

CARLOS EDUARDO NAKAO INOUE

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
INFORMAÇÃO PARA CARTAS DE
SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE
ÓLEO E ELABORAÇÃO DE MAPAS DE
VULNERABILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES
DE ÓLEO PARA O MUNICÍPIO DE
CARAGUATATUBA-SP**

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de Formatura do
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto de
Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Campus de Rio Claro (SP),
como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho
de Formatura no ano letivo de 2009.*

Orientadora: Prof^a Dr^a Paulina Setti Riedel

Rio Claro (SP)

2009

CARLOS EDUARDO NAKAO INOUE

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA
CARTAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE ÓLEO
E ELABORAÇÃO DE MAPAS DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL
A DERRAMES DE ÓLEO PARA O MUNICÍPIO DE
CARAGUATATUBA-SP

Orientador: PAULINA SETTI RIEDEL

Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de Formatura do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Campus de Rio Claro (SP), como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de Formatura no ano letivo de 2009.

Rio Claro
2009

628.092 Inouye, Carlos Eduardo Nakao
I58i Implementação de um sistema de informação para cartas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo e elaboração de mapas de vulnerabilidade ambiental a derrames de óleo para o município de Caraguatatuba-SP / Carlos Eduardo Nakao Inouye. - Rio Claro : [s.n.], 2009
60 f. : il., figs., tabs., mapas
Trabalho de conclusão (Bacharelado - Engenharia ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Paulina Setti Riedel
1. Engenharia ambiental. 2. Planos de contingência. 3. Modelagem ambiental ao óleo. 4. Banco de dados geográficos. 5. Litoral norte paulista. 6. Ecologia aquática. I. Título

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

DEDICATÓRIA

Aos meus pais

Marta e Carlos

isso de querer
ser exatamente aquilo
que a gente é
ainda vai
nos levar além

Paulo Leminski

AGRADECIMENTOS

Agradeço toda a infra-estrutura oferecida pelo Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP, PRH-05, UNESP/Rio Claro, seus recursos foram fundamentais para a elaboração deste trabalho.

À minha orientadora Profa. Dra. Paulina Setti Riedel, que durante esses anos me fez crescer muito. Vou levar para a vida toda sua amizade, confiança, leveza e sabedoria.

Ao José Maria Cazonato pela solicitude durante todo o trabalho.

Às empresas *Applied Science Associates – ASA South America* e *Geojá Mapas Digitais*, que foram fundamentais para a parte técnica do trabalho.

A todos os integrantes do GT Sensibilidade Costeira a derramamentos de petróleo: Ágata, Miguel, Fábio, Camila, Rafael, Mariela, Pedro, Marcelo, Laira, além do Mateus Vidotti. Obrigado a todos pela amizade e trocas de conhecimento, além de permitir um ambiente de trabalho muito agradável!

À minha irmã Debora e ao meu padrasto Yoshimi. A toda minha família pela compreensão, apoio e carinho nesta etapa da minha vida.

A todos meus amigos que conheci em Rio Claro. É a vocês que devo muito do que sou hoje!

Aos professores Marcus, Samuel e Rodrigo pela compreensão na etapa final do trabalho.

Obrigado a todos!

SUMÁRIO

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE TABELAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	6
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
5. MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO.....	19
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
7. CONCLUSÃO	38
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
APÊNDICES	42

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS	5
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	6
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
4.1. Caracterização dos ambientes costeiros de Caraguatatuba/SP	8
4.1.1. Praias	9
4.1.2. Costões Rochosos	11
4.1.3. Manguezais	13
4.1.4. Estruturas artificiais	14
4.1.5. Terraços de baixa-mar.....	14
4.2 Cartas de sensibilidade ao óleo (Cartas SAO) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	15
4.3. Modelagem numérica para derrames de óleo	17
5. MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO	19
5.1. Aquisição de informações e adequação da base de dados.....	19
5.2. Implementação do banco de dados	24
5.3. Modelagem de dispersão de óleo no município de Caraguatatuba	25
5.4. Elaboração de Mapas de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo para a Enseada de Caraguatatuba/SP	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30

6.1. Disponibilização dos dados em ambiente <i>web</i>	30
6.2. Resultado das simulações de derrame de óleo no município de Caraguatatuba	33
6.2.1. Simulações probabilísticas	33
6.2.2. Simulações determinísticas	34
6.3. Mapas de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo para a Enseada de Caraguatatuba/SP	36
7. CONCLUSÃO	38
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
APÊNDICES – Mapas de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo – Enseada de Caraguatatuba (SP)	42
APÊNDICE A - Probabilidade de óleo diesel na água / Verão	42
APÊNDICE B - Probabilidade de óleo diesel na costa / Verão	43
APÊNDICE C - Probabilidade de óleo diesel na água / Inverno	44
APÊNDICE D - Probabilidade de óleo diesel na costa / Inverno	45
APÊNDICE E - Tempo de deslocamento do óleo diesel na água / Verão	46
APÊNDICE F – Tempo de deslocamento do óleo diesel na água / Inverno ..	47

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1	Atributos Referentes a todos os ambientes costeiros	21
TABELA 2	Atributos considerados somente para praias	23
TABELA 3	Atributos considerados somente para costões rochosos	23
TABELA 4	Atributos considerados somente para manguezais	24
TABELA 5	Atributos considerados somente para estruturas artificiais	24
TABELA 6	Atributos considerados somente para terraços de baixa-mar	24
TABELA 7	Dados de entrada e parâmetros utilizados para todos os cenários elaborados	26
TABELA 8	Características do óleo diesel tipo combustível	27
TABELA 9	Resumo dos cenários probabilísticos	28
TABELA 10	Resumo dos cenários determinísticos	29

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Município de Caraguatatuba, Caraguatatuba-SP	7
FIGURA 2	Praia das Palmeiras, Caraguatatuba-SP	9
FIGURA 3	Costão da ponta do Cambiri, Caraguatatuba-SP	11
FIGURA 4	Costão direito da Prainha, Caraguatatuba-SP	12
FIGURA 5	Trecho de carta SAO representando parte da costa de Caraguatatuba, com diferentes segmentos	20
FIGURA 6	Tela do Excel com a tabela do ambiente Costão	25
FIGURA 7	Tela de apresentação do <i>website</i>	32
FIGURA 8	Tela de visualização dos mapas gerados e implementados no ambiente web	33
FIGURA 9	Balanço de massa para o cenário determinístico de inverno.....	35
FIGURA 10	Balanço de massa para o cenário determinístico de verão	35

RESUMO

Os combustíveis fósseis têm sido as principais fontes de energia da moderna era industrial. Processos muito sofisticados vêm sendo desenvolvidos para extração desses recursos, decorrente do aumento da demanda em escala global, tal qual a extração de petróleo. No entanto, a complexidade desses processos pode causar acidentes como a liberação de petróleo para mares e oceanos. É neste contexto que este estudo propõe-se a realizar a implementação de um sistema de informações para cartas SAO e elaborar mapas de vulnerabilidade ao óleo para o município de Caraguatatuba-SP. A implementação do banco de dados geográfico com informações dos ambientes costeiros foi adequada para ser disponibilizada pela internet, permitindo o amplo acesso dos dados. Os mapas de vulnerabilidade elaborados são importante ferramenta para os Planos de Emergência Individual, visto que foram elaborados em escala operacional, adequada para o balizamento de ações de combate ao óleo.

Derramamentos de Óleo, Planos de Contingência, Sistema de Informação Geográfica, Modelagem Ambiental ao Óleo, Mapas de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo.

ABSTRACT

Fossil fuels are the main energy sources of the modern industrial age. Very sophisticated processes have been developed to extract these resources, due to increased demand on a global scale, as the extraction of oil. However, the complexity of these processes can cause accidents such as the release of oil to seas and oceans. In this context, this study proposes to carry out the implementation of a system of information to charts of environmental sensitivity to oil and prepare maps of vulnerability to oil for the city of Caraguatatuba-SP. The implementation of the database with geographical information of coastal environments was appropriate to be provided by the Internet, allowing wide access of data. The maps of vulnerability are important tool developed for the Individual Emergency Plans, because they were developed in operational scale, appropriate to actions to combat oil.

Oil Spill, Contingency Plan, Geographic Information System, Environmental Modeling of Oil, Mapping of Environmental Vulnerability to Oil Spill.

1. INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural – têm sido as principais fontes de energia da moderna era industrial. Com o avanço da tecnologia e com o aumento da demanda por combustíveis fósseis, os processos de extração de tais recursos naturais tornaram-se muito sofisticados. No entanto, estes são processos muito complexos e acidentes como a liberação de petróleo para os mares e oceanos podem acontecer.

O óleo derramado quando atinge a zona litorânea pode provocar danos irreparáveis a todo o ecossistema costeiro e população humana local, interferindo na paisagem natural e também nas atividades sócio-econômicas - turismo, atividades pesqueiras, extrativistas, maricultura, etc.

Episódios como esses atingem, entre outros elementos, instalações situadas na faixa costeira (portos, refinarias e terminais de armazenamento), píeres de atracação de navios petroleiros, gaseiros, graneleiros e barcas abastecedoras (operações de carga, descarga e abastecimento), colisões e encalhes de navios, rompimento de oleodutos, acidentes em poços e plataformas de petróleo e conflitos armados (e.g., Guerra do Golfo Pérsico).

O emblemático acidente ocorrido com o navio Exxon Valdez na baía de Prince William, no Alasca, em 1989, por ter ocorrido em área abrigada, com elevados recursos biológicos e importantes atividades sócio-econômicas, ficou marcado como um dos piores eventos ambientais do mundo contemporâneo.

