



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

TESE DE DOUTORADO

**SISTEMAS COMPUTACIONAIS ESPAÇO-TEMPORAIS PARA TOMADA
DE DECISÃO EM QUESTÕES AMBIENTAIS RELACIONADAS À
INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS**

Autora:

ANGÉLICA FÉLIX DE CASTRO

Orientador:

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (PPGG / UFRN)

Tese nº 18 / PPGG

Natal – RN, Agosto de 2007.

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

TESE DE DOUTORADO

SISTEMAS COMPUTACIONAIS ESPAÇO-TEMPORAIS PARA TOMADA DE DECISÃO EM QUESTÕES AMBIENTAIS RELACIONADAS À INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS

Autora:

ANGÉLICA FÉLIX DE CASTRO

Tese de Doutorado apresentada em 31 de agosto de 2007 para obtenção do título de Doutora em Geodinâmica pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (Orientador)

Prof. Dra. Helenice Vital (DG / PPGG / UFRN)

Prof. Dr. Sérgio Viana Fialho (DCA / PPGEE / UFRN)

Prof. Dr. Cleverson Guizan Silva (IGeo / UFF)

Profa. Dra. Valéria Gonçalves Soares (DI / UFPB)

Natal – RN, 31 de agosto de 2007.

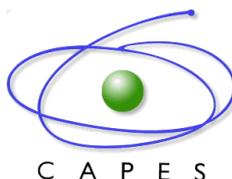


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

TESE DE DOUTORADO

Tese de Doutorado desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGG / UFRN), tendo sido subsidiada pelos seguintes financiadores:

- Agência Nacional do Petróleo – ANP / PRH22;
- Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, através do Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor Petróleo e Gás Natural – PRH-ANP/MME/MCT;
- Monitoramento Geo-ambiental de Áreas Costeiras na Zona Petrolífera de Macau, inserida no Estado do Rio Grande do Norte (RN) - MARPETRO (FINEP / CTPETRO / PETROBRAS);
- Monitoramento Ambiental de áreas de risco a derrames de petróleo e derivados – REDE 05 - PETRORISCO (FINEP / CNPq / CTPETRO / PETROBRÁS);
- Projeto PROBRAL 72/98 (CAPES/DAAD), “KUSTENENTWICKLUNG UND HEUTIGE KUSTENDYNAMIK RIO GRANDE DO NORTE – NE – BRASILIEN” (GTZ / DFG);



*Aos meus pais Neto Castro e
Jane Mary, à minha irmã
Aurélia e a Rodrigo por todos
os momentos de apoio,
atenção, amor e carinho.*

RESUMO

A área entre São Bento do Norte e Macau, no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, caracteriza-se por sofrer constantes processos de transporte litorâneo e eólico que causam alterações no balanço de sedimentos e modificações no traçado da linha de costa. Além desses fatores naturais, a interferência antrópica é ampla nas adjacências, composta por trechos ambientalmente sensíveis, como demonstra a presença do Pólo Petrolífero de Guamaré/RN, o maior produtor terrestre de petróleo do Brasil, além das atividades da indústria salineira e da carcinicultura. Este contexto socioeconômico-ambiental justifica a elaboração de estratégias de monitoramento ambiental dessa área costeira.

No monitoramento ambiental de faixas litorâneas alvo de impactos antrópicos é imprescindível o emprego de dados multifontes e multitemporais integrados por meio de um Banco de Dados Espaço-Temporal que permita o acesso amigável de multiusuários. O objetivo foi utilizar a potencialidade dos sistemas computacionais como ferramentas importantes no subsídio às tomadas de decisões por parte dos gestores do monitoramento ambiental. Os dados coletados e armazenados na forma de uma biblioteca virtual auxiliam nas tomadas de decisões a partir dos resultados relacionados e apresentados em diferentes formatos. Este procedimento amplia o uso dos dados no acompanhamento preventivo, no planejamento de ações futuras e na definição de novas linhas de pesquisas sobre a região, em abordagem multiescala.

Outro objetivo desta Tese consistiu no desenvolvimento de um sistema computacional que automatizasse a confecção de Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo, com base nas características que alguns ecossistemas costeiros apresentam de variações temporais na sensibilidade ao óleo. Os mapas gerados deste modo, baseados em metodologia difundida pelo Ministério do Meio Ambiente, fornecem informações mais atualizadas sobre o comportamento do ecossistema, como suporte às operações de contenção em caso de derramamento de óleo. Alguns parâmetros, como os dados hidrodinâmicos, a declividade da face de praia, tipos de recursos em risco (ambiental, econômico, humano ou cultural) e uso e ocupação da área são alguns dos tipos de

informações básicas essenciais na elaboração dos mapas de sensibilidade e que sofrem alterações temporais.

