

## **DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E DE GEOPROCESSAMENTO PARA APOIO AOS PLANOS DE CONTINGÊNCIA DURANTE EVENTOS DE DERRAMAMENTOS DE ÓLEO EM REGIÕES COSTEIRAS: O CASO DO LITORAL NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO**

SÁVIO LUIS CARMONA<sup>1,2</sup>  
DOUGLAS FRANCISCO MARCOLINO GHERARDI<sup>1</sup>  
MOYSES GONSALEZ TESSLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{savio, douglas}@ltid.inpe.br

<sup>2</sup>IOUSP - Universidade de São Paulo  
Praça do Oceanográfico, 191 - 05508-900 - São Paulo - SP, Brasil  
mgtessle@usp.br

**Abstract.** The north São Paulo State coast is characterized by a number of fragile ecosystems such as sandy beaches, rock shore, tidal flats, and mangroves. In the south portion of this coastline it is located one of the largest Petrobrás crude oil terminal. This area is considered to be of high risk for oil spill with a known historic of accidents dating back to the 70's. This paper presents preliminary results on the merging of digital image products and historic oil spill events data, which includes: a thematic base map derived from digital integration of spectral and panchromatic bands of ETM+ based on the use of IHS Transformation and geodatabase modeling of historic oil spill events attributes using Geographic Information System (GIS) technology for rapid access and query. This procedure has been successfully used to map oil sensitive environments and highlights the potential for operational use of remote sensing data and GIS in contingency planning and assessment of oil spill effects on a tropical environmental.

**Keywords:** remote sensing, geodatabase, oil spill, São Paulo State.

### **1. Introdução**

Diversos episódios envolvendo derramamento de óleo na região costeira do litoral norte do Estado de São Paulo têm sido relatados desde a década de 70. A grande maioria é proveniente da lavagem clandestina de tanques e de operações rotineiras dos petroleiros. Recentemente, em 2001, uma falha durante a manobra do navio petroleiro Virginia 2 que se deslocava da Bacia de Campos para o Porto de São Sebastião, foi responsável pelo vazamento de 86 mil litros de óleo cru. Diversas praias e costões rochosos ao longo do canal de São Sebastião, e uma área de mangue na planície de Caraguatatuba, foram contaminadas pela mancha de óleo. A intensa movimentação de petroleiros no terminal de armazenamento de petróleo da Petrobrás no canal de São Sebastião confere uma constante situação de risco aos ecossistemas costeiros.

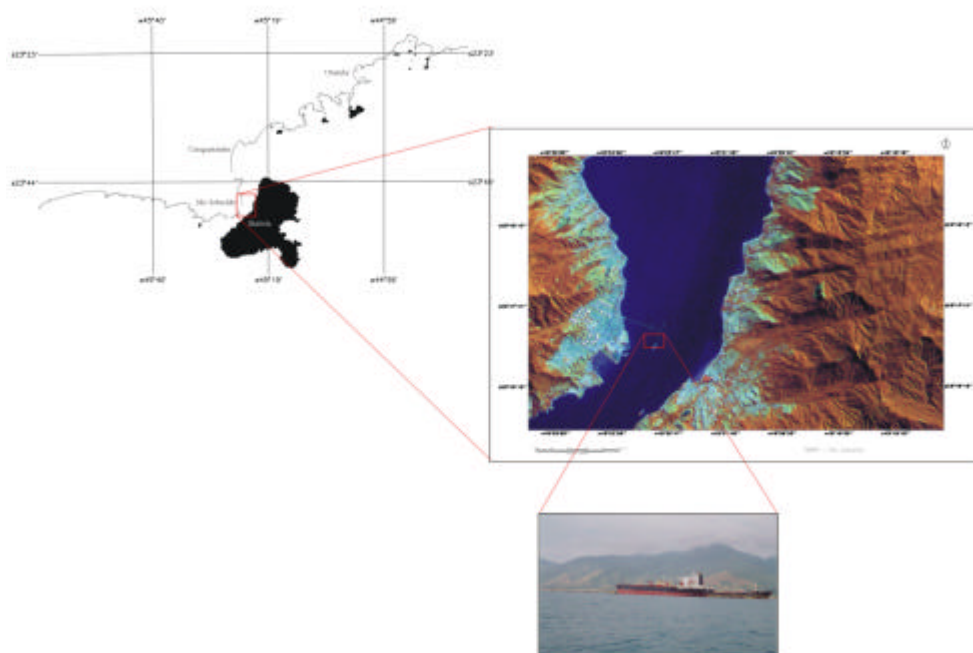
Os impactos causados à zona costeira como consequência da contaminação por óleo comprometem não só a integridade da paisagem natural, como também as atividades econômicas, os investimentos realizados pela sociedade, e o sustento das comunidades humanas locais. A ruptura de processos ecológicos, a obliteração e asfixia de habitats e organismos se somam aos prejuízos financeiros advindos da suspensão repentina de atividades econômicas e perda de equipamentos. A persistência do óleo nas praias arenosas e em sistemas internos abrigados das ondas, como estuários e canais, contribui para o agravamento do cenário da poluição.