O desastre levou os órgãos responsáveis pela regulação das atividades da indústria do petróleo no mundo a estabelecerem uma legislação internacional

que, no âmbito ambiental, traçou diretrizes quanto às atividades de prospecção, transporte e armazenamento de petróleo e derivados (KETKAR, 2002).

A Convenção Internacional sobre Preparo, Responsabilidade e Cooperação em caso de Poluição por Óleo (OPRC 90), passou a vigorar em 1995, sendo o Brasil um de seus signatários. Um dos principais aspectos estabelecidos pela convenção é que os países deverão estabelecer planos nacionais de contingência, a partir de planos de emergência individuais (terminais, portos, plataformas).

No Brasil, a Lei Federal 9.966, de 22 de Abril de 2000, regulamenta as ações ligadas ao transporte e armazenamento de óleo. Esta lei define que o órgão federal do meio ambiente, em consonância com o disposto na OPRC 90, consolidará os planos de contingências locais e regionais, na forma do Plano Nacional de Contingência. Os planos de contingência estabelecem as diretrizes de ações de resposta aos derrames de óleo de um terminal, porto, cidade, estado ou país, dependendo da escala do evento (IPIECA, 2000).

As ações destinadas a minimizar os impactos de um derrame de óleo incluem a definição dos responsáveis pelas ações, os recursos disponíveis para o combate a acidentes e o estabelecimento de áreas prioritárias para a proteção. Um dos principais objetivos do planejamento de resposta é reduzir, tanto quanto possível, as conseqüências ambientais de um acidente. Esse objetivo é alcançado quando os locais mais sensíveis, as áreas prioritárias de proteção e os métodos de limpeza para cada área estão pré-definidos.

Nesse contexto inserem-se as cartas de Sensibilidade a Derrames de Óleo, conhecidas como cartas SAO (JENSEN et al., 1998). Tais cartas disponibilizam documentos cartográficos que servem como ferramenta crítica no planejamento e nas respostas a acidentes envolvendo o derramamento de óleo.

Desta forma, as cartas SAO são um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação dos danos ambientais em casos de derrame de óleo; representam um instrumento fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, por possibilitarem a identificação dos ambientes mais sensíveis, o que orienta o direcionamento dos recursos e induz a uma maior eficiência das equipes de apoio em campo.

Segundo IPIECA (2000), as cartas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo constituem cartas estratégicas de abrangência local e regional. Estas últimas são utilizadas para grandes derrames, em que os usuários serão os órgãos responsáveis pelo direcionamento de recursos de combate em âmbitos nacional e internacional.

As cartas SAO devem atender a todos os níveis de derrame de óleo, desde grandes a pequenos vazamentos, seja em áreas offshore, seja em áreas litorâneas. Os tipos mais comuns de mapas de sensibilidade ambiental utilizados no mundo são baseados num sistema de informação espacial que inclui três componentes: um sistema de classificação da sensibilidade dos ambientes costeiros por meio do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), os recursos biológicos passíveis de serem impactados por derrames e os recursos

sócio-econômicos (de valor comercial, recreacional ou de subsistência) envolvidos.

A metodologia para elaboração das cartas SAO em uso no Brasil (MMA, 2004) é uma adaptação daquela desenvolvida pela National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, dos Estados Unidos. Praticamente todos os países do mundo aplicam tal metodologia, com pequenas adequações. Ela estabelece um padrão de nomenclatura e os índices de sensibilidade ambiental. Assim, são levantados e mapeados os parâmetros físicos e químicos (ou dados abióticos, muitas vezes designados de dados geomorfológicos), os recursos biológicos, os aspectos sócio-econômicos e os índices de sensibilidade ambiental da área de interesse; todos esses elementos integram as cartas finais.

Projetos anteriores fomentados pelo Programa de Formação de Recursos Humanos PRH-05 da UNESP de Rio Claro envolveram etapas imprescindíveis para o presente trabalho. O projeto intitulado: “CONCEPÇÃO, DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO APLICADO À ELABORAÇÃO DE CARTAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE PETRÓLEO: LITORAL PAULISTA” (CT-PETRO/MCT/CNPQ/16/2005), que se encontra em fase de finalização tem como objetivos:

- Conceber, desenvolver e implementar um Sistema de Informações Geográficas para o litoral do Estado de São Paulo, visando a elaboração de cartas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Petróleo (Cartas SAO), por meio da organização e sistematização de toda informação e documentação

necessária ao processo, que deve contemplar informações espaciais, representadas na forma de mapas, associadas a informações disponíveis num banco de dados alfanumérico, a ser modelado.

- Implementar o Sistema em área piloto localizada no litoral sul paulista, região de Cananéia, disponibilizando o produto obtido via web.

- Oferecer consistente apoio, através do Sistema a ser estruturado, ao gerenciamento costeiro desta porção do litoral brasileiro, servindo de modelo para a implementação de sistemas semelhantes em outras regiões do país.

O projeto CTPETRO envolveu sete etapas: a. concepção do Sistema; b. desenvolvimento do Sistema; c. preparação das bases cartográficas em ambiente SIG; d. preparação do banco de imagens; e. implementação do Sistema em área piloto; f. revisão técnica; g. disponibilização dos dados.

Este trabalho desenvolvido em nível de graduação, atuou nos itens e, f e g propostos, ou seja, a implementação do Sistema e a disponibilização dos dados na web, além da elaboração dos Mapas de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos:

- Implementar um sistema de informações geográficas para o município de Caraguatatuba/SP

- Disponibilizar o produto final via *web*
- Oferecer apoio, através do Sistema a ser estruturado, ao gerenciamento costeiro do município de Caraguatatuba/SP do litoral brasileiro, servindo de modelo para a implementação de sistemas semelhantes em outras regiões do país.
- Elaboração de um mapa de vulnerabilidade ambiental ao óleo para a Enseada de Caraguatatuba/SP

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Caraguatatuba (figura 1) é um município classificado como estância balneária, e seu desenvolvimento foi favorecido por estar em uma área geográfica estratégica, já que se limita na costa sul com São Sebastião, na costa norte com Ubatuba, pelo lado do planalto, com os municípios de Salesópolis, Paraibuna e Natividade da Serra, e, pelo lado do mar, fica próximo de Ilhabela (Governo do Estado de São Paulo, 2005).

Devido a esta localização geográfica, caracterizada por ser porção centralizada e relevo de ampla planície, Caraguatatuba exibiu um pioneirismo do desenvolvimento urbano no litoral norte, concentrando atividades voltadas ao turismo no centro da cidade, local de passagem em direção aos demais municípios do Litoral Norte. (Governo do Estado de São Paulo, 2005).

Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) de 2007, a área da unidade territorial do município é de 484 km² e segundo a

contagem de 2007, possui 88.815 habitantes. Dados de 2006 do IBGE apontam que o PIB per capita do município gira em torno de 7.832 reais.

Caraguatatuba configura-se atualmente como um dos municípios do litoral paulista que tem recebido grandes investimentos no setor de petróleo e gás. A expansão deste setor, associada a novas descobertas de petróleo e gás, intensifica o aumento da probabilidade de acidentes de derrames de óleo na região.

Além disso, Caraguatatuba localiza-se nas proximidades do TEBAR (Terminal Marítimo Almirante Barroso), em São Sebastião.



Figura 1: Município de Caraguatatuba/SP (fonte: CETESB - www.cetesb.sp.gov.br)

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item do trabalho contemplará todas as informações necessárias para dar subsídio às próximas etapas do estudo. Tais informações foram divididas em três itens – 1. Caracterização dos ambientes costeiros para o município de Caraguatatuba; 2. Cartas de sensibilidade ao óleo (Cartas SAO) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG); 3. Modelagem Numérica para derrames de óleo.

4.1. Caracterização dos ambientes costeiros: Caraguatatuba

Os ambientes costeiros são locais altamente complexos tanto do ponto de vista geomorfológico quanto biológico (LOPES *et al.*, 2006). Para que se pudesse abranger todo o estudo de ecossistemas costeiros seria necessário um estudo minucioso de cada ambiente. Entretanto, foi preciso determinar um escopo para este trabalho, que considerou cinco grandes grupos distintos de ambientes – praias, costões rochosos, manguezais, estruturas artificiais e terraços de baixa-mar – caracterizados principalmente a partir de consultas no manual para ambientes costeiros contaminados por óleo elaborado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), publicado no ano de 2006; publicação da NOAA (National Oceanic And Atmospheric Administration) de 1992; além de dissertações de alunos do Grupo de Pesquisa em Sensibilidade Ambiental – UNESP.

4.1.1. Praias

Praias constituem ambientes costeiros contíguos aos mares, estuários, oceanos e outros corpos hídricos. Comumente são formadas por areia - material inconsolidado mineral de granulometria variada (Figura 2). Podem ser também compostas por silte ou argila, cascalhos, pedras roladas, seixos, calhaus, conchas, restos de corais e algas calcárias, entre outros (LOPES *et al.*, 2006).



Figura 2 - Praia das Palmeiras, Caraguatatuba-SP (fonte: Pincinato, 2007)

O sistema praial pode ser subdividido em ambientes, denominados por Souza (2005) de *zonas* ou *setores*. A divisão é feita ao longo de um perfil transversal à linha de costa. Tal perfil é classificado por Souza (2005), no sentido continente-oceano, da seguinte maneira:

Pós-praia (*backshore*): Também denominada pelos biólogos de *zona supramaré*, é a zona entre o nível do mar na maré alta de sizígia e a base de uma falésia, duna, terraço marinho, linha de vegetação permanente.