Deste modo, os dois sistemas computacionais desenvolvidos são considerados sistemas de apoio à decisão, pois fornecem subsídios operacionais ao monitoramento ambiental das áreas costeiras, considerando as transformações no comportamento dos elementos costeiros decorrentes das mudanças temporais inerentes da interferência humana e/ou natural do ambiente.

ABSTRACT

The area between São Bento do Norte and Macau cities, located in the northern coast of the Rio Grande do Norte State is submitted to intense and constant processes of littoral and aeolian transport, causing erosion, alterations in the sediments balance and modifications in the shoreline. Beyond these natural factors, the human interference is huge in the surroundings, composed by sensitive places, due to the existence of the Guamaré Petroliferous Pole, RN, the greater terrestrial oil producing in Brazil, besides the activities of the salt companies and shrimp farms. This socioeconomic-environmental context justifies the elaboration of strategies of environmental monitoring of that coastal area.

In the environmental monitoring of coastal strips, submitted to human impacts, the use of multi-sources and multitemporal data integrated through a Spatio-Temporal Database that allows the multiuser friendly access. The objective was to use the potential of the computational systems as important tools the managers of environmental monitoring. The stored data in the form of a virtual library aid in making decisions from the related results and presented in different formats. This procedure enlarges the use of the data in the preventive attendance, in the planning of future actions and in the definition of new lines of researches on the area, in a multiscale approach.

Another activity of this Thesis consisted on the development of a computational system to automate the process to elaborate Oil-Spill Environmental Sensitivity Maps, based on the temporal variations that some coastal ecosystems present in the sensibility to the oil. The maps generated in this way, based on the methodology proposed by the Ministério do Meio Ambiente, supply more updated information about the behavior of the ecosystem, as a support to the operations in case of oil spill. Some parameters, such as the hydrodynamic data, the declivity of the beach face, types of resources in risk (environmental, economical, human or cultural) and use and occupation of the area are some of the essential basic information in the elaboration of the sensitivity maps, which suffer temporal alterations.

In this way, the two computational systems developed are considered support systems to the decision, because they provide operational subsidies to the environmental monitoring of the coastal areas, considering the transformations in the behavior of coastal elements resulting from temporal changes related the human and/or natural interference of the environment

AGRADECIMENTOS

Desejo aqui expressar meus agradecimentos sinceros às pessoas que sempre me ajudaram e me apoiaram em todos os momentos. Assim agradeço:

A DEUS acima de tudo, por tudo que tem me proporcionado na minha vida: pela família maravilhosa que eu tenho, pela saúde concebida, por todas as oportunidades profissionais oferecidas, pelos amigos existentes e principalmente pelo ensino das éticas morais e cristãs.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte e ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica por terem me aceito no seu quadro discente e por terem me oferecido condições apropriadas de estudo e pesquisa ao longo do meu Doutorado.

À Agência Nacional de Petróleo (ANP) pela concessão da bolsa de pesquisa ao longo do Doutorado; além das inúmeras viagens realizadas para divulgação desse trabalho.

A CAPES por ter concedido a bolsa de Doutorado-Sanduíche durante um ano na cidade de Kiel, Alemanha, através do programa UNIBRAL 72/98.

Aos meus pais Neto Castro e Jane Mary que me ensinaram os verdadeiros valores do ser humano e sempre me apoiaram incondicionalmente em tudo que escolhi fazer. A eles, agradeço pela pessoa que sou hoje e por todo o carinho oferecido.

À minha irmã Aurélia e a minha prima Andreza pelo total apoio e bom humor nos momentos que fiquei triste ou desestimulada com algum acontecimento. Muito obrigada por estarem ao meu lado!

Ao meu orientador Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro, a quem admiro tanto, pelo constante incentivo, segurança, dedicação, confiança, ajuda e disciplina; além da sua verdadeira amizade. Obrigada por ter acreditado em mim e nesse trabalho!

Aos professores do Departamento de Geologia, que me ensinaram novos conceitos e outra maneira de ver o planeta Terra.

Aos funcionários do Departamento de Geologia, especialmente Nilda, Maria do Céu, Sônia, seu Emanuel e Bombeiro, que sempre me trataram da melhor forma possível.

Aos companheiros do Laboratório GEOPRO: Michael, Alfredo, Clenubio, Arnóbio, Dalton, Pauletti, Camilla, Fernanda, Bruno e Lilão pelo incessante auxílio na manipulação de algum *software* específico e pelos momentos de descontração nas horas de trabalho. Amigos, sem vocês, os meus dias teriam sido muito chatos!! Obrigada mesmo!!

