



IBP1110_06

VULNERABILIDADE DA LAGOA DOS PATOS/RS A DERRAMES DE ÓLEO: SUBSÍDIO PARA PLANOS DE CONTINGÊNCIA

Carvalho, L.¹; Lacerda, C.²; Piovesan, R.B.³; Griep, G.H.⁴; Soares, I.D.⁵

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, 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, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

Anualmente cerca de um milhão de toneladas de derivados de petróleo são transportados pela Lagoa dos Patos, entre o complexo petrolífero de Rio Grande/RS e o Pólo Petroquímico de Triunfo/RS. Situa-se na planície costeira do RS, possui direção NE-SW e está entre as latitudes 30°30' e 32°12'S e longitudes 050°30' e 052°32'W. Destaca-se pela sua importância ecológica e socioeconômica (atividades portuárias, industriais, agrícolas, pesqueiras e turísticas). Este trabalho pretende determinar as áreas de maior vulnerabilidade a derrames de óleo da Lagoa dos Patos e algumas estratégias de contingência. Áreas de maior vulnerabilidade a derrames de óleo e áreas prioritárias de preservação podem ser determinadas unindo dados de susceptibilidade e sensibilidade ambiental. Como forma de avaliar locais mais susceptíveis a derrames de óleo se utiliza de modelos numéricos. Para este trabalho utilizou-se um modelo do tipo lagrangeano que é baseado no método de Runge-Kutha para calcular a advecção de uma mancha e na teoria de Fay para calcular o espalhamento. A sensibilidade ambiental foi determinada a partir da metodologia proposta pelo MMA para a criação de Cartas SAO. A Costa Leste da Lagoa dos Patos é a área de maior susceptibilidade devido à predominância de ventos NE na região.

Abstract

The Patos Lagoon is located in the Brazilian State of Rio Grande do Sul. It is classified as a choked coastal lagoon, and has a narrow channel connecting it to the Atlantic Ocean. This lagoon is the largest freshwater body of that State, and has economic and ecological importance. Almost one million tons of oil sub-products are transported through this lagoon. By combining environment sensibility maps with numerical model, it is possible to determine which areas are more susceptible to oil spills. The aim of this paper is to determine the most susceptible areas to an oil spill in Patos Lagoon. In order to achieve this objective we used an oil spill model, which make use of Runge-Kutta method to calculate the advection of a oil slick, and environment sensibility maps produced with the methodology proposed by the Brazilian Environment Ministry. Areas in the East border of lagoon are classified as more susceptible.

1. Introdução

Na atualidade diversas ferramentas são utilizadas na prevenção e contingência de acidentes envolvendo a liberação de óleo e seus derivados no meio ambiente. Elas podem ser utilizadas isoladamente ou de forma integrada. Como exemplo, pode-se integrar as cartas SAO e modelos numéricos. As cartas SAO constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em caso de derrames de óleo. Englobam três tipos de informações principais: sensibilidade dos ecossistemas costeiros, recursos

¹ Oceanóloga – Fundação Universidade Federal do Rio Grande

² Acadêmica de Oceanologia – Fundação Universidade Federal do Rio Grande

³ Oceanólogo, mestrando em Oceanografia Física - Fundação Universidade Federal do Rio Grande

⁴ Oceanólogo - Fundação Universidade Federal do Rio Grande

⁵ Doutor em Oceanografia e Meteorologia - Fundação Universidade Federal do Rio Grande

biológicos e usos humanos dos espaços e recursos. Apesar de determinarem os locais mais sensíveis econômica e ambientalmente, não indicam os locais mais propensos a serem atingidos por uma mancha de óleo em caso de acidentes. Como forma de atender esta necessidade, uma ferramenta muito utilizada é a modelagem numérica. Os modelos numéricos são capazes de prever com relativa precisão o deslocamento de manchas de óleo e determinar os locais atingidos por elas. Eles levam em consideração desde a simples advecção da mancha pelas correntes e vento, até o espalhamento e processos mais complexos como a evaporação, solubilização e emulsificação. Este trabalho tem como objetivo determinar as áreas de maior vulnerabilidade a derrames de óleo na Lagoa dos Patos, através dos métodos acima citados.