Estirâncio (*foreshore*): Também denominada de *zona intermaré*, está situada entre o nível do mar na maré alta de sizígia e o nível do mar na maré baixa de sizígia.

Face litorânea (*shoreface*): Denominada também de *zona inframaré*, compreende a zona entre o nível do mar na maré baixa de sizígia e o nível de base de ação das ondas de tempo bom.

Ao que se refere à morfodinâmica do ambiente praial, considera-se que é variante principalmente em função de condicionantes geológico-geomorfológicos e oceanográficos (SOUZA, 2005). As características da morfologia de praia analisadas em determinado período são devidas ao tipo de sedimento, força das ondas, marés e vento, e das características da praia antecedente. No entanto, durante um longo período, as praias assumem uma característica predominante de tipo de ambiente.

De acordo com Suguio (1992), praias com baixa declividade nas quais a energia das ondas é dissipada pelo atrito, são chamadas de *praias dissipativas*. Já as *praias reflexivas*, também chamadas popularmente de *praias do tombo* são aquelas de alta declividade com ondas de alta energia. Deste modo, é possível se dizer que o declive de uma praia está relacionado tanto com a granulometria, quanto com o grau de exposição às ondas.

Dissertações de LIMA (2007), WIECZORECK (2006) e PINCINATO (2007) apresentadas pelo Grupo de Sensibilidade Costeira da UNESP-Rio Claro, mostraram que o tamanho dos grãos de praia e declividade podem variar sazonalmente. Esta mudança da morfologia do verão para inverno às vezes é brusca, podendo ser suficiente para alterar o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL).

4.1.2. Costões Rochosos

Costões rochosos são afloramentos rochosos cristalinos localizados na linha do mar e estão sujeitos às ações dos ventos, das correntes e das ondas, as quais conferem aos costões diferentes morfologias como costões amplos e matacões (Figuras 3 e 4) (LOPES *et al.*, 2006).



Figura 3 - Costão da Ponta do Cambiri, Caraguatatuba/SP. (fonte: Pincinato, 2007)



Figura 4 - Costão direito da Prainha, Caraguatatuba-SP. (fonte: Pincinato, 2007)

Na zona entremarés – porção do costão sob efeito das marés – os costões são caracterizados por diferentes subzonas: *zona supralitoral*, que é atingida apenas por marés muito altas; *zona mediolitoral*, sob ação direta das marés; *zona infralitoral*, região do costão permanentemente submersa (LOPES *et al.*, 2006).

Em relação aos fatores ambientais, são dois os de grande importância na caracterização dos costões: *grau de exposição às ondas* e heterogeneidade. Em relação ao *grau de exposição às ondas*, que é determinado principalmente pelo nível de impacto das ondas, pode conferir aos costões dois tipos de classificação: exposto ou protegido. Quanto à heterogeneidade de um costão, caracteriza-se que quanto maior a heterogeneidade de um costão, maior é sua diversidade biológica (LOPES *et al.*, 2006).

4.1.3. Manguezais

Manguezais são sistemas costeiros de transição entre ambientes aquáticos e terrestres, característicos de regiões tropicais e subtropicais (LOPES *et al.*, 2006). A condição de existência dos manguezais está intrinsecamente relacionada ao clima e precipitação da chuva. A temperatura média mensal mínima deve ser superior a 20°C e a amplitude térmica não pode ultrapassar 5°C. É necessária alta precipitação para evitar o acúmulo de sais, permitindo o desenvolvimento da vegetação.

Manguezais contêm um ecossistema extenso e diverso e desempenha um papel essencial para toda a cadeia alimentar oceânica. Diante dessa importância, os manguezais são considerados no Brasil como Área de Preservação Permanente conforme o artigo 2º da Lei Federal 4.771/65 e Reserva Ecológica segundo a resolução CONAMA 004/85. Além disso, é considerado Patrimônio Nacional no artigo 225, § 4º da Constituição Federal de 1988 (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

Existem diversos tipos de manguezais, que podem ser classificados em cinco tipos de bosques, de acordo com marés, drenagem da superfície terrestre e espécies de mangue: bosque de franja, de bacia, de ilhote, ribeirão e anão. Cada um desses tipos apresenta diferente sensibilidade ao óleo, no entanto, os ambientes manguezais estão inseridos no mais alto grau de sensibilidade de acordo com o Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (BRASIL, 2004).

4.1.4. Estruturas artificiais

As estruturas artificiais localizadas na costa são construídas para desempenhar diversas funções. São geralmente enrocamentos, píeres, cais, rampas, muros, etc. Tais estruturas são capazes de abrigar animais e plantas típicos de costões rochosos.

A classificação de estruturas artificiais se dá principalmente em relação ao *grau de exposição às ondas* e heterogeneidade (LOPES *et al.*, 2006). Deste modo, estruturas artificiais com baixo grau de exposição às ondas e alta heterogeneidade propiciam uma maior complexidade biológica.

4.1.5. Terraços de baixa-mar

Terraços de baixa-mar são ambientes com declive muito suave que ficam expostos na baixa-mar, e ocorrem em áreas costeiras abrigadas das ações das ondas, sendo, portanto, locais de deposição de sedimentos finos (LOPES *et al.*, 2006). Deste modo, são ambientes lodosos de grande riqueza biológica.

Derrames de óleo envolvendo a contaminação de terraços de baixa-mar são preocupantes devido ao caráter de sensibilidade biológica e da limitação nos procedimentos de limpeza (LOPES *et al.*, 2006).

4.2. Cartas de sensibilidade ao óleo (Cartas SAO) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos. Tais dados representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la (CÂMARA et al., 1996).

Segundo Bonham-Carter (1994), a habilidade para sintetizar automaticamente tanto “layers” de dados geográficos como banco de dados de entidades espaciais é a chave para a definição funcional do SIG. A utilização de SIGs facilita a integração de dados coletados de fontes heterogêneas, de forma transparente ao usuário final. Os usuários não estão restritos aos especialistas em um domínio específico. Cientistas, gerentes, técnicos, funcionários de administração de diversos níveis e o público em geral vêm usando tais sistemas com frequência cada vez maior.

Os dados de um SIG podem ser organizados sob a forma de um banco de dados geográfico. Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de

gerência de banco de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

De uma forma geral, as funções de processamento de um SIG operam sobre dados em uma área de trabalho definida pelo usuário. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados, que podem ser espaciais ou não (CÂMARA et al., 1996).

Até 1989 as cartas de sensibilidade ambiental eram produzidas em papel. Desde então, cartas digitais têm sido produzidas utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto. Com o incremento dessas novas tecnologias, as cartas de sensibilidade deixaram de ser produtos restritos, tornando-se uma ferramenta com demandas em vários formatos. Isto inclui mapas digitais para serem visualizados em computadores pessoais, que podem ser disponibilizados na web, e um complexo SIG relacionando, de forma rápida e sistematizada, um maior número de informações.

Os SIGs trouxeram, também, enormes facilidades de atualização das cartas, uma vez que novas informações podem ser agregadas aos mapas, na medida em que vão sendo adquiridas (JENSEN et al. 1998). Por outro lado, a incorporação de informações de natureza geográfica num SIG possibilita os mais variados tipos de análise espacial, permitindo o uso destes dados para melhor compreensão dos fenômenos espaciais.

A elaboração das cartas SAO demanda grande quantidade de informações descritivas e espaciais, de modo que as sensibilidades dos vários ambientes

sejam analisadas e representadas com a maior segurança possível. Esta grande quantidade de informações gera a necessidade da organização dos dados em sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD), que funcionam integrados ao Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Uma vez organizados dentro de um ambiente SIG, tem-se o banco de dados alfanumérico, com todas as variáveis e atributos necessários ao processo de elaboração das cartas SAO, associado a uma base espacial com relações topológicas.

A organização da grande quantidade de dados permite disponibilizar o Sistema para outras atividades de enorme importância para o país e a sociedade, tais como o gerenciamento costeiro, o planejamento urbano, o controle do acesso às áreas de preservação ambiental, etc. Os dados podem ser disponibilizados via internet, aumentando a rapidez e a eficiência do processo.

4.3. Modelagem numérica para derrames de óleo

Dentro da modelagem numérica é possível atingir diferentes resultados, dependendo do escopo adotado. Alguns modelos são desenvolvidos para uma previsão tática de curto-prazo, a fim de se tomarem rápidas decisões para conter, controlar e adotar procedimentos de limpeza para derrames acidentais de óleo no mar. Outros modelos são desenvolvidos para uma avaliação estratégica de um derrame a longo-prazo, a fim de se estabelecer políticas de

conservação e medidas preventivas para eventuais acidentes com óleo (ASCE, 1996).

A modelagem de derrames de óleo envolve aplicação de métodos probabilísticos ou determinísticos, de duas (2D) ou três dimensões (3D), os quais determinam desde a simples trajetória da mancha, ou modelos que acompanham a partícula ao longo do tempo, até modelos que incluem simulação de ações de resposta e estimativa dos danos biológicos (REED et al., 1999).