Dessa forma, torna-se fundamental a elaboração de planos de contingência efetivos para o controle e combate da poluição por óleo, auxiliando as equipes de emergência para minimizar os impactos ambientais. O uso dos produtos e técnicas de sensoriamento remoto tem se mostrado de grande importância para a localização e o mapeamento dos principais recursos sensíveis (Jensen et al., 1990; Jansen et al., 1993). Os sistemas de informações geográficas - SIG vêm sendo incorporados como ferramentas de grande potencial para a tomada de decisão durante eventos de óleo no meio marinho. O armazenamento em um sistema de informação geográfica e sua interface de consulta com uma base de dados relacional permite um rápido procedimento de consulta dos atributos sobre os diferentes recursos, sua visualização, identificação e atualização. Este trabalho apresenta alguns resultados preliminares obtidos por uma rotina de processamento digital de imagens ETM+ do Landsat 7 para o mapeamento das praias, costões e sistemas internos, e a geração de um banco de dados geográficos (BDG) dos principais eventos de poluição por óleo. Estes procedimentos são parte da análise contextual para a modelagem do Banco de Dados da Sensibilidade Ambiental à poluição por óleo – BDG SAO, da zona costeira do Estado de São Paulo.

## 2. Área de Estudo

O litoral norte do Estado de São Paulo caracteriza-se pela presença da Serra do Mar que se projeta em direção ao Oceano Atlântico, encerrando planícies costeiras bastante restritas. A linha de costa é recortada por diversos esporões rochosos, predominando enseadas e praias de bolso, além de inúmeras ilhas e ilhotas, onde se destaca a ilha de São Sebastião (Ilhabela) com 336 km<sup>2</sup>. Esta ilha encontra-se separada do continente pelo canal de São Sebastião com 25 km de extensão e largura que varia de 6 a 7 km nas entradas até 2 km na parte central (**Figura 1**).

O canal abriga um dos mais importantes terminais petrolíferos do país o Duto e Terminais do Centro Sul – DTCS, da Petrobrás. A presença deste terminal resulta em uma constante movimentação de petroleiros, operações de limpeza dos tanques e operações de carga e descarga, que representam as principais situações de risco para a poluição por óleo, desde a década de 70 (Cetesb, 1996).

