



Imagens de Alta Resolução para Reconhecimento da Susceptibilidade dos Recursos Socioeconômicos à Ameaça de Derrame de Petróleo no Complexo Portuário Itaqui-Bacanga, Maranhão, Brasil *

High Resolution Images for Recognition of the Susceptibility of Social Economic Resources to Oil Spill in the Itaqui-Bacanga Port Complex, Maranhão, Brazil

Milena Marília Nogueira de Andrade ¹, Pedro Walfir M. de Souza-Filho ^{1,2}, Claudio Fabian Szlafsztein ³

RESUMO

A zona costeira possui grande importância em termos de serviços e ocupações humanas. Nesse contexto, na Baía de São Marcos foi instalado o Porto de Itaqui, o segundo maior em calado no mundo, situado na região de Itaqui-Bacanga, município de São Luis, Estado do Maranhão. Por sua intensa atividade portuária, há ameaça de derramamentos de petróleo e derivados, que tem ocorrido mais frequentemente em função de procedimentos de exploração, limpeza, transporte e estocagem nas mediações do complexo portuário. Nestas áreas, as ameaças relacionadas com o derramamento de óleo, assim como os recursos naturais e as atividades socioeconômicas ameaçadas precisam ser mapeadas a fim de se prevenir e mitigar qualquer tipo de problema relacionado com o derramamento de óleo. Para mapear estas informações foram utilizadas imagens do sensor de alta resolução Ikonos que permitiram identificar com precisão quais são as atividades humanas desenvolvidas nos ambientes costeiros dominados por processos de maré, além de apontar os fatores de ameaça inseridos no contexto portuário de Itaqui-Bacanga.

Palavras-Chave: derramamento de petróleo, complexo portuário, Amazônia Oriental.

1 Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Av. Augusto Correa 1, Cidade Universitária, CP. 8608, 66075-110, Belém, Pará, Brasil. Fone: 55 91 32018009. E-mail: milenamaria@yahoo.com.br (Corresponding author).

2 Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Av. Augusto Correa 1, Cidade Universitária, CP. 8608, 66075-110, Belém, Pará, Brasil. Fone: 55 91 32018009. E-mail: walfir@ufpa.br.

3 Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia e Geoquímica, Av. Augusto Correa 1, Cidade Universitária, CP. 8608, 66075-110, Belém, Pará, Brasil. Fone: 55 91 32017426. E-mail: iosele@ufpa.br.

ABSTRACT

The coastal zone presents a great importance in terms of service and human activities. In this context, it was built a port complex in the São Marcos Bay, the second largest in depth in the world, located in the Itaqui-Bacanga region, in the São Luís city, State of Maranhão. In response to intense port activity, there is threat related to oil spills, which have being often occurred due to procedures of exploration, cleaning, transport and storage around the port complex. In port areas, as threats related to oil spill as natural resources and social economic activities need to be mapped to prevent and mitigate any kind of problem associated with oil spill. To map this information were used high resolution Ikonos images, which allowed identifying with precision what are human activities carried out in the coastal environments dominated by tide processes. Furthermore, it was possible to recognize the threat factors inserted in the Itaqui-Bacanga port complex.

Keywords: oil spill, port complex, Eastern Amazon, Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira tem sido ao longo dos tempos um espaço bastante ocupado devido, entre outras, às facilidades de transporte marítimo, constituindo-se em, segundo uma perspectiva histórica, uma das portas de entrada de um país. No Brasil, a existência de portos naturais, como estuários e baías, foi determinante para o aparecimento dos primeiros núcleos populacionais e importantes zonas portuárias (Araújo et al., 2007).

Na zona costeira brasileira ocorre o transporte de Gás Liquefeito do Petróleo (GLP) refrigerado, produtos claros, escuros e óleo combustível. No Porto de Itaqui, segundo maior em calado do mundo com 27m de profundidade (EMAP, 2006), em 2000, os derivados de petróleo provenientes de navegação de longo curso desembarcados somaram 2.419.563ton., e os embarcados 37.301ton. (FRONAPE, 2002) (Figura 1). Ainda, nas proximidades do Porto de Itaqui, encontra-se o porto Ponta da Madeira, operado pela Empresa Vale (principal mineradora do Norte do Brasil com a maior reserva de minério de ferro do mundo), que vem também constituir o complexo portuário, aumentando a ameaça de derramamento de óleo.