A Lagoa dos Patos (Figura 01) é a maior laguna do tipo estrangulada do mundo (Kjerfve, 1986). É uma importante hidrovia para o Estado do Rio Grande do Sul e a navegação é realizada em toda a sua extensão, restrita para embarcações fluviomarítimas de até 5,10m de calado, adaptadas para navegação em águas interiores. Por ela são escoados uma infinidade de produtos, desde celulose até derivados de petróleo. Os derivados de petróleo são transportados de Rio Grande até o Pólo Petroquímico de Triunfo, situado na região metropolitana de Porto Alegre. Calcula-se que, anualmente 1 milhão de toneladas destes materiais são transportados via lagunar (Carlos Pinho Alimena, com. pess.). Apesar do constante progresso da tecnologia de segurança operacional na exploração e no transporte de petróleo, o risco de acidentes ainda existe e os danos decorrentes, que podem ser ocasionados tanto pelo derrame quanto pelos procedimentos de limpeza, são, ainda, uma ameaça às áreas costeiras em todo o mundo (MMA, 2002).

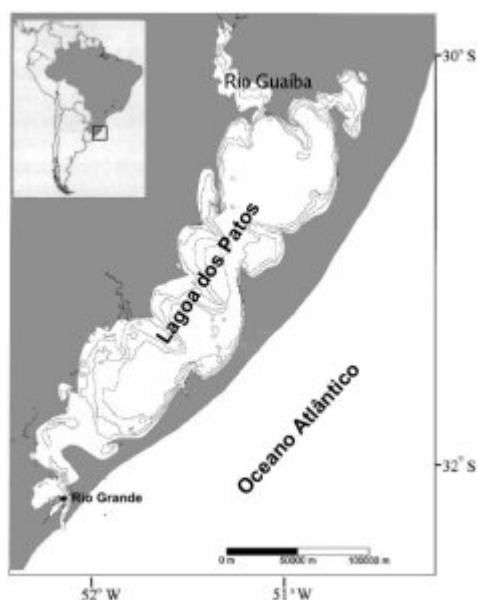


Figura 1. Lagoa dos Patos.

A Lagoa dos Patos pode ser dividida em cinco unidades biológicas, representadas pelo Rio Guaíba, Enseada de Tapes, Lagoa do Casamento, o corpo central lagunar e o estuário. Os principais ambientes encontrados na planície costeira da Lagoa dos Patos são banhados, matas de restinga, matas nativas, campos inundáveis, pequenas lagoas e arroios. Por serem formados em terras planas, adequaram-se mais à silvicultura e à agricultura e por estas atividades, são muito modificados. A pecuária extensiva também é uma atividade muito praticada principalmente na área de campos inundáveis, causando modificações no padrão estrutural e na composição florística. O turismo ocorre predominantemente na margem oeste da laguna aonde existe uma série de balneários tranquilos e freqüentados intensamente no verão. Já na margem leste o turismo ocorre em menor escala devido à dificuldade de acesso a esta região (Guia 4 Rodas, 2004).

Em lagunas do tipo estrangulada a maré astronômica tem pouca importância e a circulação destas é influenciada principalmente por vento e descarga fluvial. Segundo Möller *et al* (1996), a principal forçante da circulação da Lagoa dos Patos é o vento, atuando de duas formas: o efeito local, que corresponde à circulação induzida pelo estresse do vento sobre a lagoa; e o não local, que corresponde à elevação/rebaixamento do nível do mar devido ao transporte de Ekman. Ventos de NE em seu efeito local provocam um rebaixamento do nível da água na parte norte da laguna, e uma elevação na parte sul. O mesmo vento em seu efeito não-local, devido ao transporte de Ekman, transporta água para mar aberto e rebaixa o nível na costa. O resultado destes dois efeitos é a geração de um gradiente de pressão barotrópico que força o sistema a exportar água para o oceano, através do estuário. Em condições de vento SW, a