À equipe do Laboratório do Grupo de Pesquisa em Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA), nas pessoas da Profa. Dra. Helenice Vital, Zuleide, Werner, Iracema e Marcelo Chaves.

Aos amigos conhecidos na Alemanha, principalmente Prof. Dr. Karl Stattegger, Heidi, Alexander Schimanski, Max Michelli, Fabiana, Mikail, San San e Eva; pela constante ajuda no ano que morei naquele país e por me ensinarem uma nova cultura e novos conhecimentos.

Aos amigos de Ciências de Computação Clenubio Feitosa de Souza e Oséas Rodrigues de Alcântara Junior, que assim como eu, se interessaram pelo mundo das Geociências e sempre estavam dispostos a trocar idéias e tirar dúvidas na hora do “sufoco”.

A Rodrigo Gusmão Cavalcante que se interessou pelo meu trabalho e se dispôs a estudá-lo comigo, me ajudando sempre nos momentos mais complicados. Obrigada por todo o apoio disponibilizado na obtenção dos resultados. Sem você, tudo teria sido mais difícil...

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram no desenvolvimento desse trabalho, na confecção dessa tese e no meu bom humor do dia-a-dia.

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
AGRADECIMENTOS	iv
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.3 JUSTIFICATIVAS.....	4
1.4. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA ENTRE SÃO BENTO DO NORTE E MACAU/RN ...	7
1.5. ORGANIZAÇÃO DA TESE	15
2. MODELOS DE BANCOS DE DADOS ESPAÇO-TEMPORAIS.....	16
2.1. HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS BANCOS DE DADOS.....	16
2.2. SISTEMAS GERENCIADORES DE BANCO DE DADOS – SGBD.....	18
2.3. BANCOS DE DADOS CONVENCIONAIS - BD.....	20
2.4. BANCOS DE DADOS NÃO-CONVENCIONAIS - BDNC	20
2.4.1. Bancos de Dados Geográficos (ou Banco de Dados Espaciais).....	21
2.4.2. Bancos de Dados Temporais	23
2.4.3. Bancos de Dados Espaço - Temporais	27
2.5. MODELOS DE BANCOS DE DADOS	30
2.5.1. Modelos de Bancos de Dados Geográficos.....	38
2.5.2. Modelos de Bancos de Dados Temporais	51
2.5.3. Modelos de Bancos de Dados Espaço-Temporais	55
3. ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS E A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO E GÁS: BASES DE ELABORAÇÃO DAS CARTAS SAO 60	
3.1. O HOMEM E O MEIO AMBIENTE	60
3.2. A RELAÇÃO DO HOMEM COM O OCEANO	61
3.3. O BRASIL E A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.....	62

3.4.	INFORMAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DO PETRÓLEO	64
3.4.1.	Características e Propriedades dos Hidrocarbonetos:	64
3.4.2.	Processos que acontecem durante um derramamento de óleo:	66
3.5.	PRINCIPAIS CONSEQÜÊNCIAS DOS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO	69
3.5.1.	Conseqüências nos Ecossistemas em Geral	70
3.5.2.	Conseqüências nos Ecossistemas Costeiros	71
3.5.3.	Conseqüências nos Seres Vivos	77
3.5.4.	Conseqüências Econômicas	79
3.6.	CARTAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO (CARTAS SAO)	80
3.7.	FATORES DE INFLUÊNCIA NOS IMPACTOS AMBIENTAIS	86
3.8.	PRINCIPAIS RESPOSTAS AOS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO	87
3.8.1.	Dispersantes Químicos	88
3.8.2.	Recuperação Mecânica	89
3.8.3.	Queima In Situ	90
3.8.4.	Biorremediação	90
3.8.5.	Preparação para as respostas	91
3.9.	ELABORAÇÃO DE MAPAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE DO BRASIL	91
4.	SISTEMA COMPUTACIONAL PARA CONFECÇÃO AUTOMÁTICA DE MAPAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAIS AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO (AUTOMSA).....	93
4.1.	MAPAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO NA ÁREA DE ESTUDO	93
4.2.	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA COMPUTACIONAL DE AUTOMAÇÃO DE MAPAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO - AUTOMSA	97
4.2.1.	Modelo Conceitual – uso do GeoFrame.....	97
4.2.2.	Modelo Lógico	99
4.2.3.	Modelo Físico.....	101
4.2.3.1.	Tecnologias utilizadas.....	101
4.2.3.2.	Aspectos de Implementação	108
4.3.	VALIDAÇÃO DO SISTEMA COMPUTACIONAL NAS ÁREAS DE ESTUDO	112
5.	SISTEMA COMPUTACIONAL ESPAÇO – TEMPORAL PARA TOMADA DE DECISÃO.....	117
5.1.	ENGENHARIA DE SOFTWARE E PROJETO DE INTERFACE COM O USUÁRIO	117