Segundo Leite (2002) e Varella (2005), devido à intensa dinâmica das zonas portuárias, há a eminente ameaça de derramamento de petróleo, potencialmente causadores de danos econômicos e socioambientais. A ameaça é definida como a possibilidade de eventos naturais e/ou antrópicos desastroso às pessoas e bens naturais (Mattedi & Butzke, 2001).

Os derramamentos de petróleo e seus derivados, geralmente, acontecem durante as atividades

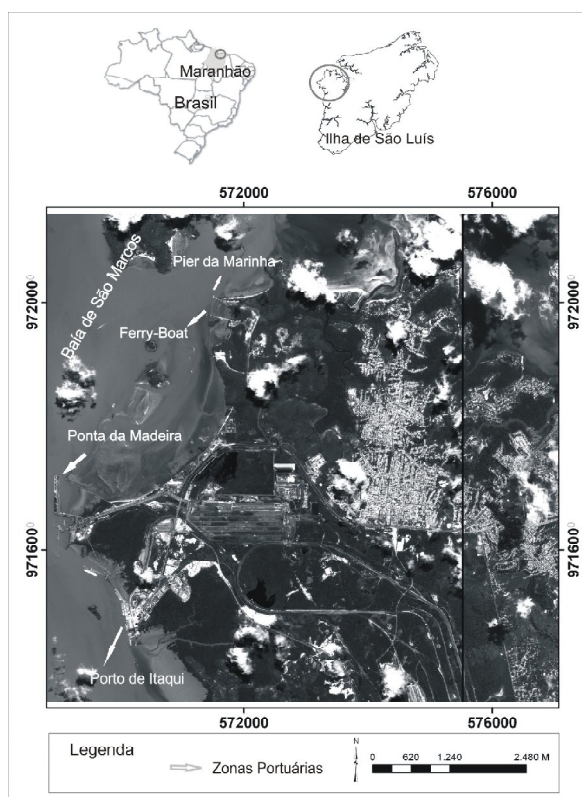


Figura 1. Imagem Ikonos na banda 3, mostrando o complexo portuário de Itaqui-Bacanga.

Figure 1: Band 3 Ikonos image showing the Itaqui-Bacanga port complex.

associadas aos procedimentos de exploração, limpeza, transporte e estocagem (Brilhante, 1999; Noernberg & Lana, 2002), uma vez que durante essas atividades podem ocorrer vazamentos, ruptura de dutos, e explosões causados por falha nos equipamentos ou no manuseio humano. Mundialmente, os

derramamentos ocasionados por transporte lançam no ambiente cerca de 100.000 toneladas de hidrocarbonetos por ano, gerando efeitos em longo prazo sobre o meio ambiente e a economia, tais como impactos sobre os organismos e ecossistemas, as atividades recreativas e o desenvolvimento sustentável da população que usa os recursos costeiros (Galdino et al., 2004).

A utilização de imagens de sensores remotos de média resolução tem sido largamente utilizada em trabalhos na região amazônica em mapeamento de sensibilidade ambiental na zona costeira (Gonçalves et al., 2006; Souza-Filho et al., 2006; Teixeira & Souza-Filho, 2009). Contudo, para o objetivo deste trabalho que foi de identificar e localizar, através do mapeamento, os fatores de ameaça e os recursos socioeconômicos ocorrentes sobre os ambientes costeiros susceptíveis ao derramamento de petróleo, foi necessário uma cartografia de detalhe. Para tal, somente imagens de alta resolução foram adequadas para a geração de um produto com finalidade de prever, mitigar e definir ações prioritárias, assim como, estabelecer diretrizes para a gestão costeira do complexo portuário de Itaquí-Bacanga, no Estado do Maranhão.