laguna sofre um rebaixamento de seu nível em sua porção sul, e uma elevação na porção norte (efeito local). No oceano o vento SW causa um acúmulo de água na junto às costa. A composição destes dois efeitos produz um gradiente de pressão, que transporta água do oceano para o interior da laguna (Möller *et al.*, 2001). A descarga fluvial é outro importante fator na circulação da lagoa, esta atua modulando os fluxos de entrada e saída de água na lagoa, devido à ação do vento. Aumentando o fluxo de saída e diminuindo ou até invertendo o fluxo de entrada. O efeito da maré na circulação tem sua importância restrita à região do baixo estuário, nesta região o sinal de maré parece contribuir fortemente nas taxas de trocas de propriedades entre a lagoa e o oceano.

O regime de ventos da região da Lagoa dos Patos é influenciado por dois importantes sistemas: O Anti-ciclone do Atlântico, que consiste num sistema de alta pressão, devido a sua localização (em média 30° S) gera ventos de NE, mais intensos no verão quando o seu centro encontra-se mais ao sul; e os Anti-ciclones móveis de origem polar, que são formados em altas latitudes e se deslocam para latitudes menores, geram ventos de SW, SE e S. A zona compreendida entre estes dois sistemas de alta pressão constitui uma descontinuidade para qual convergem ventos dos dois sistemas, também chamada de frente fria, é uma zona de tempo instável e chuvoso. Em função destes dois sistemas os ventos predominantes na região são os de NE e os do quadrante sul. Segundo Tomazelli (1993), os ventos de NE corresponderiam a 23% da frequência total e os do quadrante sul. Ventos menos predominantes foram os de W e NW.

Há uma relevante diferença entre as duas margens da Lagoa dos Patos, onde na margem leste a granulometria é mais fina que na margem oeste. A frequência de ondas na margem leste é menor que na margem oeste, porém as ondas de tempestade incidem na margem leste devido ao padrão de ventos na região, que quando ocorre à entrada de sistemas frontais, que são de S, SE e SW, aumentam a intensidade das ondas que incidem na margem leste (Toldo Jr, 1994).

2. Metodologia

2.1. Cartas SAO

Para a confecção das Cartas SAO foi utilizada metodologia proposta pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002), onde é necessária a compilação de informações sobre a sensibilidade da costa, recursos biológicos e aspectos socioeconômicos, descritos a seguir.

2.1.1. Sensibilidade da costa

A sensibilidade da costa é obtida a partir de pré-análise de mapas topográficos, cartas náuticas, imagens de satélite, fotografias aéreas e saídas de campo. As costas são classificadas através de um Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) que classifica a área de acordo com o grau de exposição à energia de ondas e marés, declividade do litoral, tipo de substrato, produtividade e sensibilidade biológica. Por se tratar de um sistema lagunar, alguns locais possuem características que não estão contempladas na metodologia supracitada. Para estes locais utiliza-se o ISL proposto pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2002).

2.1.2. Aspectos Biológicos

O levantamento dos recursos biológicos leva em consideração fauna e flora sensíveis ao óleo e seus derivados, com informação em nível de espécie. Em áreas onde há nidificação, alimentação, reprodução, berçário, áreas de trânsito e rotas de migração.

2.1.3. Recursos socioeconômicos

Estes dados incluem aquelas atividades que podem ser prejudicadas em caso de sinistros envolvendo óleo e seus derivados, tais como: pesca, aquicultura, turismo, lazer, entre outras.

2.2. Modelagem Numérica

Para os experimentos de deriva de óleo, foram utilizados dois modelos. Um hidrodinâmico, responsável por fornecer as bases hidrodinâmicas, e outro de deriva de óleo.

2.2.1. Modelagem Hidrodinâmica

Para a geração das bases hidrodinâmicas, foi utilizado o modelo hidrodinâmico da Universidade de Princeton (POM). O POM (Blumberg e Mellor, 1987) é largamente utilizado para a modelagem de regiões lagunares, costeiras e oceânicas. É um modelo tridimensional, de diferenças finitas e superfície livre. Utiliza coordenadas sigma e um esquema de fechamento turbulento, 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.