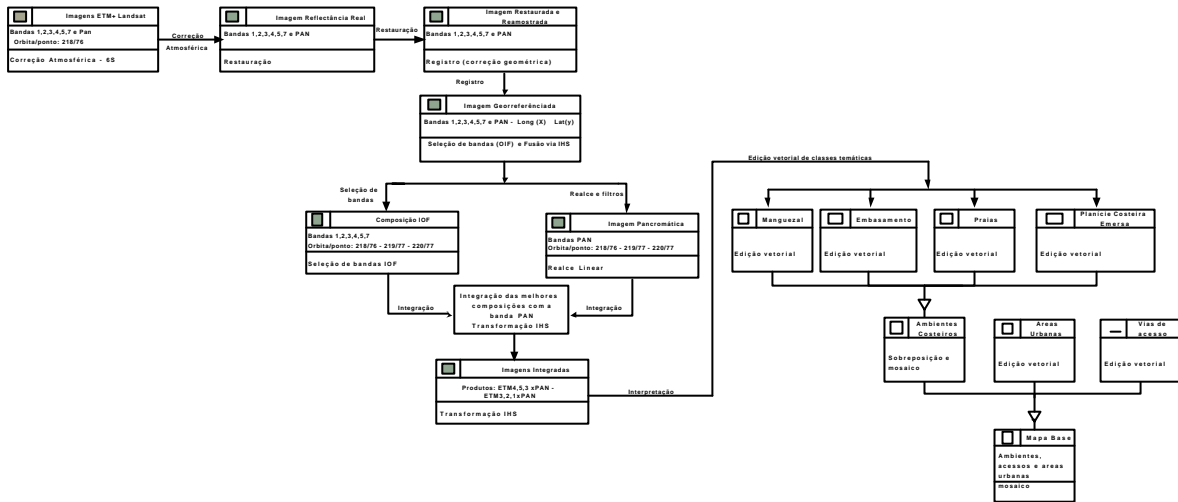


**Figura 1** - Linha de costa do litoral norte do Estado de São Paulo com imagem em detalhe do canal de São Sebastião e foto de navios petroleiros no DTCS.

### 3. Materiais e Métodos

Foi utilizada uma imagem órbita/ponto 218/76 obtida pelo sensor ETM+ do Landsat 7 em 11/08/2000. Mapas geológicos e geomorfológicos em escala regional (Ross e Moroz, 1997), e mapas dos ecossistemas costeiros, em escala local (Cetesb, 1999), foram os principais dados auxiliares utilizados para a interpretação dos temas. Os dados foram interpretados e armazenados no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING, desenvolvido pelo INPE.

O enfoque da modelagem do BDG-SAO é baseado no modelo de dados em geoprocessamento Geo-OMT (Borges, 1997), visando atingir os níveis de abstrações conforme proposto por Câmara (1995). Neste trabalho serão abordadas apenas duas etapas desta modelagem: o modelo de dados do processamento da imagem orbital e o modelo de dados da representação espacial e consulta dos atributos dos eventos de derramamentos de óleo no litoral norte (**Figura 2 e 3**).