2. MATERIAS E MÉTODOS

Foram utilizadas duas cenas (13km x 13km) de uma imagem Ikonos adquiridas em junho de 2007, período de baixa nebulosidade na região, no formato "Composição RGB" das bandas multiespectral do visível (4m de resolução espacial) e uma banda pancromática (1m de resolução espacial), que combinadas e fundidas geraram imagens coloridas com 1m de resolução (Geoeye, 2004). Foi utilizada projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum horizontal WGS 84, zona 23, hemisfério sul. Uma das limitações na utilização das imagens Ikonos foi referente à aquisição de cenas com cobertura de nuvem inferior a 25%. Assim, locais com alta nebulosidade, como a região Amazônica, dificultam a aquisição dessas imagens, principalmente no período chuvoso (março a junho). É importante ressaltar que devido à dinâmica da zona costeira, as imagens de alta resolução são imprescindíveis para o mapeamento, auxiliando também em procedimentos de monitoramento.

Essas imagens possuem um georreferenciamento inicial a partir de dados de efemérides do satélite, porém, para garantir uma maior acurácia foram adquiridos pontos de controle no terreno (GCPs), além de um caminhamento cinemático na área em estudo, utilizando-se um Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS) que permitiu a correção geométrica da imagem com um erro quadrático médio (RMS) em torno de 1 pixel (1m). Esse método consiste em aquisição de GCPs que foram processados, a partir de dados fornecidos pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) (IBGE, 2005).

A composição da imagem nos canais de cor 3R2G1B possibilitou o mapeamento, através das etapas usuais de foto-interpretação com análise de padrão, tonalidade, cor, textura, forma e tamanho (Moreira, 2001), dentro de um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), através do software ArcGis 9.2. Foram identificados os ambientes costeiros, os fatores de ameaça e os recursos socioeconômicos em uma escala de detalhe (1:10.000).

Os ambientes costeiros foram identificados visualmente nas imagens e, em campo, a interpretação das mesmas foi validada, enfatizando-se apenas as unidades que possuem uso pela população local, no caso áreas de manguezais, planícies arenosas e planícies de supramarés e praias. Com base nesta classificação, o mapa dos recursos socioeconômicos susceptíveis à ameaça de derramamentos de petróleo foi gerado adaptando-se a metodologia proposta por Dutruieux et al. (2000), MMA (2002) e NOAA (2002).

No mapa de fatores de ameaça foram utilizados apenas os locais fixos da estrutura portuária, onde há operações e transporte do óleo e dos seus derivados - atracação, acesso e estocagem. A forma de representação foi adaptada de Dutruieux et al. (2000) e MMA (2002). A avaliação em relação à possibilidade e conseqüências dos fatores de ameaça foi adaptada com base na metodologia de FEPAM (2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização das imagens de alta resolução permitiu a identificação dos ambientes costeiros, dos elementos e processos ameaçadores originados no complexo portuário e dos elementos socioeconômicos que estão susceptíveis a essas ameaças no contexto da área de Itaquí-Bacanga.

Há possibilidade de derramamentos de petróleo ocorrerem em qualquer um dos trechos das rotas que os navios petroleiros percorrem, porém o canal de entrada do porto é considerado um dos locais mais perigosos (FRONAPE, 2002). Contudo, para este trabalho, foram considerados apenas os locais de estruturas fixas portuárias para elaboração do mapa de fatores de ameaça (Figura 2).