A grade numérica empregada nos experimentos hidrodinâmicos, engloba o Rio Guaíba, Lagoa do Casamento, Lagoa dos Patos e uma faixa costeira com aproximadamente 50 km de largura. Ela possui 150 x 450 elementos, com tamanho variando de 1000 x 1000 m, na região Norte da Lagoa, a 100 x 100 m na região do estuário.

Duas bases hidrodinâmicas foram geradas, uma com vento Nordeste (NE) e outra com vento Sudoeste (SW). Nas duas foi imposta uma descarga de rio da cabeceira do Rio Guaíba, com uma vazão de 1000 m³/s e intensidade do vento média de 4 m/s. Os dados hidrodinâmicos foram salvos com intervalo de uma hora.

2.2.2. Modelagem de Deriva de Óleo

Para a modelagem de deriva foi utilizado um modelo desenvolvido no Laboratório de Experimentação Numérica em Oceanografia da FURG. Neste modelo a mancha de óleo é representada por um número finito de partículas, cada partícula possui uma quantidade de óleo associada a ela, e suas posições são calculadas forma lagrangeana, utilizando-se o método de Runge-Kutta.

Runge-Kutta é um método de quarta ordem, na qual são utilizados as velocidades em quatro passos de tempo diferentes e é melhor descrito em Martinez e Flores-Tovar (1999).

Três velocidades são consideradas no cálculo da posição: a da água, que é gerada pelo modelo hidrodinâmico; a do vento, que deve ser 3% da utilizada para forçar o modelo hidrodinâmico e a de espalhamento. A velocidade de espalhamento leva em consideração a diferença da altura da mancha em um elemento de grade e seu elemento vizinho, e um coeficiente de espalhamento. O coeficiente de espalhamento é calculado baseado na teoria de Fay para a fase gravídico-viscosa (ver Fay, 1969). Para a utilização do modelo de deriva, os dados de corrente gerados pelo modelo hidrodinâmico foram interpolados para uma nova grade. Esta grade possui 1000 x 1000 elementos com um tamanho de 152 x 215 m.

Foram escolhidos três pontos aleatórios de derrame, um na porção sul da lagoa, outro na porção norte e um último entre os dois. Experimentos com vento Nordeste e Sudoeste foram realizados considerando os três pontos de derrame, totalizando seis experimentos. Em cada experimento foi simulado um derrame contínuo com duração de 24 horas, com uma vazão de 100 m³/hora.

3. Resultados e Discussão

As unidades ambientais encontradas nas margens da Lagoa dos Patos e respectivos ISL estão listados na Tabela 1.

Tabela 01: Unidades Ambientais e respectivos ISL

Unidades Ambientais	ISL
Praias Arenosas (Fig. 2)	4
Promontórios Graníticos	8
Banhados e Marismas	10
Campos Litorâneos	10
Mata de Restinga (Fig. 3)	10
Mata Atlântica	10
Banhados Vegetados	10 D

As unidades ambientais citadas na Tabela 01 são encontradas em ambas as margens lagunares. O que realmente difere uma da outra é a granulometria das praias, a profundidade próxima à costa, o acesso por terra e o turismo.

A margem Oeste apresenta menor profundidade e maior granulometria. Seus pontais arenosos são mais extensos, o que torna a navegação próxima à margem muito difícil. Porém, o acesso por terra é mais viável, por esta ser a costa mais populosa. Há três centros urbanos margeando a laguna nesta margem: São Lourenço do Sul, Tapes e Arambaré, que possuem importantes atividades turísticas durante o verão. Outra atividade econômica de grande importância é a rizicultura, que se abastece da água da laguna.



