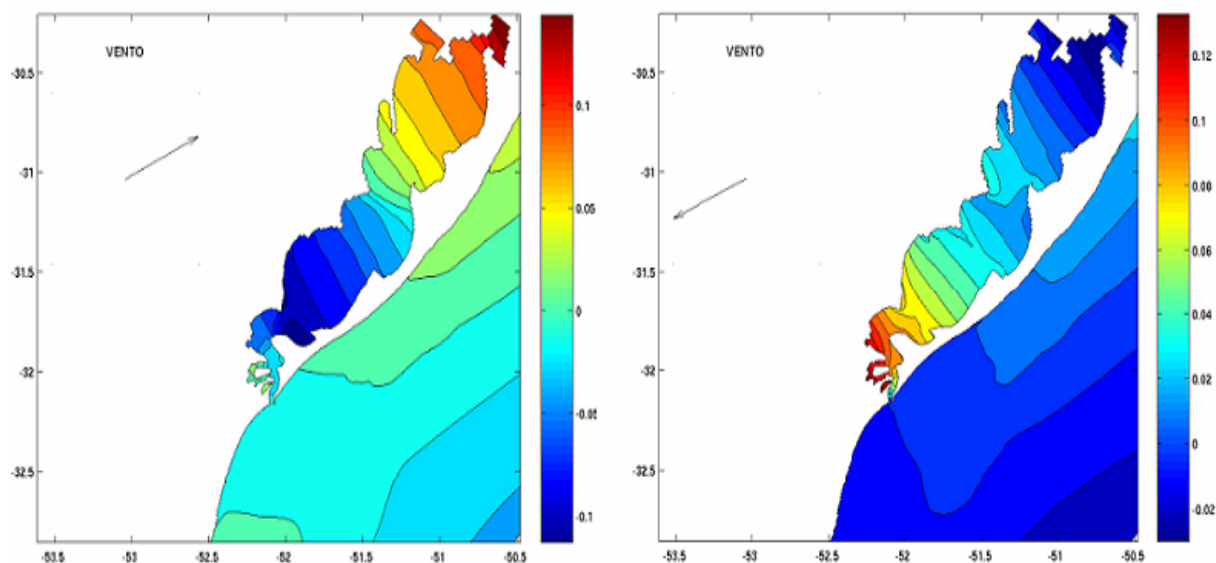


Figura 3. Elevação do nível da superfície do mar, na hora 1500 e 3300, na grade maior, quando o vento era de Sudoeste e Nordeste respectivamente. Em vermelho aparecem níveis mais altos. Observe a diferença de nível entre a zona do estuário e o oceano.

Experimentos realizados na grade menor, foram produzidos a partir dos dados de nível e velocidades do experimento anterior, inicializado no modo "hot start", através da circulação gerada na grade maior, de modo tridimensional pelo mesmo período de tempo da primeira simulação. O experimento consegue reproduzir a circulação estuarina local, intrusão da cunha salina e sua eventual expulsão, com séries de salinidade com fortes contribuições de oscilações de curto período (marés), na Barra da Lagoa e locais próximos, além de oscilações de longo período (ventos), com evidência mais marcada a jusante (Figura 4). Com relação às velocidades, os maiores valores ocorreram na Barra da Lagoa, na camada de superfície, com velocidades máximas de vazante em torno de 0,75 m/s e de 0,20 m/s em superfície e 0,35 m/s na camada de fundo em regime de enchente (intrusão da cunha salina). No interior do estuário, as velocidades são bem menores, em torno dos 0,15 m/s e fortemente condicionadas a topografia. O modelo foi calibrado através de uma comparação com dados coletados *in situ*, da estação dos práticos da Barra de Rio Grande, que em um período escolhido entre as horas 4850 e 5130, o erro durante o período foi de 4%.