5.2.	O SISTEMA WEB DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA GESTÃO AMBIENTAL - SWIGG	118
5.3.	MODELAGEM CONCEITUAL DO BANCO DE DADOS USANDO O <i>FRAMEWORK</i> GEOFRAME-T	119
5.4.	MODELO LÓGICO DO BDET	125
5.4.1.	Transformação Conceitual – Lógica dos Mapas Temáticos	126
5.4.2.	Transformação Conceitual – Lógica dos dados de Sensoriamento Remoto	127
5.4.3.	Transformação Conceitual – Lógica dos dados sem representação espacial	128
5.5.	MODELO FÍSICO - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	129
5.5.1.	Tecnologias Utilizadas	129
5.5.2.	Aspectos de Implementação	134
5.6.	VALIDAÇÃO DO SWeET NAS ÁREAS DE ESTUDO	139
5.7.	CONSULTAS ESPAÇO-TEMPORAIS POSSÍVEIS NO SWeET	148
5.7.1.	Implementação das funções espaciais	154
5.8.	CONCLUSÕES SOBRE OS DOIS SISTEMAS DESENVOLVIDOS.....	155
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	157
6.1.	CONCLUSÕES.....	157
6.2.	RECOMENDAÇÕES	163
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	165

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização da área de estudo litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte. ..	8
Figura 1.2 – Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar. Fonte: Souto (2004).....	12
Figura 2.1. Modalidades de um arquivo em uma organização de banco de dados: a) Sistema de informação orientado a arquivos; b) Sistema de informação orientado a banco de dados.	17
Figura 2.2. Os níveis de um Banco de Dados.	20
Figura 2.3 - Exemplo de um mapa estadual interligado com uma tabela de dados.	22
Figura 2.4 – Estruturas Temporais. Fonte: Worboys (1998).....	26
Figura 2.5 - Tempo Ramificado. Fonte: Edelweiss (2003).	26
Figura 2.6 – Tipos de Consultas Espaço-Temporais: (a) Consulta Temporal Simples; (b) Consulta Temporal de Intervalo; (c) Consulta Espaço-Temporal Simples; e (d) Consulta Espaço-Temporal de Intervalo.	29
Figura 2.7 – Níveis de Abstração do Modelo de Dados.....	32
Figura 2.8 – As três fases do projeto de banco de dados. Fonte: Lisboa Filho (2001).	32
Figura 2.9 – Construtores básicos do modelo ER. Fonte: Borges e Davis (2001).....	34
Figura 2.10 – Construtores mais comuns do modelo OMT. Fonte: Borges e Davis (2001).....	36
Figura 2.11 – Principais construtores do modelo OOA. Fonte: Borges e Davis (2001).....	37
Figura 2.12 –Níveis de Abstração. Adaptado de Câmara <i>et al.</i> (1996).....	39
Figura 2.13 – Módulos do modelo Modul-R. Fonte: Caron e Bédard (1993).....	41
Figura 2.14 – O Modelo de dados GMOD. Fonte: Oliveira <i>et al.</i> (1997).....	43
Figura 2.15 – Tipos de classes no GeoOOA. Fonte: Lisboa Filho (2000).....	44
Figura 2.16 – Pictogramas gráficos para simbolizar o relacionamento entre classes. Fonte: Lisboa Filho (2000).....	44
Figura 2.17 – Hierarquia de classes no modelo MGeo. Fonte: Times e Salgado (1994).....	45
Figura 2.18 – Classes do Modelo GeoFrame.	48
Figura 2.19 – Esteriótipos do modelo GeoFrame.	49