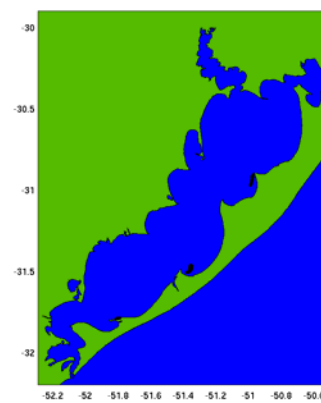
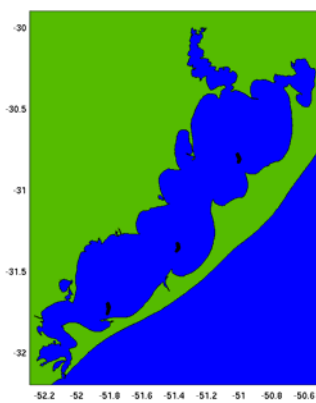
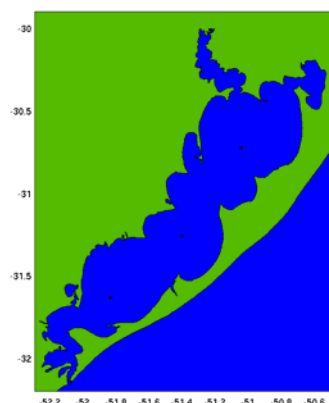
Figura 2 e 3. Exemplos de ambientes encontrados na Lagoa dos Patos, praia arenosa e mata de restinga, respectivamente.

Apesar das características ambientais das duas margens serem parecidas, na costa Leste, não há centros urbanos margeando a laguna, o que torna o acesso por terra mais complicado. A maior parte da região é composta por fazendas de gado, não apresentando atividades turísticas muito desenvolvidas.

Também é importante destacar como área prioritária de preservação da costa Oeste, a região do Delta do Rio Camaquã, que está em processo de se tornar uma Unidade de Conservação, e ao Norte da Lagoa dos Patos, o Parque Estadual de Itapuã, com 1.535 hectares.

O modelo hidrodinâmico respondeu como o esperado às forçantes impostas. Em condições de vento NE houve rebaixamento na porção Norte da laguna, elevação na porção Sul e rebaixamento do oceano na zona costeira, com fluxo de vazante na região do estuário. Em condições de vento SW houve elevação ao Norte, rebaixamento ao Sul e elevação do oceano, com fluxo de enchente no estuário. Estes resultados observados são condizentes com Möller *et al.* (2001), que descreve a circulação induzida por vento da laguna.

Nas figuras 4,5 e 6 temos os resultados dos três experimentos com o modelo de deriva de óleo em condições de vento Nordeste. Três momentos são apresentados: após uma hora do derrame, após 48 horas e após 96 horas. Em todos os experimentos a mancha teve um deslocamento em direção a margem Leste da laguna, atingindo esta em cerca de 96 horas após o início do derrame.



Figuras 4,5 e 6. Posição das manchas de óleo, com vento NE, após 1, 48 e 96 horas respectivamente.

Nas figuras 7,8 e 9 apresentamos os resultados dos experimentos com vento SW, nos mesmos pontos e momentos. Nesta situação a costa Oeste da laguna é atingida em todas as simulações.

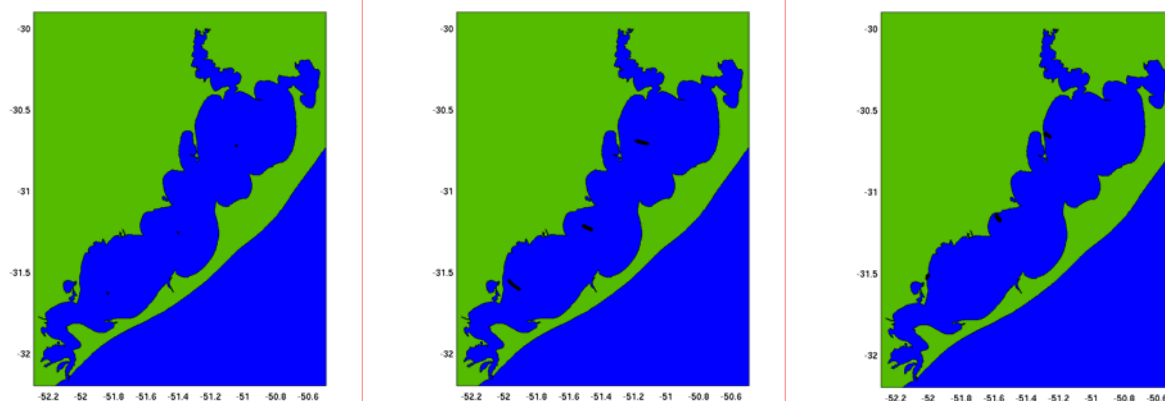


Figura 7, 8 e 9. Posição das manchas de óleo, com vento SW, após 1, 48 e 96 horas respectivamente.