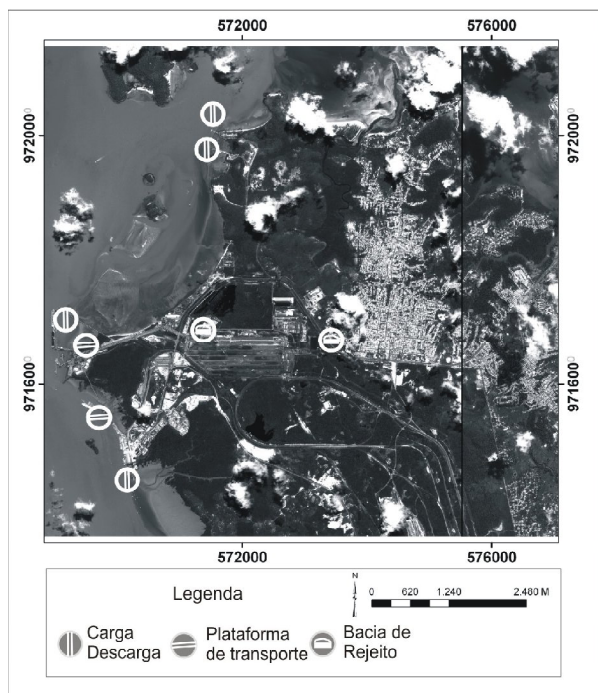


Figura 2. Mapa de ameaças portuárias do complexo Itaqui-Bacanga.

Figure 2: Threat port map of the Itaqui-Bacanga complex.

A zona de atracação corresponde aos terminais onde está concentrada a maior movimentação de carga, descarga e abastecimento de petróleo e derivados do Complexo Itaqui-Bacanga. Os acidentes que podem ocorrer são, entre outros: colisão, naufrágio, condição precária ou falha nos equipamentos, rompimento ou furo tubulações e válvula de combustível mal fechada. Todos estes acidentes são considerados de probabilidade alta, mas de menores consequências devido à rapidez das operações de intervenção (Robert & Crawford, 2002).

A plataforma de acesso, constituída de pontes que conectam o pier ao pátio de estocagem, geralmente passa por procedimentos de limpeza e operações

rotineiras que podem ocasionar rompimento de tubulações e conexões podendo ocasionar acidentes considerados de possibilidade provável e de característica significativa (Aleixo et al., 2007).

As áreas de estocagem correspondem a tanques e plataformas de carregamento onde pode ocorrer (i) explosões - probabilidade provável e de característica extremamente significativa; e (ii) transbordamento, rompimento de mangote ou falha de equipamentos - possibilidade improvável a pouco provável e de característica pouco significativa.

O mapa que contém os elementos socioeconômicos susceptíveis à ameaça de derrame de óleo e seus derivados estão intimamente ligados aos usos dos ambientes costeiros (Figura 3). Na área ocorrem predominantemente manguezais, onde é praticado extrativismo de caranguejo e camarão, pesca artesanal com embarcações de pequeno a médio porte e lazer. Os lagos artificiais das áreas de planícies de supramarés, adjacentes aos manguezais, são utilizados como criadouro de pescado. A zona residencial ocorre na porção centro norte da área e possui seu sistema de abastecimento de água conectado ao estuário, sendo potencialmente atingido em caso de derramamento de petróleo, prejudicando a saúde, por ingestão, contato com a pele ou poluição do ar. Além disso, parte da população utiliza a planície arenosa como praia e os rios para a atividade de lazer.

A realização do mapeamento em escala de detalhe possui abrangência local e tem sido prioritariamente realizada em locais de alta atividade portuária, especialmente, quando há ambientes ecologicamente sensíveis e de difícil retirada do óleo como manguezais (MMA, 2002). O mapa de recursos socioeconômicos susceptíveis a esse tipo de ameaça se torna uma informação essencial para o gerenciamento costeiro, pois detalha os tipos de atividades desenvolvidas no o meio físico. Posteriormente, a identificação desses recursos, agregado aos dados de renda e escolaridade são importantes no traçado do perfil populacional que seria mais seriamente atingido e emergencialmente acolhido.