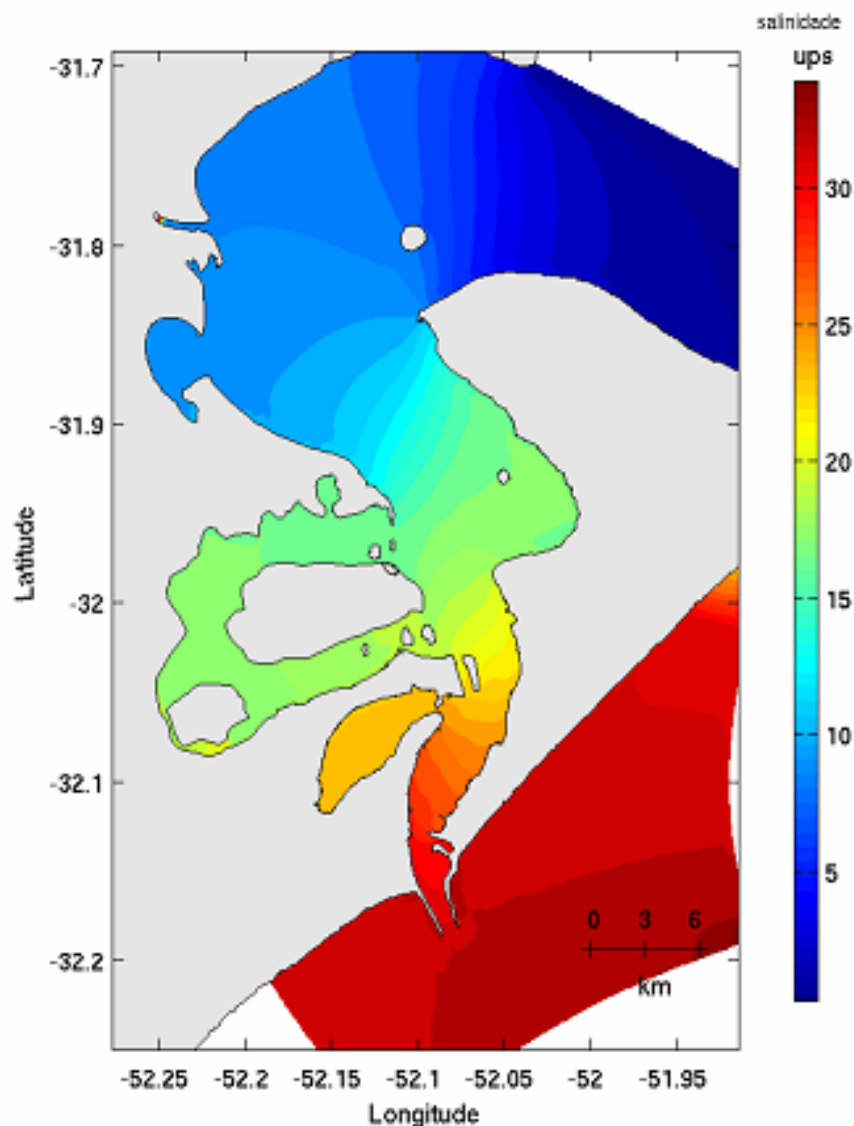


Figura 4. Salinidade na camada de superfície durante regime de enchente no instante 1576 do experimento na grade menor.

A realização desse experimento e sua análise, é de vital importância para posteriores simulações com o modelo ECOMSED e seu eventual sucesso na reprodução e precisão de eventos relacionados ao material em suspensão e a composição do fundo.

Os resultados das simulações hidrodinâmicas serão futuramente incorporados no modelo de transporte de sedimentos, através da incorporação das velocidades tridimensionais e de nível, para realização do transporte de frações coesivas e não-coesivas no estuário. A hidrodinâmica está intimamente ligada ao destino dos sedimentos, assim como com a dispersão e concentração de poluentes, que podem estar associados tanto a água em si, quanto adsorvidos no material que é transportado pelas correntes. Em geral os hidrocarbonetos, principalmente HPAs que possuem características hidrofóbicas, se concentram no sedimento, e áreas de exportação de material, assim como zonas de acúmulo podem estar relacionadas com futuras e atuais contaminações. Trabalhos futuros pretendem utilizar esta ferramenta para subsidiar o manejo e a gestão desta área, a partir de dados gerados pelo modelo.

O modelo sedimentar atualmente está sendo implementado no LENOC(Laboratório de Experimentação Numérica em Oceanografia) com este propósito, além da elaboração de uma batimetria mais detalhada, com composição de fundo variável espacialmente a partir de dados coletados e da literatura disponível, afim de representar com maior fidelidade os fenômenos locais e caracterizar o ambiente. O conhecimento do transporte de material em suspensão na zona do estuário, assim como áreas de erosão e deposição de material, é importante devido as atividades que são realizadas nesta área, com o sedimento constituindo um compartimento importante em termos de contaminação, pois concentra grande parte de contaminantes, e como um problema para atividades humanas, desde captação de água, a assoreamentos e erosão (dragagens).