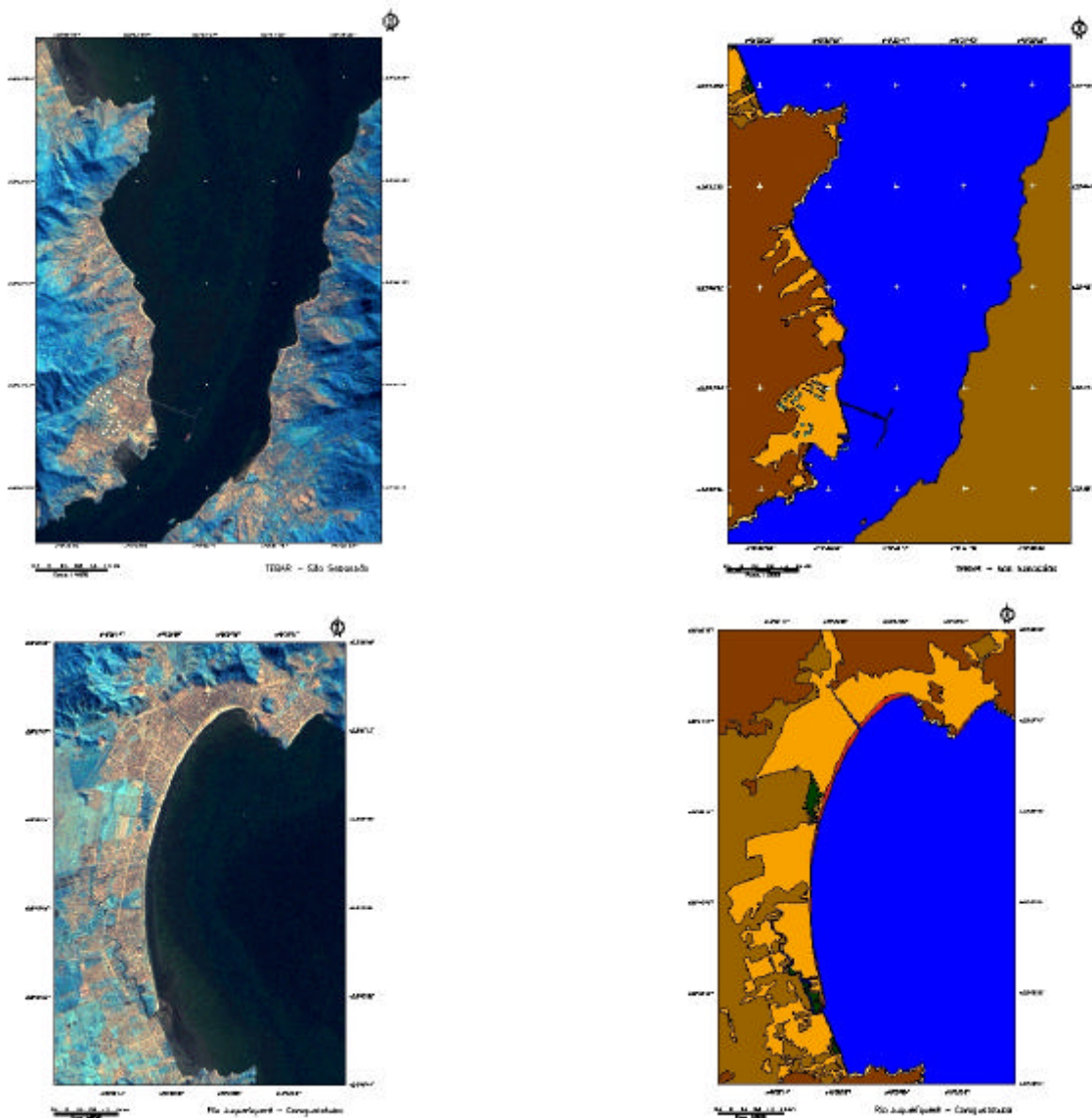
**Figura 2** – Modelo de dados Geo-OMT do processamento digital da imagem Landsat e geração do mapa base.

Inicialmente, as bandas espectrais foram corrigidas radiométricamente visando atenuar o efeito da atmosfera, via modelo 6S (Vermote et al., 1997) e as distorções relativas ao sensor, a partir do uso da técnica de restauração (Fonseca et al., 1993). Durante a restauração, o tamanho de *pixel* das bandas espectrais (30 m) e da banda pancromática (15 m) foram reamostrados para 15 e 5 metros, respectivamente. Este procedimento teve como objetivo aumentar a definição dos alvos, realçando contornos e bordas. As bandas espectrais foram corrigidas geometricamente segundo uma projeção UTM SAD69. Para a integração das bandas espectrais (15 m) com a banda pancromática (5 m) foram utilizadas duas composições RGB: bandas 453, selecionada via critério IOF (Chavez et al., 1982), e bandas 321, conforme proposto por (Carper et al., 1990; Edwards e Davis, 1994). A integração foi baseada na técnica da Transformação IHS (*Intensity, Hue, Saturation*), onde no espaço IHS, a banda pancromática de maior resolução espacial foi utilizada para modular o canal de intensidade. Um realce linear foi aplicado sobre os produtos finais maximizando o conjunto de informações para processo de interpretação visual.