4. Conclusões

Devido ao regime de ventos da região apresentar uma predominância de ventos de NE, espera-se que a costa Leste da laguna seja mais susceptível a derrames de óleo, independente da localização do acidente. A costa Oeste da laguna estaria mais susceptível durante o inverno, quando a frequência dos ventos de quadrante Sul aumenta.

A Lagoa dos Patos pode ser classificada como um ambiente protegido, pois permanece calma a maior parte do ano, com energia moderada, exceto em eventos de tempestade e forte ventos, quando são geradas ondas de média energia e curto período. Por estas características, caso haja um derrame de óleo ou derivados na área, o tempo de permanência na laguna pode ser grande e, portanto, os impactos causados por estes compostos podem ser extremamente prejudiciais à biota e economia locais.

Em caso de acidentes, é possível utilizar um automóvel, de preferência do tipo *off road*, levando um barco de reboque, indo para um local estratégico na margem da Lagoa. Desse lugar poderiam ser feitas excursões de médio alcance até locais mais afastados. Entretanto, fica um ALERTA: a navegação deve ocorrer com o tempo bom e não devem ser usados barcos ou lanchas rígidos, com a borda próxima à água, como a maioria das lanchas pequenas e os barcos de alumínio. Basta uma única onda, um pouco maior, para encher de água a embarcação e esta soçobrar. Mais eficaz e seguro é um barco inflável que, mesmo virando, não perde a flutuação. (Knippling, 2002)

5. Agradecimentos

A Agência Nacional do Petróleo pelo financiamento.

6. Referências

- ALIMENA, C. Gerente da Navegação Guarita, RS. Comunicação Pessoal. 2005.
- ANCONA, C.M. Variação da Biomassa (Clorofila A) e dos Grupos de Fitoplânctons, ao Longo de um ano na Lagoa dos Patos – RS. 2002.
- BLUMBERG, A. F., MELLOR, G. L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, In Three-Dimensional Coastal Ocean Models. N. S. Heaps (Ed.), 1-16, American Geophysical Union, Washington, DC, 1987.
- FAY, J.A. The Spread of Oil Slick on a Calm Sea. In: *Oil on the Sea*, (Hoult, D. P., ed), pp. 53-63, Plenum Press, NY., 1969.
- GARCIA-MARTÍNEZ, R., FLORES-TOVAR, H. Computer Modeling of Oil SIPI Trajectories with a High Accuracy Method. *SIPI Science & Technology Bulletin*, v. 5, n. 5/6, pp. 323-330, 1999.
- GUIA 4 RODAS. Guia 4 Rodas de Praias, Ed. Abril, 226pp., 2004.
- KJERFVE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: *Estuarine variability*. Wolfe DA (ed), Academia Press, Orlando, Floarida, pp. 63-81, 1986.

- KNIPLING, G. O Guaíba e a Lagoa dos Patos. 176 p. 3ª Edição. Gráfica Editora Pallotti. 2002.
- MMA. Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo. Ministério do Meio Ambiente, 2002.
- MÖLLER, O.O., LORENZZETTI, 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 Patos Lagoon. *Estuaries*, v. 24, p. 275-289.2001.
- NOAA. Environment Sensitivity Index. *National Oceanic and Atmospheric Administration*, 79 p., Seattle, Washington, 2002.
- TOLDO JR, E.E.. Sedimentação, Predição do Padrão de Ondas e Dinâmica Sedimentar da Anteparaia e Zona de Surfe dos Sistema Lagunar da Lagoa dos Patos, RS. Tese de Doutorado. CECO. Instituto de Geociências, UFRGS. 1994
- TOMAZELLI, L.J.O.. O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas, Porto Alegre*, v. 20, p. 18-26, 1993.f