Para este trabalho, foram elaboradas tanto modelagens determinísticas quanto probabilísticas. O modelo probabilístico consiste em uma ferramenta muito útil para planos de contingência. É usado para determinar a distância e direções do derrame de óleo de um ponto de descarte, dados os valores de velocidade e direção do vento da área de estudo. O modelo probabilístico executa um grande número de simulações para um ponto de derrame, variando as condições de vento para cada cenário. Um uso prático para as informações geradas inclui a determinação de onde a equipe de resposta deve estar posicionada para ser mais efetiva no combate. Já o método determinístico é usado para planos de respostas ao derrame de óleo. Ele mostra o destino do óleo na superfície da água para um período determinado.

Os modelos aqui discutidos têm como *input*, processos físico-químicos complexos e inter-relacionados - são processos de advecção (vento e corrente), dispersão horizontal, inércia, viscosidade, tensão superficial, emulsificação, transferência de massa, mudanças nas propriedades físico-

químicas do óleo (evaporação, *entrainment* e dissolução), e a interação de óleo ao tocar a costa (ASCE, 1996).

A grande gama de variáveis utilizadas no *input* da modelagem está diretamente relacionada com as diferenças dos resultados das modelagens. A implementação dos algoritmos é o fator crítico para o desempenho do modelo. Além disso, o desempenho de um algoritmo pode afetar o desempenho de outros algoritmos, o que requer otimização na integração entre os mesmos (REED *et al.*, 1999).

É fundamental que os dados e as ferramentas computacionais sejam validados para a área específica de estudo (REED *et al.*, 1999).

5. Métodos e etapas de trabalho

5.1. Aquisição de informações e adequação da base de dados

A implementação teve início com a organização e sistematização dos dados alfanuméricos, levantados por Pincinato (2007). A fim de se padronizar os dados coletados, consultou-se a proposta de BRASIL (2004) para a elaboração de tabelas uniformes para todo o Grupo de Pesquisa em Sensibilidade Ambiental.

Deste modo, os dados foram organizados por tipos de ambientes costeiros, com as características específicas a cada um deles, e características gerais para todos os ambientes. Para a representação dos ambientes nas cartas

SAO, utilizam-se linhas ou áreas, que são subdivididos em trechos de características semelhantes. Para cada subdivisão é dado o nome de segmento. A figura 5 ilustra um trecho de uma carta SAO com diferentes segmentos, representados por cores diferentes, de acordo com o ISL.

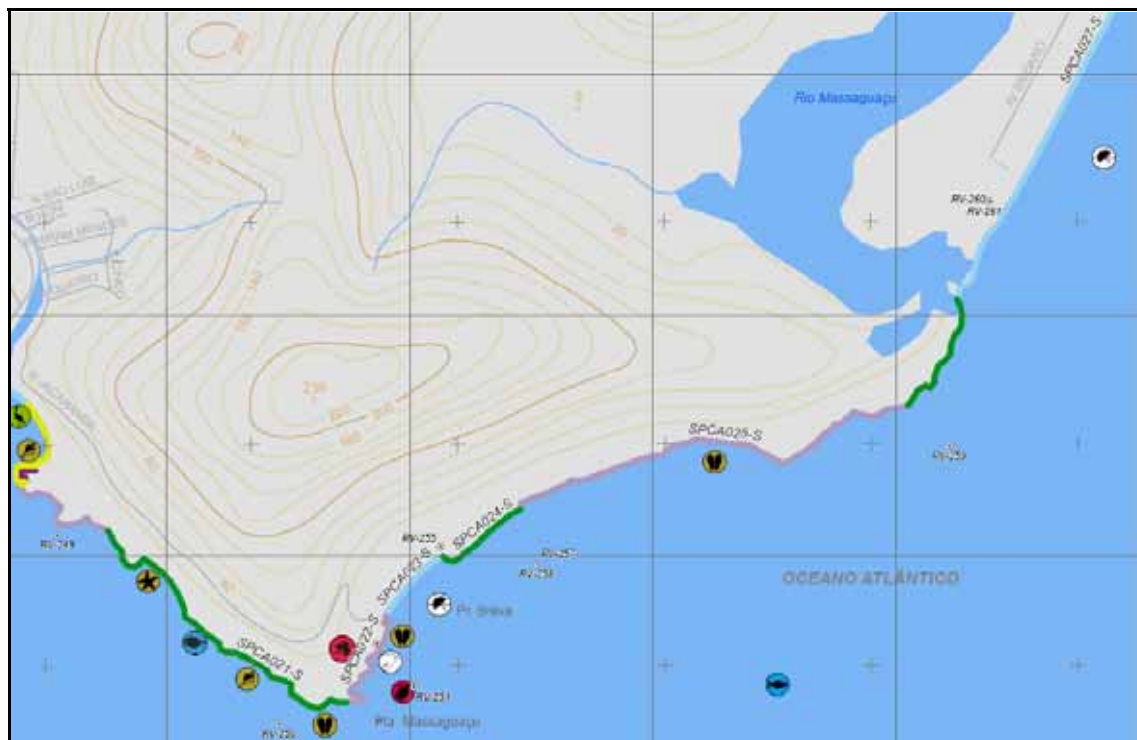


Figura 5 - Trecho de carta SAO representando parte da costa de Caraguatatuba, com diferentes segmentos. (Fonte: PINCINATO, 2007)

Abaixo segue a Tabela 1, que expõe os atributos referentes a todos os ambientes, classificados por segmentos:

Tabela 1 - Atributos Referentes a todos os ambientes costeiros.

Atributos referentes a todos os segmentos	
Código do segmento	Normas estabelecidas pelo Ministério do Meio Ambiente em BRASIL (2004).
Nome	Nome do segmento, quando existir
Recursos visuais	Código com terminologia unificada para os arquivos de fotos
ISL	Índice de Sensibilidade do Litoral
UTM inicial	Início da coordenada do segmento
UTM final	Fim da coordenada do segmento *Nota-se que para ambientes manguezais e terraços de baixa-mar, que compõem feições de área, utiliza-se o campo UTM centro.
Extensão	
Descrição	
Exposição às ondas	
Declividade	
Procedimentos de combate recomendados	Listagem de técnicas de limpeza de derramamento de óleo específicas para o segmento em questão
Procedimentos de combate não recomendados	Listagem de técnicas não recomendadas de limpeza de derramamento de óleo específicas para o segmento em questão
Disposição de resíduos	Indica local no segmento apropriado para a locação de resíduos.

Acesso de embarcações	Informa a existência deste tipo de acesso
Tipo de acesso aquático	Informa qual a estrutura do acesso de embarcação
Área de manobra	
Área de estacionamento	
Ponto logístico	
Desembarque de veículos leves	
Desembarque de veículos pesados	
Informações adicionais relevantes	
Classe de extração de recursos minerais	
Tipo de extração de recursos minerais	
Estrutura de Apoio	
Nome da estrutura de apoio	
Tipo de recurso cultural	
Nome do recurso cultural	
Classe do serviço	
Tipo do serviço	

Tipos de impactos	
Tipo de infra-estrutura náutica	
Nome da infra-estrutura náutica	
Classe de recreação	
Tipo de recreação	

A Tabela 2 informa somente os atributos para praias.

Tabela 2 - Atributos considerados somente para praias.

Atributos considerados somente para o ambiente de praia		
Área (verão/inverno)	ISL (verão/inverno)	Descrição (verão/inverno)
Granulometria (verão/inverno)	Exposição às ondas (verão/inverno)	Declividade (verão/inverno)

A Tabela 3 informa os atributos para costões rochosos.

Tabela 3 - Atributos considerados somente para costões rochosos.

Atributos considerados somente para costões rochosos		
Morfologia	Litologia	Heterogeneidade

A Tabela 4 informa os atributos para manguezais.

Tabela 4 - Atributos considerados somente para manguezais.

Atributos considerados somente para manguezais		
Tipo de Substrato	Tipo Fisiográfico	UTM central

A Tabela 5 informa os atributos para estruturas artificiais.

Tabela 5 - Atributos considerados somente para estruturas artificiais.

Atributos considerados somente para estruturas artificiais	
Orientação	Fendas

A Tabela 6 informa os atributos para terraços de baixa-mar.

Tabela 6 - Atributos considerados somente para terraços de baixa-mar.

Atributo considerado somente para terraços de baixa-mar
Tipo de substrato

5.2. Implementação do banco de dados

Após a padronização da tabela de atributos, foram trabalhados os dados no *software* Microsoft Excel. Foram resgatados os dados de Pincinato (2007) para o preenchimento das tabelas, porém, nem todos os campos foram preenchidos

devido à ausência de informações. A Figura 6 mostra um exemplo desta parte da implementação dos dados.