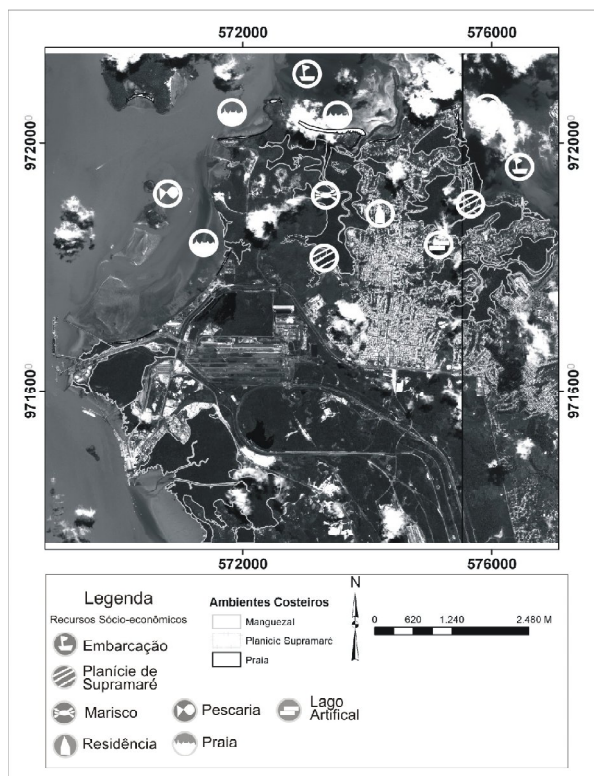


Figura 3. Mapa dos recursos socioeconômicos do complexo potuário Itaquí-Bacanga.

Figure 3: Social and economics resource map of the Itaquí-Bacanga port complex.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento utilizando imagens de alta resolução Ikonos permitiu identificar com precisão, mediante o uso de métodos de interpretação visual de imagens de satélite, quais das atividades humanas desenvolvidas em ambientes costeiros específicos são susceptíveis ao derramamento de óleo e seus derivados, além de apontar os fatores de ameaça inseridos no contexto portuário. Os aspectos socioeconômicos susceptíveis às ameaças de vazamento de óleo são: atividades de lazer que ocorrem nas praias e nos estuários locais; mecanismos de subsistência como a criação de pescado nos lagos artificiais e a mariscagem nas planícies de supramarés e manguezais; e dependência das residências em relação ao uso da água dos estuários.

Assim, o desenvolvimento adequado das pesquisas em zonas costeiras inclui diversos desafios, como o mapeamento em diferentes escalas temporais e

espaciais, bem como estabelecimento de programas de monitoramento (Talley et al., 2003), o que torna cada vez mais importante o desenvolvimento de pesquisas, que fazem uso de imagens de alta resolução espacial, pois as mesmas apresentam ótima resposta para caracterização espacial de áreas urbanas, bem como para utilização em mapeamentos em escala de detalhe.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece a CAPES pela concessão da bolsa mestrado e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, assim como ao projeto PIATAM mar, desenvolvido pela UFPA em parceria com a Petrobrás, pelo suporte à realização desse estudo. O segundo autor agradece ao CNPq pela concessão de bolsas de produtividade em pesquisa (Proc. # 300985/90-8). Este artigo representa a contribuição No. 14 do projeto PIATAM mar.

BIBLIOGRAFIA

- Aleixo, L.A.G., Tachibana, T.I. & Casagrande, D. (2007) - Poluição por óleo: formas de introdução de petróleo e derivados no ambiente. *Revista Integração: Ensino, Pesquisa, Extensão*, 49:159-166. Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, SP, Brasil. Disponível em ftp://ftp.usjt.br/pub/revint/159_49.pdf
- Araújo, M.C.B., Souza, S.T., Chagas, A.C.O., Barbosa, S.C.R. & Costa M.F. (2007) - Análise da Ocupação Urbana das Praias de Pernambuco, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada.*, 7(2):97-104. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7f2_2_mariaaraujo.pdf
- Brilhante, O. (1999) - Gestão e avaliação da poluição, impacto e risco na saúde ambiental. In: Brilhante, O. & Caldas, L. de A (Coords.), "Gestão e Avaliação de Risco em Saúde Ambiental", 155p. Editora Fiocruz, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 8585676566
- Dutrieux, E., Canovas, S., Denis, J., Hénocque, Y., Quod, J.P. & Bigot, L. (2000) - Guide méthodologique pour l'élaboration de cartes de vulnérabilité des zones côtières de l'Océan Indien. UNESCO/IOC, Manuals and Guides. N° 38, 40p., Intergovernmental Oceanographic Commission.