Figura 2.20 – Notação gráfica para as classes do modelo OMT-G.....	50
Figura 2.21 – Geo-campos.	51
Figura 2.22 – Geo-objetos.....	51
Figura 2.23 – Notação de Conjuntos-Entidade. Fonte: Antunes <i>et al.</i> 1997.....	53
Figura 2.24 – Notação de Conjuntos- Relacionamento. Fonte: Antunes <i>et al.</i> 1997.....	53
Figura 2.25 – Exemplo de esquema TempER e o correspondente ER. Fonte: Antunes <i>et al.</i> 1997..	54
Figura 2.26 – Conceito de Papéis. Modificado de Almeida e Cordenosi (2001).	55
Figura 2.27 – Fases do Projeto do Banco de Dados Geográfico (Lisboa Filho <i>et.al</i> 1997).....	56
Figura 2.28 – Esteriótipos temporais existentes no GeoFrame-T. Fonte: Rocha (2001).	58
Figura 3.1 - Exemplos de contaminações físicas e químicas: (a) e (b) recobrimento físico em sedimento de praia devido a um derrame de óleo pesado e (c) contaminação em organismos do sedimento devido a um derrame de óleo leve. Fonte: CETESB (2006).	65
Figura 3.2 - Alguns dos principais processos que acontecem ao óleo depois de um derramamento. Fonte: Fernandes (2001).....	69
Figura 3.3 - Exemplos de maguezais	72
Figura 3.4 - Exemplos de marismas	72
Figura 3.5– Em (a) vista geral de uma praia arenosa abrigada, e em (b) praia arenosa com forte ação de ondas.....	73
Figura 3.6 – Vista geral de um costão rochoso	74
Figura 3.7 – Exemplos de recifes de coral.	75
Figura 3.8 – (a) Fundo marinho arenoso, e (b) fundo marinho rochoso.	76
Figura 3.9 - Águas costeiras, ambientes de elevada produtividade.	77
Figura 3.10 – Águas Oceânicas.....	77
Figura 3.11 – Mamífero atingido por derramamento de óleo.	78
Figura 3.12 – Ave atingida por derramamento de óleo.....	79
Figura 3.13 - Lançamento de barreiras de contenção.....	89

Figura 4.1 - Mapa de Sensibilidade das áreas de Galinhos e São Bento do Norte no período de Junho/2000. Fonte: Castro (2002).	94
Figura 4.2 – Mapa de Sensibilidade das áreas de Galinhos e São Bento do Norte no período de Dezembro/2000. Fonte: Castro (2002).	94
Figura 4.3 – Mapa de Sensibilidade da área de Guamaré no mês de Março/2001. Fonte: Castro <i>et al.</i> (2004).	95
Figura 4.4 - Mapa de Sensibilidade da área de Guamaré no mês de Dezembro/2001. Fonte: Castro <i>et al.</i> (2004).	96
Figura 4.5 – Dados essenciais na confecção de mapas SAO.	98
Figura 4.6 – Transformação conceitual-lógico dos dados de ISL nos mapas SAO.	99
Figura 4.7 - Transformação Conceitual-Lógico dos dados de biologia dos Mapas SAO.	100
Figura 4.8 - Transformação Conceitual-Lógico dos dados de sócio-economia dos Mapas SAO.	101
Figura 4.9 - Modelos dos dados espaciais no Oracle Spatial.	102
Figura 4.10 – Exemplo de desenho que se deseja armazenar no Oracle Spatial.	104
Figura 4.11 - Processamento da solicitação de um mapa pelo MapViewer.	107
Figura 4.12 - Arquitetura do <i>AutoMSA</i> em camadas, mostrando a seqüência de interação dos principais componentes.	109
Figura 4.13 - Relacionamento entre as tecnologias existentes. Modificado de Souza (2004).	110
Figura 4.15 - Tela exibindo as ferramentas disponíveis no <i>AutoMSA</i> .	113
Figura 4.16 – Tela do <i>AutoMSA on-line</i> , mostrando a entrada dos arquivos <i>shape</i> para o <i>ISL</i> .	114
Figura 4.17 - Formulário para inserção de informações dos segmentos de praia.	114
Figura 4.18 - Formulário de inserção de informações sobre as espécies biológicas existentes em cada área hachurada.	115
Figura 4.19 – Tela do <i>AutoMSA on-line</i> , mostrando <i>ISL</i> e biologia e requisitando a entrada de dados para a sócio-economia.	116
Figura 4.20 - Tela do <i>AutoMSA on-line</i> , mostrando a saída de dados (<i>ISL</i> , <i>Biota</i> e <i>Sócio-economia</i>).	116
Figura 5.1 - Início da modelagem conceitual, onde a Tabela Principal armazena e gerencia os dados-chaves das tabelas dos municípios.	121