O mapeamento dos temas foi realizado por edição vetorial a partir da interpretação visual sobre os produtos integrados. Durante este processo foram definidos 8 temas: 1) mangue, 2) embasamento, 3) planície costeira, 4) praia, 5) costão rochoso, 6) água (hidro), 7) área urbana,

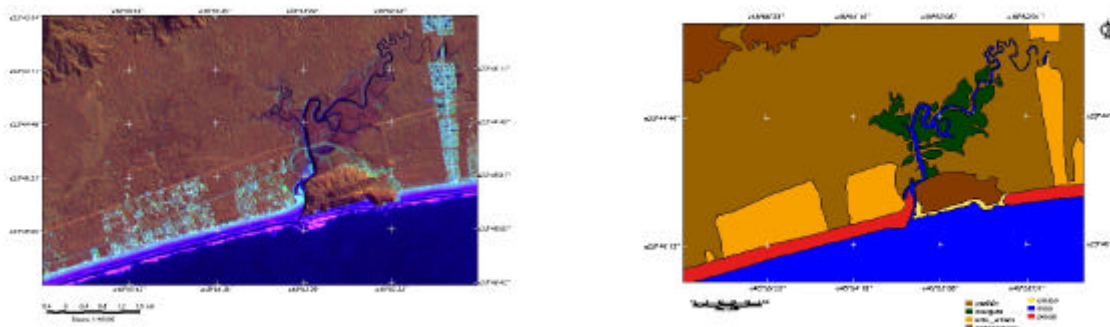


alvos foram otimizadas em um único produto. As **Figura 4** e **5** representam os produtos integrados ETM3,2,1-Pan e ETM4,5,3-Pan com 5 metros de resolução e os mapas dos principais temas interpretados, respectivamente.



**Figura 4** – Produto integrado das bandas ETM3, 2, 1 com a banda pancromática e os principais temas mapeados.

Quanto ao desempenho isolado dos produtos integrados, a integração ETM3,2,1 com a banda pancromática forneceu um maior realce e definição de feições lineares, como as estradas, área urbana, estruturas antrópicas e o segmento da linha de costa (**Figura 4**). Este produto também apresentou uma boa eficiência no mapeamento das praias, e de feições decorrente da ação hidrodinâmica sobre a linha de costa, relacionadas às zonas de arrebentação e de *surf*. Além das feições acima realçadas, o produto ETM4,5,3 com a banda pancromática apresentou um melhor desempenho no realce da vegetação, principalmente no que se refere a diferenciação das áreas cobertas por vegetação de mangue (**Figura 5**). Isso demonstra a necessidade do uso combinado destes produtos para a interpretação visual, no sentido de adquirir as melhores informações de cada um.



**Figura 5** – Produto integrado das bandas ETM 4,5,3 com a banda pancromática e os principais temas mapeados.

Através da espacialização dos eventos de derramamento de óleo no Canal de São Sebastião dentro do BDG-SAO é possível visualizar o histórico de diversos eventos, suas causas, tipo e volume do óleo vazado, praias atingidas, condições meteorológicas durante o evento, etc. Uma série de consultas sobre estes dados permite a visualização de diferentes cenários do tipo: 1) a concentração dos eventos no TEBAR como resposta às falhas operacionais durante o transbordo do óleo e a defeitos nas válvulas de fundo dos navios; 2) tendência de contaminação das praias que se localizam ao longo dos setores Ilhabela norte e continente norte como resposta das características hidrodinâmicas do canal; 3) deslocamento das manchas para os setores de Ubatuba, no caso dos grandes acidentes (volume vazado acima de 1000 m<sup>3</sup>), condicionado pelas forçantes meteorológicos e hidrodinâmicas.