- Disponível no portal da UNESCO <http://unesdoc.unesco.org>
- EMAP – Empresa Maranhense de Administração Portuária (2006) - Informações sobre o Porto de Itaqui. In: <http://www.portodoitaqui.ma.gov.br/>. Acedido Set2007.
- FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler (2001) - Manual de Análise de Risco Industrial. Projeto de Manual de Análise. Disponível em <http://www.ebah.com.br/manual-de-analise-de-risco-industrial-pdf-a9990.html>. Acedido Out2007.
- ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários (2002). Anuário estatístico sobre as atividades no Porto de Itaqui. In: <http://www.antaq.gov.br/Portal/estatisticasanuario.asp>. Acedido Dez2005.
- Galdino, C., Santos, E.M. dos, Pinheiro, J.L., Marques Junior, S. & Ramos, R.E.B. (2004) - Passivo ambiental: revisão teórica de custos na indústria do petróleo. *Revista Produção*, 14(1):54-63. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/prod/v14n1/v14n1a06.pdf>
- Geoeye (2004) - Product Guide. In: <http://www.geoeye.com/CorpSite/products/products/satellite-imagery/Default.aspx>. Acedido Out2006.
- Gonçalves, F.D., Souza-Filho, P.W., Miranda, F.P., Paradella, W.R. (2006) - Técnicas automáticas para geração de mapas de índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na Baía de Guajará, Belém-Pa. *Revista Brasileira de Cartografia*, 58(3):255-262. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2005) - Informações a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo. In: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>. Acedido Out2006.
- Leite, J.R.M. & Ayala, P.A. (2002) - Direito ambiental na sociedade de risco. 290p., Editora Forense Universitária, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 85-218-0358-3
- Mattedi, M. & Butzke, I. (2001) - A relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. *Ambiente e Sociedade*, 3(9):93-114. (<http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2001000900006>)
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2002) - Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo. 94p., Programa de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho, MMA, Brasília, DF, Brasil.
- Moreira, M.A. (2001) - Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 320p., INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Edição UFV, São José dos Campos, SP, Brasil. ISBN: 857269224X,
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (2002) - Environmental Sensitivity Index Guidelines. NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration Technical Memorandum nº. 11, 86p., Seattle, WA, USA.
- Noernberg, M.A. & Lana, P. da C. (2002) - A Sensibilidade de Manguezais e Marismas a impacto por óleo: Fato ou Mito? Uma ferramenta para avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo. *Geografares*, 3:109-122, Departamento de Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.
- Robert, J. & Crawford, D. (2002) - Exploring the relationship between industry and government in relation to marine oil spill prevention, preparedness and response capabilities. *New Zealand Petroleum Conference Proceedings*. 1-7.
- Souza-Filho, P.W., Martins, E. do S.F. & Costa, F.R. da. (2006) - Using mangroves as a geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: A remote sensing data approach. *Ocean Coastal Management*, 49(7-8):462-475. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2006.04.005>)
- Talley D.M., North E.W., Juhl A.R., Timothy D.A., Brower J.F.C., Brown C.A., Chasar L.C., Hall C.J.J., Meysman F., Nemerson D.M., Souza-Filho P.W.M. & Wood R.J. (2003) - Research challenges at the land-sea interface. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 58(4):699-702. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2003.08.010>)
- Teixeira, S.G. & Souza-Filho, P.W.M. (2009) - Mapeamento de ambientes costeiros tropicais a partir de imagens de sensores remotos orbitais,

Milena Andrade, Pedro W. de Souza-Filho, Claudio F. Szlafsztein / Revista de Gestão Costeira Integrada 9(2):127-133 (2009)

Golfão Maranhense (Brasil). Revista Brasileira de Geofísica, 28, Suplemento 1 (no prelo), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Varella, M. A. (org.) (2005) - A dinâmica e a percepção pública de riscos e as respostas do direito

internacional econômico. In: Governo dos Riscos: Rede Latino – Americana – Européia sobre Governo dos Riscos, 299p., Editora Pallotti, Brasília, DF, Brasil. Índice em <http://bdjur.stj.gov.br/dspace/handle/2011/2603>. Acedido Out2006.