COD_SEG	Nome	utm_inicio	utm_fim	extensao	descricao
SPCA007-S		8 439748, 7388677	439768, 7388662	219 284889	costão direito da praia
SPCA007-S		8 439748, 7388677	439768, 7388662	219 284889	costão direito da praia
SPCA013-S	Costão de Pedra do Jacaré	8 480287, 7388560	480298, 7388257	343 832622	
SPCA014-S		2 480270, 7388203	480170, 7388203	89 330185	
SPCA018-S	Costão de Ponta de Martins de Sá	2 480298, 7388257	480542, 7388308	307 333189	
SPCA018-S	Costão Esquerdo de Martins de Sá	8 480171, 7387318	481793, 7387179	186 381050	Depósito de Talus
SPCA020-S	Costão Esquerdo de Martins de Sá	2 480171, 7387385	481882, 7387054	503 965879	Costão rochoso
SPCA021-S	Costão Esquerdo de Martins de Sá	8 480188, 7387054	482370, 7388687	889 748809	Depósito de Talus e costão rochoso
SPCA022-S	Costão Direito da Praia Brava	2 482370, 7388687	482451, 7388675	285 879233	Costão rochoso
SPCA024-S	Costão Esquerdo da Praia Brava	8 482368, 7387001	482729, 7387089	252 620678	Depósito de Talus
SPCA025-S		2 482729, 7387089	482526, 7387214	896 280643	Costão rochoso
SPCA026-S	Costão de Lagoa Azul	8 482526, 7387214	483626, 7387033	272 338178	Depósito de Talus
SPCA028-S	Costão de Cocoroba	8 483552, 7391832	488570, 7391798	39 334198	
SPCA037-S	Costão Direito de Tabatinga	8 479094, 7393129	479094, 7393878	287 337530	
SPCA037-S	Costão Direito de Tabatinga	8 479094, 7393129	479094, 7393878	287 337530	
SPCA052-S	Ilha do Tamandua	8 471318, 7390893	471211, 7390813	136 339535	
SPCA052-S	Ilha do Tamandua	8 471318, 7390893	471211, 7390813	136 339535	
SPCA052-S	Ilha do Tamandua	8 471318, 7390893	471211, 7390813	136 339535	
SPCA057-S	Ilha do Tamandua	8 470213, 7390882	470188, 7390648	86 522207	Costão rochoso
SPCA057-S	Ilha do Tamandua	8 470213, 7390882	470188, 7390648	86 522207	Costão rochoso
SPCA057-S	Ilha do Tamandua	8 470213, 7390882	470188, 7390648	86 522207	Costão rochoso
SPCA057-S	Ilha do Tamandua	8 470213, 7390882	470188, 7390648	86 522207	Costão rochoso
SPCA058-S	Ilha do Tamandua	8 488836, 7390042	488863, 7389884	188 831753	Costão rochoso
SPCA044-S	Ilha do Tamandua	1 488863, 7389884	470002, 7389882	483 831484	Feição do segmento e fenda recorrente com grande profundidade, a qual representa uma potencial armadilha ao óleo
SPCA045-S	Ilha do Tamandua	6 470302, 7389882	470389, 7389838	342 823889	Depósito de Talus
SPCA048-S	Ilha do Tamandua	2 470589, 7389528	470833, 7390117	386 776514	Feição do segmento e fenda recorrente com grande profundidade, a qual representa uma potencial armadilha ao óleo
SPCA048-S	Ilha do Tamandua	2 470589, 7389528	470833, 7390117	386 776514	Feição do segmento e fenda recorrente com grande profundidade, a qual representa uma potencial armadilha ao óleo
SPCA048-S	Ilha do Tamandua	2 470589, 7389528	470833, 7390117	386 776514	Feição do segmento e fenda recorrente com grande profundidade, a qual representa uma potencial armadilha ao óleo

Figura 6 - Tela do Excel com a tabela do ambiente Costão.

Após a etapa de preenchimento das tabelas, os arquivos foram reinseridos nos arquivos *.shp* no ambiente do *software* ArcGis. Devido à compatibilização dos arquivos *shapes* com o banco de dados existente, as coordenadas UTM foram transformadas para Lat/Long (Latitude/Longitude).

5.3. Modelagem de dispersão de óleo no município de Caraguatatuba

Esta etapa do trabalho foi executada com o apoio da empresa Applied Science Associates – ASA South America – localizada na cidade de São Paulo.

As simulações foram realizadas no sistema de modelos conhecido como OILMAP, desenvolvido pela *Applied Science Associates (ASA), Inc.* dos EUA.

O sistema de modelos OILMAP é baseado em diversos componentes integrados. O modelo de derrame prevê o movimento do óleo na superfície da água e no ambiente (quantidade de óleo evaporado, presente na coluna d'água ou na linha de costa). Para realizar tais cálculos o modelo de derrame baseia-se em dados ambientais, tais como dados de vento e de corrente; dados físicos, como a proximidade com a linha de costa; e dados químicos que definem o tipo de óleo. Cada um desses dados pode ser integrado e editado usando componentes apropriados no OILMAP.

Para a realização das simulações, selecionou-se um conjunto de dados de entrada e parâmetros do modelo, os quais definem os cenários (Tabela 7).

Tabela 7 - Dados de entrada e parâmetros utilizados para todos os cenários elaborados

Dados de entrada	
Localização geográfica do ponto de derrame	23°37'84,24" S ; 45°24'41,13" W
Duração do derrame	Instantâneo
Volume derramado	300 litros
Tipo de óleo	Diesel
Duração da simulação	72 horas
Campo de correntes	POM2K_SSEBAS_INV.BPC
Arquivo de dados meteorológicos	NCEP_SAOSEBAS_2000_2001.WIX
Parâmetros de simulação	
número de partículas	600
Fator de vento	1,5%

Coeficiente de dispersão horizontal	3 m ² /s
Passo de tempo do modelo	10 min
Passo de tempo do arquivo de saída	10 min

O local de derrame escolhido representa uma área de encontro de embarcações pesqueiras e turísticas. Na região ocorre a pesca de camarões, e no entorno do ponto há também a presença de um ancoradouro.

O volume utilizado nas simulações (300 litros) foi definido como o volume resultante da colisão ou naufrágio de uma pequena embarcação de pesca ou turismo. Nas simulações considerou-se o vazamento instantâneo de todo o volume de óleo diesel.

Os parâmetros de simulação são valores-padrão utilizados pela ASA para o óleo diesel tipo combustível. Geralmente utiliza-se o dobro de partículas em relação ao volume derramado.

As simulações foram realizadas com o óleo do tipo diesel (óleo combustível), cujas características encontram-se definidas na Tabela 8, de acordo com informações provenientes do banco de dados da ASA.

Tabela 8 - Características do óleo diesel tipo combustível

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	<i>DIESEL FUEL OIL</i>
Densidade (g/cm³) a 20°C	0,8510
Viscosidade dinâmica a 25°C (cP)	3,340

Tensão interfacial (din/cm)	28,000
Espessura mínima (mm)	0,100
Ponto de ebulição inicial (K)	517,600
Gradiente da curva de evaporação	139,800
Constante de evaporação A	20,300
Constante de evaporação B	18,100

O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de 72 horas para o acompanhamento da mancha de óleo.

As simulações para a determinação da dispersão de óleo do tipo diesel foram realizadas utilizando-se o modelo OILMAP no modo probabilístico, no qual se considera a variabilidade das forçantes ambientais. Assim, as simulações de comportamento da mancha de óleo foram realizadas através da variação das condições meteorológicas e oceanográficas, divididas em duas condições principais, correspondendo aos períodos de verão e inverno. Para que se pudesse incorporar a variabilidade dessas forçantes, foi realizada com o modelo OILMAP uma série de 400 simulações para cada cenário probabilístico. A Tabela 9 apresenta os cenários probabilísticos simulados neste estudo.

Tabela 9 - Resumo dos cenários probabilísticos

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME (litros)	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
-----------------	----------------	----------------------------	---------------------------	-------------------------------

CARAGUA_DIESEL_VER_72H	óleo diesel	300	Verão (dezembro e janeiro)	72 horas
CARAGUA_DIESEL_INV_72H			Inverno (junho a agosto)	

As simulações para os cenários determinísticos foram realizadas sob os mesmos dados de entrada dos cenários probabilísticos, o resumo dos cenários é apresentado na tabela 10.

Tabela 10 - Resumo dos cenários determinísticos

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO
DET_CARAGUA_DIESEL_VER_72H	Verão (1/1/2001 10:00am - 3/1/2001 10:00am)
DET_CARAGUA_DIESEL_INV_72H	Inverno (1/7/2000 10:00am - 3/7/2000 10:00am)

5.4. Elaboração do Mapa de vulnerabilidade ambiental ao óleo para a Enseada de Caraguatatuba-SP

Os mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo elaborados tiveram como base para sua confecção, os mapas de sensibilidade ambiental ao óleo produzidos pelos alunos do Projeto “Concepção, desenvolvimento e implementação de um sistema de informação aplicado à elaboração de cartas de sensibilidade ambiental a derrames de petróleo: litoral paulista.”. (CT-PETRO/MCT/CNPQ/16/2006)

A base de dados cartográfica foi a mesma utilizada por Pincinato (2007) e o banco de ícones dos recursos é o proposto pelo MMA (2004). As *shapes* das simulações elaboradas foram editadas no *software* ArcGis e esta edição consistiu em estabelecer a paleta de cores para as probabilidades, e adequar a projeção cartográfica.

A elaboração do mapa de vulnerabilidade ao óleo deve apresentar uma escala apropriada a fim de que toda a mancha ou probabilidade de óleo seja visualizada (ROMERO, 2009). Para simulações que compreendem uma escala operacional, as informações contidas nas cartas SAO podem ser inseridas nos mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo. No entanto, para simulações que compreendem escala tática, é necessária a simplificação dos ícones inseridos, e portanto, faz-se necessária a utilização conjunta dos mapas de vulnerabilidade com as cartas SAO, já que estas representam detalhes da sensibilidade do ambiente (ROMERO, 2009).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Disponibilização dos dados em ambiente *web*

A disponibilização dos dados foi efetuada em parceria com a empresa contratada GeoJá Mapas Digitais dentro do conceito de *webgis* que está

associado ao potencial de disponibilização de dados de natureza geográfica com flexibilidade e rapidez.

Este conceito foi desenvolvido espacialmente para a entrega de dados e informações via internet e intranets, através da apresentação visual de mapas gerados automaticamente. A entrada de dados constitui-se num enfoque recente, que vem encontrando êxitos sucessivos.