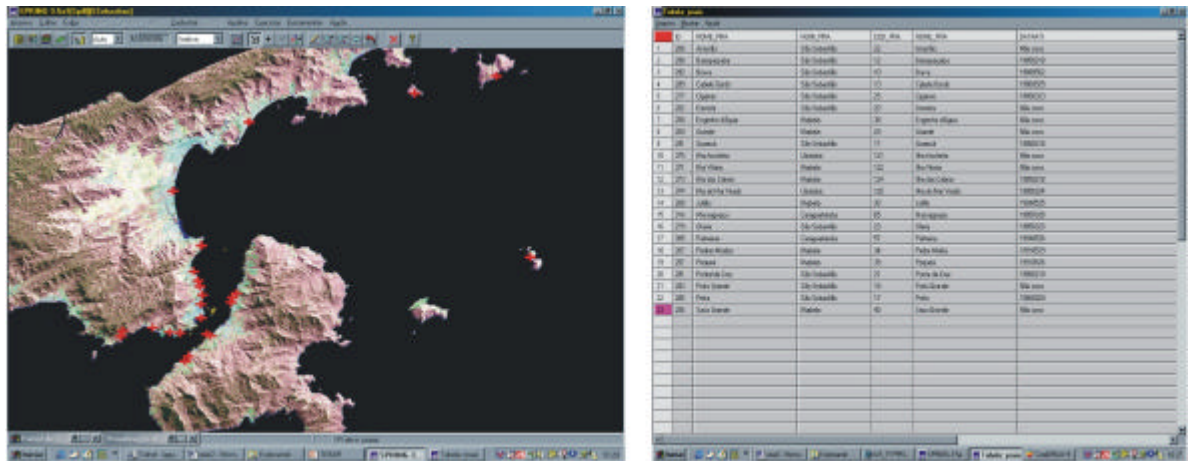
A **Figura 6** representa a visualização das praias (representadas por pontos) que foram atingidas por um dos maiores eventos de vazamento de óleo no litoral norte, conhecido como operação TEBAR V. O rompimento do oleoduto que faz a ligação entre o Terminal de São Sebastião e a Refinaria Presidente Bernardes, em Cubatão, resultou no vazamento de aproximadamente 2700 m<sup>3</sup> de óleo. A mancha de óleo inicial foi detectada nas proximidades da praia Brava, região de Maresias, e espalhou-se conforme a ação do padrão de circulação do canal. Durante o período de 20 dias, esta mancha se deslocou e se fragmentou em diversas manchas que atingiram várias praias e costões rochosos até a região de Ubatuba. A **Tabela 1** representa os principais atributos deste evento. A **Figura 7** representa um procedimento de consulta das praias mais próximas ao ponto inicial do vazamento e alguns de seus atributos.

**Tabela 1** – Atributos cadastrados da operação TEBAR V.

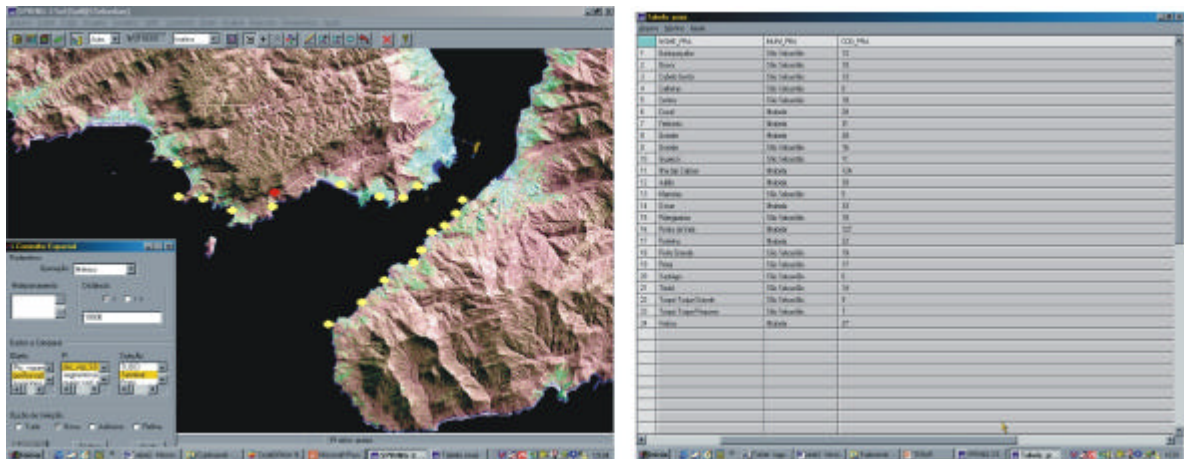
Tabela: pontosvazil			
DATA	CAUSA	TIPO_OL	
1 19940515	rompimento do oleoduto OSBAT, o produto escoou por valas naturais	Sergipano terra	

Tabela: pontosvazil			
TIPO_OL	VOLU_VAZ	OPERACAO	DURAC
1 Sergipano terra	2700.00000000	TEBAR V	20



**Figura 6** – Visualização das praias atingidas durante o evento de vazamento de óleo TEBAR V, no ano de 1994, e alguns de seus respectivos atributos.