4. AGRADECIMENTOS

Gostaria de Agradecer ao Laboratório de Experimentação Numérica em Oceanografia (LENOC-LOCFIS) por permitir e ajudar na realização destes experimentos e ao Programa de Recursos Humanos (PRH-27) e a Agência Nacional de Petróleo por estar financiando este trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- Baisch, P. (2000a). Paramêtros da Qualidade das Águas e dos Sedimentos do Canal do Super-Porto da Cidade de Rio Grande. **Relatório de Impacto Ambiental. Derrame de Óleo do Terminal de Petróleo da Petrobrás – Porto de Rio Grande**. Petrobrás-FURG, 30 p.
- Baisch, P. (2000b). Estudos dos Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos. **Caracterização da Qualidade dos Sedimentos da Área de Dragagem do Porto da Cidade de Rio Grande**. Porto Novo, Canal de Acesso, SuperPorto e Molhes.
- Blumberg, A.F., and G.L.Mellor (1978), A coastal ocean numerical model, in **Mathematical Modelling of Estuarine Physics**, Proc. Int. Symp., Hamburg, Aug. 1978, edited by J. Sunderman and K.-P. Holtz, pp.203-214, *Springer-Verlag*, Berlin,1980.
- Calliari, L.J. (1980). **Aspectos Sedimentológicos e Ambientais na Região Esuarial da Lagoa dos Patos**. Porto Alegre. 190p. (Dissertação de Mestrado, UFRGS)
- CNRC, (1983). Conseil National de de recherches Canada. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le milieu aquatique : formation, source, devenir et efeets sur le biote. Comité associé du Conseil national de recherches sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement.CNRC 18981,Ottawa,Ont.,209 p.
- Fronza L. (2006). **Capacidade de Liberação de Hidrocarbonetos dos sedimentos em áreas contaminadas do estuário da Lagoa dos Patos - RS**. Pós Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, FURG - RioGrande, 126 p.,Dissertação de Mestrado.
- Germain, A., Langlois, C. (1988). Contamination of water and suspended sediments of the St. Lawrence River by organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and other organic contaminants. **Water quality research journal of Canada [WATER POLLUT. RE. J. CAN]**. Vol 223, no.4, pp. 602-614.
- Harrison, R.M., Perry, R., Wellings, R.A. 1975. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Raw, Potable and Waste Waters. **Water Res.**,9 :331-346.
- HydroQual, Inc. (2002). **A primer for ECOMSED**, Version 1.3, User Manual.One Lethbridge Plaza, Mahwah, NJ – USA. 180 p.
- Kjerfve, B. (1986). **Comparative oceanographic of coastal lagoons**. In: Wolfe, D.A. (ed.). Estuarine variability. New York: Academic Press,63-81.
- Moller, O.O.Jr., Paim, P.S.G., Hartmann,C. 1984. Material em suspensão na região estuarina da Laguna dos Patos, RS, Brasil, **In: Semin.Pesq.Laguna dos Patos**, 1. Porto Alegre, CIRM. p. 85-90.
- Payne, J.F., Kiceniuk J., Fancey L.L., Williams U., Fletcher G.I, Rahimtula A. E Fowler B. 1988. What is a Safe Level of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Fish: Subchronic Toxicity Study on Winter Flounder (*Pseudopleuronectes americanus*). Can. **J. Fish. Aquat. Sci.**,45 : 1983-1993.
- Reback, M. D. G. (2004). **Contribuição de Efluentes Urbano-industriais na Contaminação por HPAs dos sedimentos estuarinos da Lagoa dos Patos (Rio Grande, RS)**.Pós Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, FURG - Rio Grande, 116 p., Dissertação de Mestrado.
- Seeliger, U., Odebrecht, C., Castello, C. (ed.). (1998). **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo Sul do Brasil**. Rio Grande: Ecoscientia, 326 p.
- Solomons, T.W.G., 1996. **Química Orgânica**. Ed. Filiada, Rio de Janeiro.
- Wakeham, S.G., Schaffer, C., Giger, W. 1980. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in recent Lake Sediments – I. Compounds having Anthropogenic Origins. **Geochim. Cosmochim. Acta.**, 44 : 403-413.
- Zamboni, A. J. (2000). **Caracterização ecotoxicológica do estuário da Lagoa dos Patos no entrono de Rio Grande, RS: Fundamentos e técnicas**.Tese de Doutorado. São Carlos: Universidade de São Paulo, 185 p.

The Sediment Dynamics on the Low Estuary of Patos Lagoon and possible zones of contamination for HC.

One of the greatest concerns of the petrochemical industries, the population and the public administration of the cities located in estuarine areas is the pollution by oil (hydro-carbons). Rio Grande, RS, Brazil, is one of these cities, not only because it hosts the largest sea port in southern Brazil, but also because it is located in the southern end of the Patos Lagoon, the largest coastal Lagoon in Brazil, with economical, social and environmental importance. Moreover, the Patos Lagoon, is a natural waterway that binds the two petrochemical terminals of the state, the Terminal of Rio Grande and the Terminal Braskem in Porto Alegre. Therefore, the transport of oil in the waters of the lagoon is intense, offering eminent risk of accidents and pollution by oil spillage. This work is aimed to supply a tool for handling the potential contaminations by hydro-carbons. The tool in question is a numerical model, with hydrodynamic and sediment modules, ECOMSED, that is capable to simulate transport, deposition and erosion of sedimentary fractions grouped in coesives (silt and clay), and non-coesives (fine sands). A numerical grid of the estuary, is already elaborated and hydrodynamics simulations are in progress. This study represents an important step for the characterization of sediments flows in water column, deposition and source zones of residual hydro-carbons.

numerical model-1, sediment transport-2, Lagoa dos Patos-3, HPAs pollution-4

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.