Figura 5.2 - Modelagem conceitual da área de Galinhos, utilizando o GeoFrame-T.	122
Figura 5.3 - Modelagem conceitual da área de São Bento do Norte.....	123
Figura 5.4 - Modelagem conceitual da área de Guamaré.....	124
Figura 5.5 - Modelagem conceitual da área de Macau.	125
Figura 5.6 - Visualização espacial da vegetação rala.....	127
Figura 5.7 - Transformação Conceitual-Lógica do mapa temático Vegetação_2001.....	127
Figura 5.8 - Transformação Conceitual-Lógica dos dados de Sensoriamento Remoto	128
Figura 5.9 - Transformação Conceitual-Lógica dos dados sem representação espacial.....	128
Figura 5.10 - Exemplo de operações espaciais com objetos geográficos.	134
Figura 5.11 - Arquitetura do SweET.....	135
Figura 5.12 – Tela inicial do sistema SWeET.....	140
Figura 5.13 – Dados possíveis de serem acessados no SWeET da área de Galinhos.....	141
Figura 5.14 – Visualização do ponto de coleta de medição dos ventos na área de Galinhos, com suas coordenadas UTM e sua tabela de dados.	142
Figura 5.15 – Visualização da foto selecionada <i>galinhos01.jpg</i>	143
Figura 5.16 – Visualização do mapa de Geologia de Galinhos com legenda auto-explicativa e informações sobre a geologia selecionada.	144
Figura 5.17 - Visualização do mapa de Geomorfologia da área de Macau no SWeET.....	145
Figura 5.18 - Visualização do ponto de coleta de medição de correntes da área de São Bento do Norte, com suas coordenadas UTM e sua tabela de dados.	146
Figura 5.20 – “Links” existentes entre as principais páginas do sistema SWeET.....	148
Figura 5.21 - Visualização da linha de costa de Macau entre os anos de 2002 e 2003 no sistema SWeET.	149
Figura 5.22 – Exibição das áreas e quais os tipos de dados possíveis de realizar consulta espaço-temporal.....	149
Figura 5.23 – Tabelas de dados de <i>Correntes</i> e <i>Ondas</i> da área de Galinhos.	150

Figura 5.24 – Exibição das feições que podem ser comparadas área de Guamaré entre os anos de 1989 e 1996.	151
Figura 5.25 – Resultado da consulta sobre o manguezal da área de Guamaré entre os anos de 1989 e 1996.	152
Figura 5.26 – Resultado da consulta espaço-temporal da área de Pastagem em Guamaré, entre os anos de 1996 e 2001.	153
Figura 5.27 – Modificação de uma feição espacial ao longo do tempo:	154
Figura 5.28 – Diferença espacial de uma mesma feição em épocas diferentes.....	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Informação temporal com os salários dos funcionários.	24
Tabela 2.2: Exemplo de tabela temporal.	25
Tabela 3.1. Estimativas das fontes de poluição marítima por hidrocarbonetos.	63
Tabela 3.2 - ÍNDICE DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL (“ENVIRONMENTAL SENSITIVITY INDEX – ESI”) AO PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS E CARACTERÍSTICAS DO LITORAL – NOAA.	84
Tabela 3.3 - Esquema de cores para classificação do ISL (Fonte: MMA 2002).	85

ACRÔNIMOS

AutoMSA – Automação de Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo

BD – Banco de Dados

BDE – Banco de Dados Espaciais

BDET – Bancos de Dados Espaço-Temporais

BDG – Banco de Dados Geográficos

BDGA – Banco de Dados Geográficos Ambientais

BDNC – Banco de Dados Não-Convencionais

BDT – Banco de Dados Temporais

Cartas SAO – Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo

ER – Entidade – Relacionamento

ERT – *Entity Relation Time*

GISER - *Geographic Information System Entity Relational*

ISL – Índice de Sensibilidade do Litoral

Mapas SAO – Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

OMT – *Object Modeling Technique*

OOA – *Object-Oriented Analysis Method*

SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados

SGBDET - Sistema Gerenciador de Banco de Dados Espaço-Temporais

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SWeET – Sistema Web Espaço-Temporal

SWIGG – Sistema Web de Informação Geográfica para Gestão Ambiental

TF-ORM - *Temporal Functionality in Objects with Roles Models*

1. *Considerações Iniciais*

1.1. INTRODUÇÃO

Uma das grandes vantagens do mundo da computação é a sua aplicabilidade nas mais diversas áreas. É notório que o uso da informática nas ciências tem auxiliado o homem a resolver os problemas com muito mais confiabilidade e segurança.

Em se tratando de monitorar o meio ambiente, essa realidade não é diferente. O uso de modelos computacionais apropriados, bancos de dados com informação útil ao monitoramento do ambiente, programas específicos para manipulação de mapas temáticos e imagens de satélites, dentre outras tecnologias, têm ajudado aos pesquisadores e profissionais da área ambiental a avaliar uma situação e aplicar um diagnóstico, antes mesmo de algum evento acontecer.

Nesse contexto, aparecem os Bancos de Dados Espaço-Temporais que se caracterizam por armazenar dados geográficos, além de informações do passado, do presente e talvez prováveis projeções de situações futuras. Sabe-se que os sistemas de bancos de dados são utilizados para armazenar informações do mundo real. Os bancos de dados convencionais armazenam apenas o estado corrente dos dados; sempre que uma informação nova é introduzida, a antiga é substituída. A necessidade de representar a posição geográfica dos dados, sua evolução temporal e a constatação de que muitas vezes é preciso guardar o histórico desta evolução, levou à criação de Bancos de Dados Espaço-Temporais (doravante BDET). Os BDET armazenam todos os valores definidos aos dados, com rótulos temporais identificando suas validades e suas respectivas espacialidades.