O webgis, ou serviço de mapas em portais, foi implementado através do MapServer 1996-2004 Regents University of Minnesota. O MapServer (<http://mapserver.cttmar.univali.br/>) é um ambiente gratuito de desenvolvimento voltado para construção de aplicações Internet/Intranet que necessitam apresentar informações espaciais. A versão em uso emprega a interface PHP/MapScript 4.2.3.

A interface de portal de acesso ao sistema foi feita através do servidor http seguro Apache. Apache é o servidor gratuito mantido por The Apache Software Foundation. Apache é o servidor seguro baseado nos pacotes Apache e ModSSL/OpenSSL, distribuído de acordo com uma licença estilo BSD (i.e. GPL). A versão utilizada foi a Apache http Server 1.3.20, com Kit de Criptografia OpenSSL 0.9.6a mantido por Eric A. Young.

As páginas servidas pelo httpd Apache necessitam de pré-processamento para incluir serviços via web, como o acesso ao banco de dados, personalização das páginas e autenticação. O pré-processamento foi realizado pelo módulo PHP, versão 4.0.5.

Os resultados podem ser vistos através do endereço virtual [HTTP://www.sao.rc.unesp.br/anp](http://www.sao.rc.unesp.br/anp). É importante ressaltar que o banco de dados apresenta-se ainda em fase de testes.

As figuras 7 e 8 mostram a tela de apresentação do *website* do projeto e a tela de visualização dos mapas gerados e implementados.

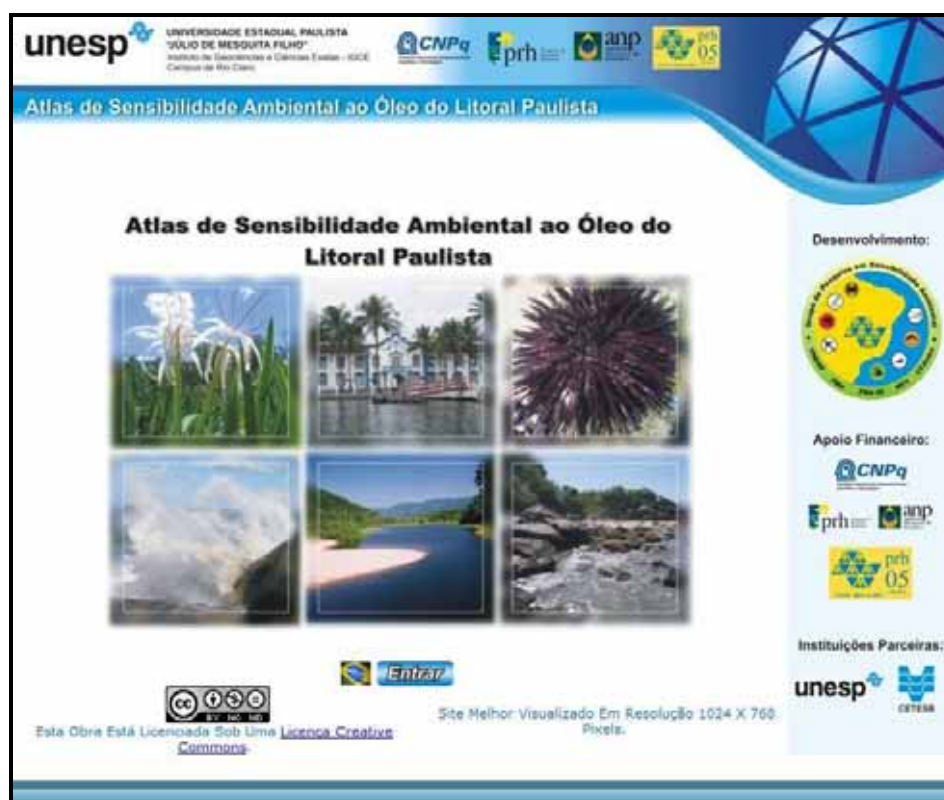


Figura 7 - Tela de apresentação do *website*.

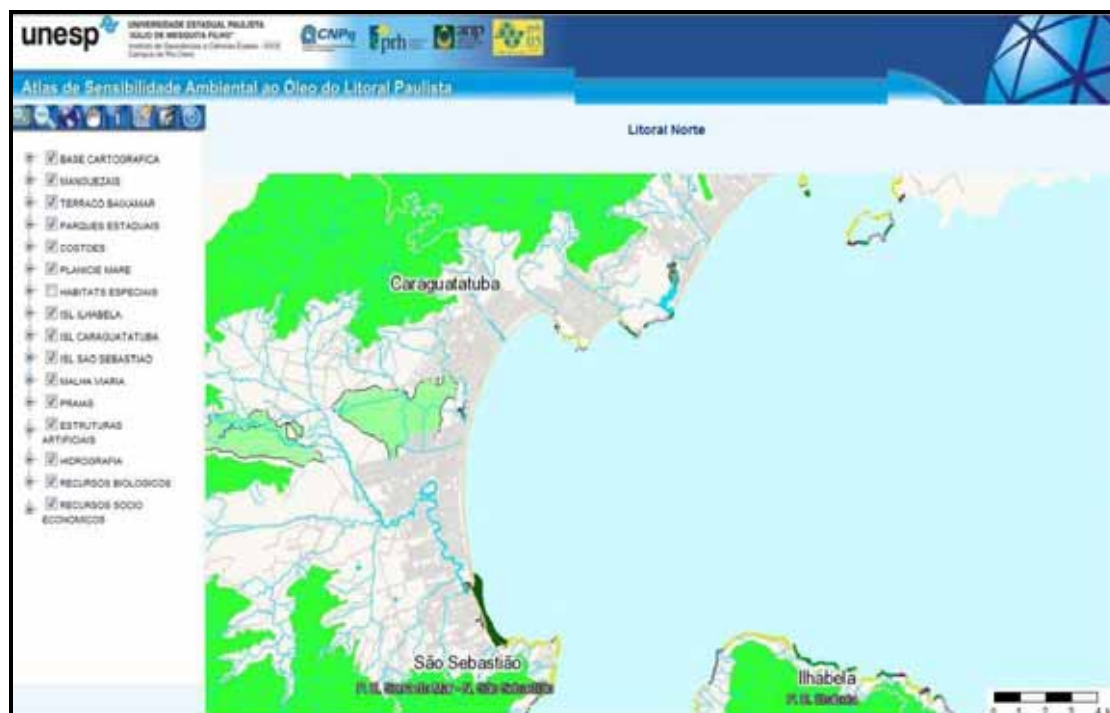


Figura 8 - Tela de visualização dos mapas gerados e implementados no ambiente web.

6.2. Resultado das simulações de derrame de óleo no município de Caraguatatuba

6.2.1. Simulações probabilísticas

As simulações probabilísticas foram realizadas em decorrência de hipotéticos derrames acidentais durante os períodos de verão (dezembro a janeiro) e de inverno (junho a agosto). Cabe ressaltar que as simulações realizadas consideram a trajetória e o intemperismo do óleo na ausência de medidas de contenção e remoção do óleo.

Em todas as figuras de contornos de probabilidade de óleo na água, o valor correspondente ao limite superior dos intervalos da escala de cores está incluído na classe. Assim, por exemplo, no intervalo de probabilidade de 10-20% estão incluídas as probabilidades superiores a 10% e menores ou iguais a 20%.

Nas figuras dos contornos de tempo, são apresentados os tempos de 2, 6, 12, 36, 60 e 72 horas após o início do derrame. Os primeiros intervalos de tempo foram selecionados de acordo com o tempo máximo para a disponibilização de recursos de contenção/limpeza no local da ocorrência da descarga, estipulado na Resolução do CONAMA no 398/08. O tempo adicional de 72 horas foi o critério de parada adotado nas simulações, requisito sugerido pelo órgão ambiental estadual CETESB.

6.2.2. Simulações determinísticas

Em ambos os cenários foram considerados um vazamento instantâneo de 300 litros, e simulados por 72 horas.

Os gráficos com o balanço de massa (óleo na superfície, na linha de costa e evaporado) para as simulações determinísticas de verão e de inverno são apresentados na Figura 9 e na Figura 10. Observa-se que, em ambos os períodos simulados, os processos que atuam na redução da massa de óleo na água são a interação com a linha de costa e principalmente a evaporação.