**Figura 7** – Praias localizadas dentro de um raio de 10 km do ponto inicial do acidente (pontos em amarelo = praias; ponto em vermelho = local do vazamento).

O armazenamento, representação e recuperação das entidades e atributos dos eventos de vazamento de óleo em um SIG são de fundamental importância aos planos de contingência à poluição por óleo. Os cenários possíveis de serem consultados permitem a elaboração de estratégias e ações a partir de um conhecimento *a priori* das seguintes características: (a) inventário das características geomorfológicas da linha de costa; (b) condições climáticas dominantes; e, (c) histórico dos eventos de derramamento de óleo. Os resultados mostram o grande potencial do uso das ferramentas de geoprocessamento para análises pré-evento em área de risco e na tomada de decisão durante um evento de derramamento de óleo.

## 5. Conclusões

- 1) O uso da técnica de restauração e da transformação IHS foi eficiente para a geração de produtos com maior detalhamento das diversas feições geomorfológicas e antrópicas da região costeira, aumentando a precisão da interpretação visual.
- 2) O uso combinado dos dois produtos foi fundamental para potencializar o mapeamento dos temas relativos a sensibilidade ambiental a poluição por óleo.
- 3) A disponibilidade e acesso de dados de eventos históricos de derramamento de óleo armazenados em um SIG, de forma compreensiva, podem ajudar a identificar e avaliar as opções de respostas viáveis durante a tomada de decisão e a elaboração de um plano

gestor para as áreas de grande risco, como por exemplo, na região do canal de São Sebastião.

## Referências

- Borges, K. *Modelagem de dados geográficos: uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas*. (Mestrado) - Escola de Governo, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997, 128p.
- Câmara, G. *Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos*. Tese. INPE – São José dos Campos, 1995, 242p.
- Carper W.J.; Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. The use of Intensity – Hue – Saturation Transformation for merging SPOT Panchromatic and multispectral image data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v.56, n.4, p. 454-467, 1990.
- Cetesb. *Dinâmica dos vazamentos de petróleo no canal de São Sebastião*, São Paulo, 1996. 120p.
- Cetesb. *Mapeamento dos Ecossistemas Costeiros do Estado de São Paulo*, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1999, 103p.
- Chavez Jr., P.; Berlim, G.L.; Sowers, L.B. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *Journal of Applied Photographic Engineering*, n. 8, p. 23-30, 1982.
- Edwards, K.; Davis, P. A. The use of Intensity-Hue-Saturation Transformation for producing color shaded-relief images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 60, n. 4, p.1360-1374, 1994.
- Fonseca, L.M.G.; Prasad, G.S.S.D.; Mascarenhas, N.D.A. Combined interpolation-restoration of Landsat images through FIR filter design techniques, *International Journal of Remote Sensing*, v. 14, n.13, p. 2547-2561, 1993
- Jensen, R. J.; Ramsey, E. W.; Holmes, J.M.; Michel, J.; Savitsky, B.; Davis, B. Environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spills using remote sensing and geographic information system technology. *International Journal of Geographic Information System*, v.4, n.2, p. 181-201, 1990.
- Jensen, R. J.; Narumalani, S; Weatherbee, O; Murday, M; Sexton, W.J.; Green, C. Coastal environmental sensitivity mapping for oil spills in the United Arab Emirates using remote sensing and GIS technology. *Geocarto International*, n.2, p. 5-13, 1993.
- Rozz, J.L.S.; Moroz, I.C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1997, 65p.
- Vermote, E.F.; Tanre, D.; Deuze, J.L.; Herman, M.; Morcrette, J.J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview, *IEEE Transactions in Geosciences and Remote Sensing*, vol. 35, n. 03, p. 675-686, 1997.