Para algumas aplicações, talvez a maior parte delas, tanto o estado passado das informações como o estado presente são de extrema importância. Por exemplo, para um sistema bancário, é necessário que informações sobre todas as transações efetuadas em uma conta sejam armazenadas. Conforme as necessidades do cliente ou do próprio banco, essas informações poderão ser obtidas retratando o estado da conta em qualquer instante

de tempo desejado ou todos os eventos ocorridos durante um determinado período. Esse fato então limita o uso de BD relacionais, uma vez que estes não possuem recursos que permitem acessar os estados passados da conta.

Nesse contexto, os Bancos de Dados Temporais (ou BDT) armazenam e recuperam todos os estados de um objeto, registrando sua evolução ao longo do tempo. Informações temporais são associadas implicitamente aos dados, correspondendo ao tempo de validade (tempo que a informação será válida no banco de dados) e/ou ao tempo de transação (tempo que a informação foi inserida no banco de dados).

Já os BDET se caracterizam por incorporarem dados espaciais, temporais e espaço-temporais, podendo capturar simultaneamente os dados espaciais e temporais. Todos os conceitos espaciais e temporais (por exemplo, retângulo ou intervalo de tempo) devem ser considerados. No caso de se observar os processos geográficos é necessário incluir o componente temporal nos dados para representar as mudanças e derivar relacionamentos de causa e efeito.

Sendo assim, em estudos de monitoramento ambiental, o uso de BDET é necessário. Torna-se interessante armazenar dados de uma área geográfica, por exemplo, avaliar sua evolução e armazenar também toda essa evolução ao longo do tempo. Dessa maneira, é possível explicar um evento atual baseado em dados históricos armazenados no banco ou até mesmo, fazer uma projeção futura com base nos dados atuais. Essas informações geográficas, juntamente com a temporalidade dos dados (ou dos eventos), auxiliam, e muito, na análise e monitoramento do ambiente.

Quando se trata da indústria do petróleo e gás, com toda a quantidade de informação obtida anteriormente e diariamente; torna-se interessante o uso desse tipo de tecnologia. Os BDET podem armazenar dados relacionados com esse tipo de aplicação.

Também na indústria do petróleo e gás, existe uma preocupação à parte com o meio ambiente onde impera esse tipo de atividade exploratória. A possibilidade de vazamento, derramamento e/ou algum acidente que resulte em descarga de óleo no ambiente, faz com que exista uma atenção especial a esse tipo de situação.

Uma das alternativas para identificar as áreas mais sensíveis de um local diante da presença do óleo são as Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo

(Cartas SAO). Essas cartas constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo. Ademais, as Cartas SAO representam uma ferramenta fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificar aqueles ambientes com prioridade de preservação, permitem o direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza (MMA 2002).

Os Mapas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (doravante Mapas SAO ou somente MSA) baseiam-se nas Cartas SAO e apresentam características semelhantes. O principal diferencial entre eles é que as Cartas SAO são documentos oficiais do Governo Federal, elaboradas/aprovadas pelo Ministério do Meio Ambiente, enquanto que os MSA são documentos locais, elaborados para estudos específicos de áreas costeiras.

Os MSA contêm informação básica de componentes costeiros, além de dados geomorfológicos, hidrodinâmicos, biológicos, socioeconômicos e oceanográficos. Eles indicam também a localização e abrangência das áreas de conservação, recreação e assentamentos urbanos costeiros. A elaboração de tais mapas tornou-se um elemento de importância fundamental no estudo das questões ambientais relacionadas à indústria do petróleo, na análise de possíveis mudanças na área e nas prováveis conseqüências que essas mudanças podem acarretar.

Basicamente, os Mapas SAO incluem três tipos de informações principais: sensibilidade dos ecossistemas costeiros e marinhos, recursos biológicos e atividades socioeconômicas. Todas essas informações são detalhadas no capítulo 3.

O mapeamento da sensibilidade ambiental é um instrumento essencial para um adequado planejamento e ação de resposta a derrames de óleo. Através dessa abordagem pode-se indicar a localização de diferentes recursos costeiros biológicos (praias, costões, recifes de coral, áreas de nidificação, entre outros), recreacional (áreas de turismo, marinas, áreas de balneabilidade, entre outros) e comercial como áreas de maricultura, pontos de captação de água, portos, terminais.