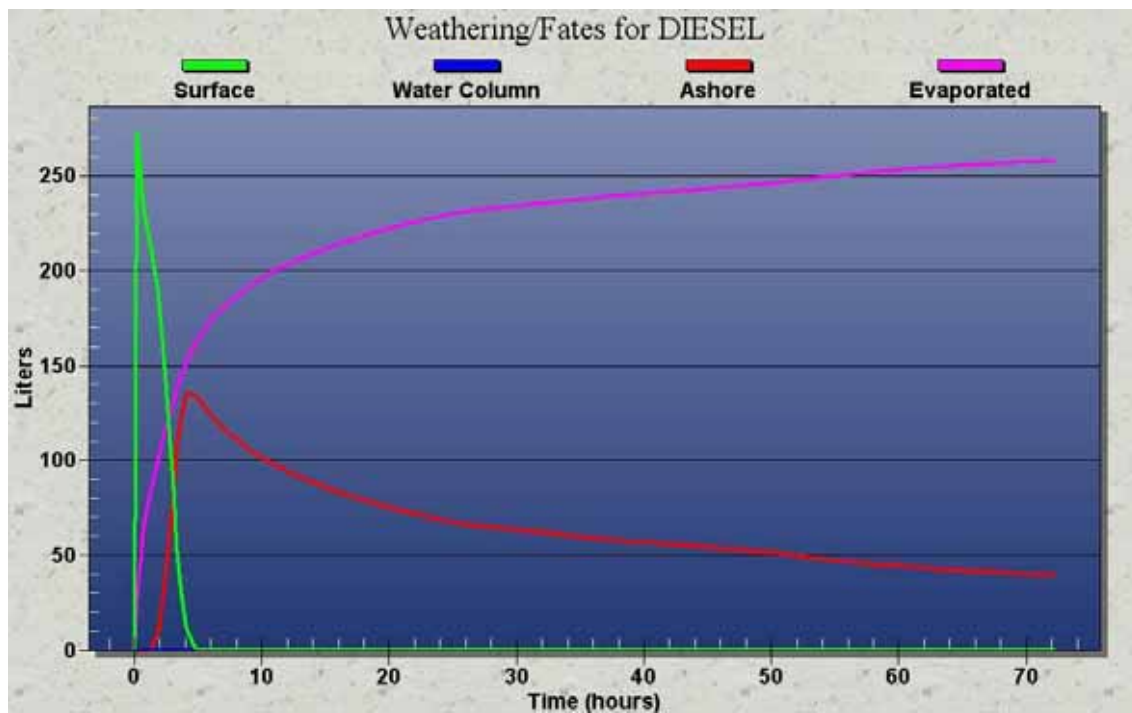


Figura 9 - Balanço de massa para o cenário determinístico de inverno

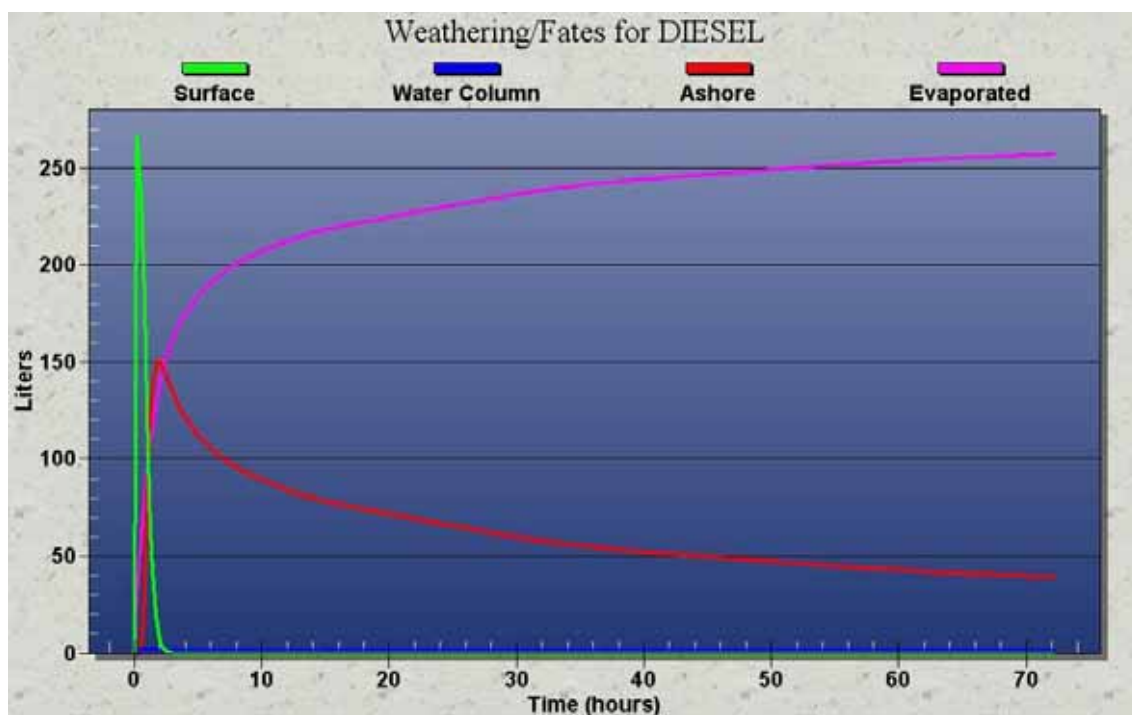


Figura 10 - Balanço de massa para o cenário determinístico de verão

6.3. Mapa de Vulnerabilidade ambiental ao óleo para a Enseada de Caraguatatuba-SP

Foram elaborados seis Mapas de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo para a Enseada de Caraguatatuba. Os mapas compreendem cenários probabilísticos sazonais de presença na superfície da água, para toque na costa e tempo de deslocamento na água. Os mapas elaborados encontram-se nos apêndices.

Em ambos os períodos (verão e inverno), as probabilidades de ocorrência de óleo ilustradas nos mapas são semelhantes, podendo se estender desde a Praia do Camaroeiro, até ao Rio da Lagoa. A análise dos contornos de probabilidade evidencia, ainda, a possibilidade de que áreas de alta sensibilidade ambiental possam ser afetadas, como a região próxima à Ponta do Cambiri, um terraço de baixa-mar, berçário de invertebrados, que apresenta ISL 7.

A grande parte da probabilidade da mancha atingiria a Enseada de Caraguatatuba, que apesar de apresentar ISL intermediário (ISL 4), apresenta intenso apelo sócio-econômico, com atividades turísticas e pesqueiras.

É importante ressaltar que no Brasil ainda não existe uma metodologia específica para elaboração de mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo, deste modo, a comparação e padronização de parâmetros se torna uma tarefa difícil.

Romero (2009), em sua recente tese de doutorado sugere uma padronização para elaboração de mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo,

a qual poderia ser utilizada pelos órgãos ambientais para dar diretrizes e auxílio aos planos de contingência ao óleo e ao planejamento costeiro.

7. CONCLUSÃO

A disponibilização dos dados do trabalho em ambiente *web* e os mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo elaborados permitem uma flexibilidade e praticidade no que tange as operações de combate e limpeza ao óleo. Deste modo, são ferramentas que poderão ser utilizadas no balizamento das ações de combate ao óleo e permitem que o planejamento costeiro para os derrames de óleo sejam rapidamente decididos.

O projeto elaborado para a disponibilização dos dados para o município de Caraguatatuba, servirá de exemplo para a implementação de sistema parecido para outras regiões do Brasil, auxiliando nos planos de emergência individual e no gerenciamento costeiro a nível municipal, através das cartas operacionais.

Vale ressaltar a sugestão de Romero (2009), de que haja uma padronização na elaboração dos mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo, hoje inexistente em âmbito nacional.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCE, 1996. State-of-the-Art Review of Modeling Transport and Fate of Oil Spills. **Journal of Hydraulic Engineering**, Vol. 122, N° 11, pp. 594-609.

BONHAM-CARTER, G.F., 1994 - **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Ottawa, Pergamon, 398 p.

BRASIL. **Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 107p.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B., **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: UNICAMP, 1996.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Litoral Norte**. São Paulo, 2005.

IPIECA. **Guía para la planificación de contingências ante derrames de hidrocarburos en agua**. Serie de informes de IPIECA. v. 2. 2p. 2000.

JENSEN, J. R.; HALLS, N. J.; MICHEL, J. A system approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 64, n. 10, p 1003-1014. 1998.

KETKAR, K. W. The oil pollution act of 1990: a decade Later. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 7, n. 1-2, p. 45-52, 2002.

LIMA, M. V. de. **Mapeamento de sensibilidade ambiental ao óleo do Arquipélago de Ilhabela – SP**. Dissertação. (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007. 157 p.

LOPES, C. F.; MILANELLI, J. C. C.; POFFO, I. R. F. **Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2006. 120p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de óleo**. DF: 22p. + anexos, 2004.

PINCINATO, F. L. **Mapeamento da sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo para a região costeira de São Sebastião e Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo (SP)**. Dissertação. (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

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**, Vol. 5, Nº 1, pp 3-16, 1999.

ROMERO, A. F. **Mapa de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo e Cartas SAO. Trecho: Praia Grande - Ilha Comprida, Litoral Paulista**. 2009. Tese. (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

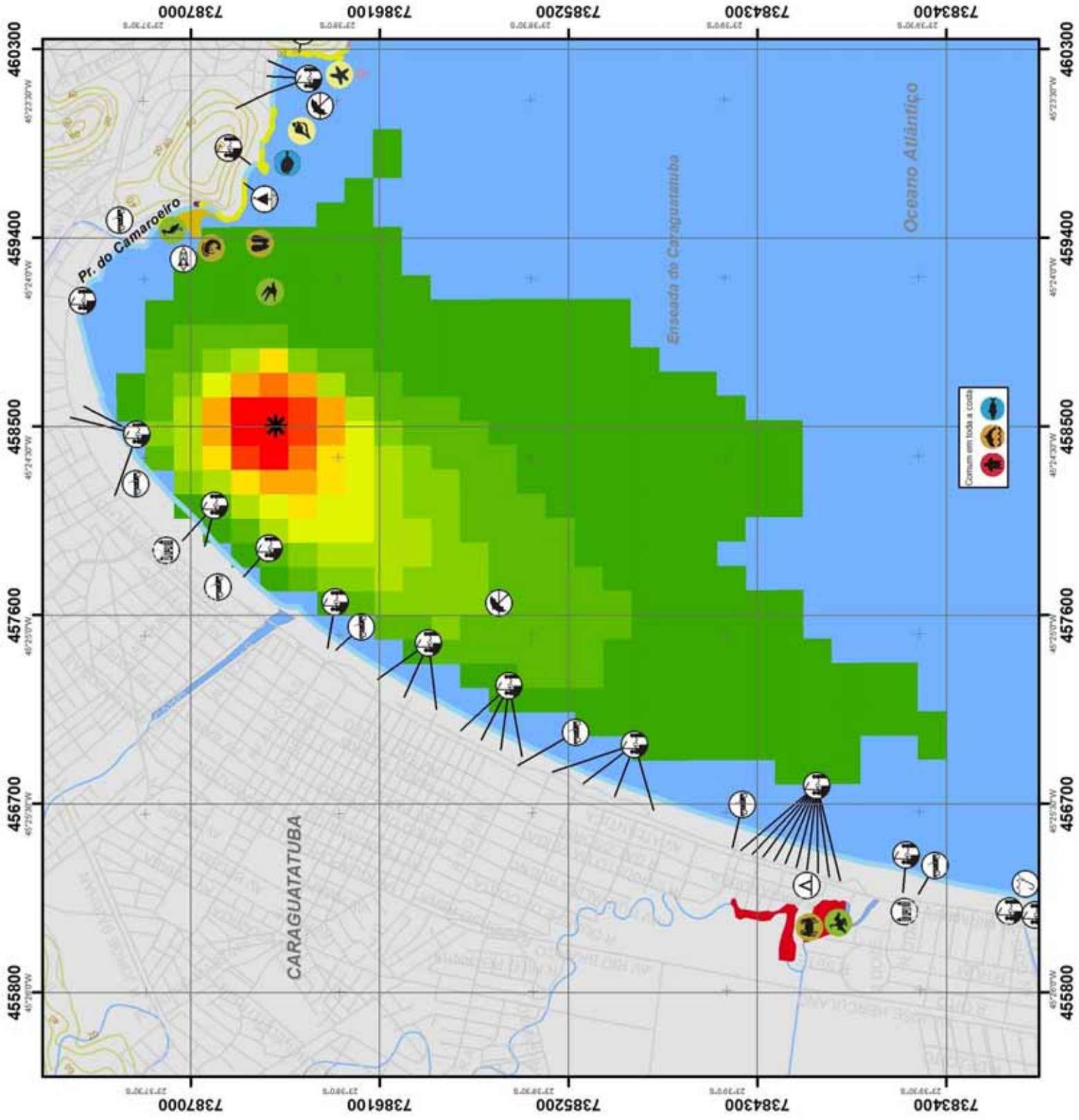
SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; Cintron-Molero, G. 1999. Brazilian mangroves: a historical ecology. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**, v.51 (3/4), 274-286.

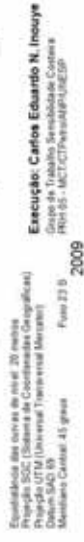
SOUZA, C. R. G. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Ed. Holos, 2005. 382 p.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia marinha**. São Paulo: T.A. Queiroz, 1992. 171 p.

WIECZOREK, A. **Mapeamento de sensibilidade a derramamentos de petróleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso – PEIC e áreas do entorno**. Dissertação. (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

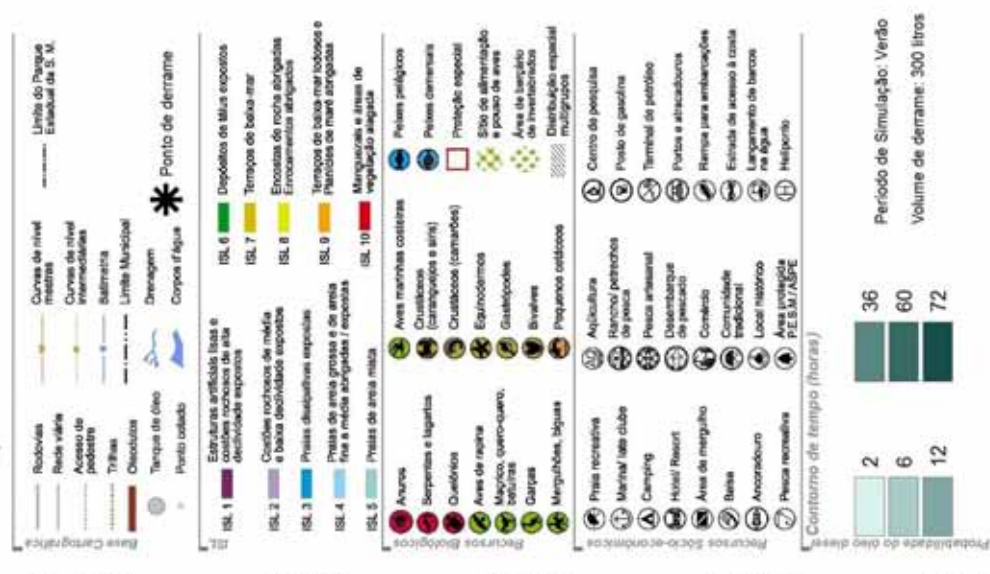
Probabilidade de óleo diesel na água
Período: Verão







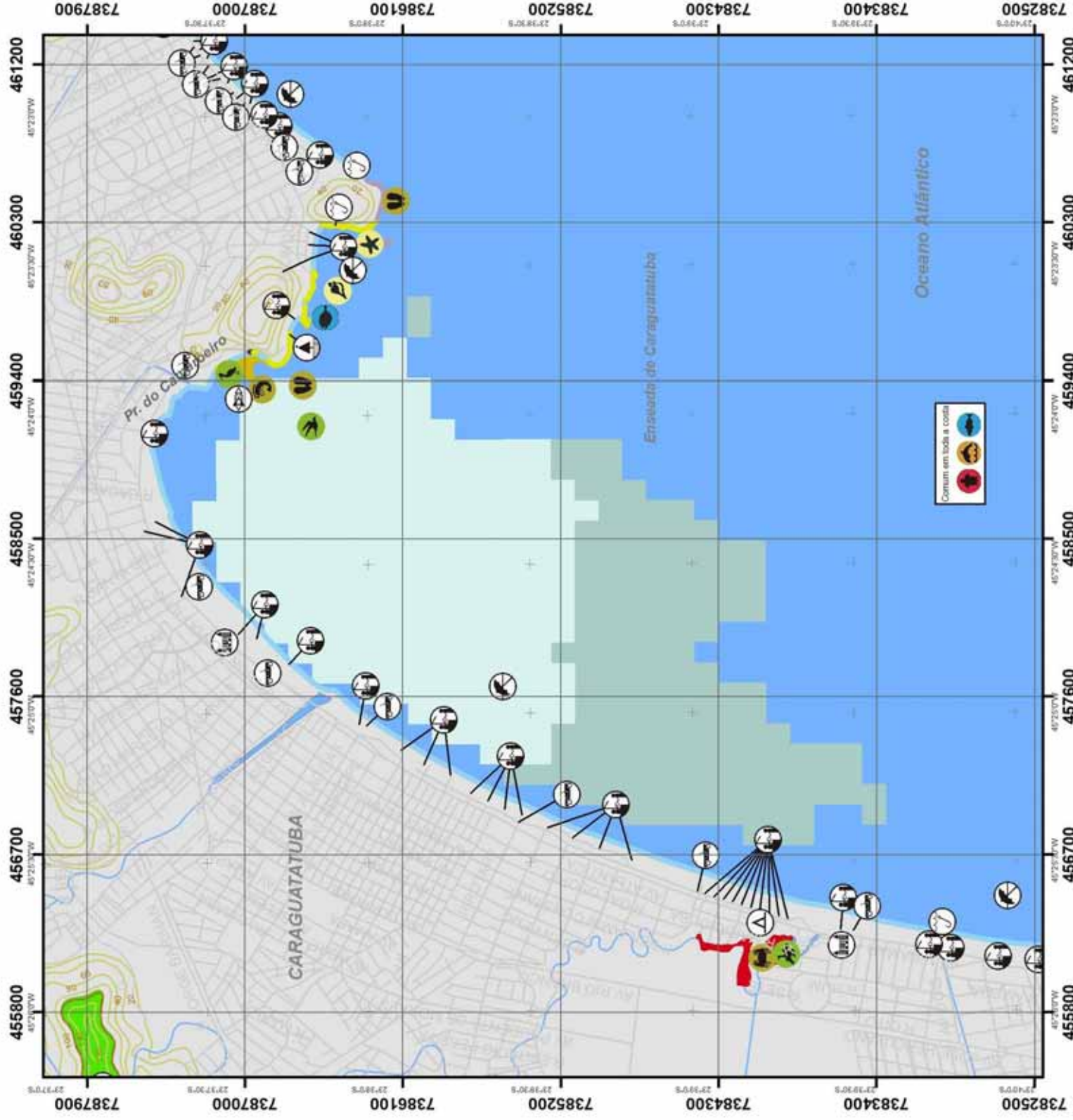
Tempo de deslocamento do
óleo diesel na água
Período: Verão



Escala
1: 30000
 0.5 0.25 0 0.5 1 Km

Base Cartográfica
 Banco de dados do Sistema de Informação de
 meio Ambiente e Recursos hídricos do período
 1990 a 2000. Projeto CITE/INPE/CPQ.

Equilíbrio das curvas de nível: 20 metros
Projeto: SDC (Sistema de Coordenadas Geográficas)
Projeto: UTM (Universal Transverse Mercator)
Datum: SAG 89
Máscara Central: 45 graus
Folha: 23 S
2009



Tempo de deslocamento do óleo diesel na água
 Período: Inverno



Carlos Eduardo Nakao Inouye

Paulina Setti Riedel