1.2. OBJETIVOS

Esta Tese de Doutorado apresenta dois objetivos principais:

1. Desenvolver um sistema computacional próprio para a elaboração automatizada de Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo. A partir de dados inseridos pelo usuário, o sistema desenvolvido cria automaticamente um Mapa de Sensibilidade que exhibe todas as áreas sensíveis ao óleo, a vida biológica existente e a sócio-economia da região. Trata-se de uma inovação tecnológica, pois atualmente não existe nada semelhante no meio acadêmico e/ou no mercado da informática.
2. Desenvolver (analisar, modelar e implementar) um Banco de Dados Espaço–Temporal (BDET) como ferramenta de apoio à tomada de decisões no que se refere aos problemas ambientais ocasionados em áreas próximas à indústria petrolífera. Os dados inseridos nesse banco de dados são oriundos das áreas de São Bento do Norte, Galinhos, Guamaré e Macau, todos municípios do Estado do Rio Grande do Norte. Esses dados foram coletados pelas equipes do Grupo de Pesquisa em Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA) e do Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO), ambos do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Os principais ensejos que explicam as atividades de pesquisa desenvolvidas na elaboração desta Tese de Doutorado são apresentados de modo separado abaixo, na intenção de que cada um dos objetivos principais fosse observado de maneira isolada e assim melhor justificados.

Os dois sistemas computacionais desenvolvidos nesse trabalho se complementam, de modo que tanto o automatizador de mapas de sensibilidade quanto o banco de dados espaço-temporais são sistemas de apoio à decisão em questões de monitoramento ambiental e análise de riscos.

Desenvolvimento de um sistema de automação de Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo

O presente trabalho tem como um dos objetivos, implementar um sistema computacional que automatize o processo de elaborar mapas de sensibilidade. Esta meta justifica-se pela inexistência, hoje em dia, de um sistema que faça algo semelhante. Pretende-se usar a computação como uma ferramenta que agilize a elaboração deste tipo de mapa.

A partir de dados inseridos pelo usuário, o sistema processa tais dados e origina, como resultado final do processamento, o Mapa SAO da área desejada. Sendo assim, no caso de Guamaré, os dados inseridos devem ser oriundos desta área e depois de realizado o processamento, o sistema automatizador mostrará como resultado um Mapa SAO da área de Guamaré, com dados sobre o índice de sensibilidade do litoral, biologia, sócio-economia e resposta ao derramamento. Atualmente, elaborar um mapa de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo é uma tarefa totalmente manual. A partir de dados coletados em campo, imagens de satélite, mapas temáticos e outras fontes de informações, um profissional que pretende obter um Mapa SAO, “monta” toda a estrutura, estabelece a sensibilidade e delimita as áreas que possuem informações de biologia e sócio-economia.

Desenvolvimento do Banco de Dados Espaço-Temporais da Área entre São Bento e Macau/RN.

O Estado do Rio Grande do Norte apresenta uma economia em expansão nas últimas décadas, apresentando números surpreendentes com relação ao crescimento do nordeste brasileiro (SEPLAN 1997). Esse impulso econômico se deve principalmente às atividades econômicas localizadas no Litoral Setentrional do Estado, destacando-se a produção do sal marinho, a extração de petróleo, a fruticultura, a carcinicultura e a pesca artesanal. Para as áreas de estudo citadas anteriormente, destacam-se principalmente: a indústria petrolífera, a indústria salineira e a carcinicultura. Essas três atividades possuem sua importância econômica em contraponto ao fator de risco ambiental que elas proporcionam.

O setor mineral do Estado do Rio Grande do Norte é extremamente rico, fazendo do mesmo o segundo maior produtor mineral do Nordeste, situando-se entre os dez maiores do país. Dentre os principais bens minerais produzidos, destacam-se o sal e o petróleo, estando compreendidas algumas jazidas nas áreas em estudo.

A atividade salineira no Estado destaca-se como maior produtor de sal marinho do Brasil (responsável por 90% da produção brasileira), atingindo no ano de 1992 um volume produzido de 3.850.000 toneladas (SRHPE 2002). O município de Macau está em primeiro lugar na produção estadual, contando com nove empresas produtoras de sal e uma produção estimada em 1991-1992 de 1.453.000 toneladas (IDEMA 1999). O sal é comercializado para vários Estados brasileiros e exportado principalmente para os Estados Unidos, África e Europa. Do total da produção do Rio Grande do Norte, cerca de 200 mil toneladas são destinadas à exportação. Transformando em valores monetários alcança 8 milhões de dólares em sal exportado (SEPLAN 1997).

Quanto à produção de petróleo, o Estado do Rio Grande do Norte ocupa o primeiro lugar nacional em terra e o segundo no mar, com sua produção iniciada na década de 70. Isso demonstra que a essa atividade deve ser dada atenção especial, por se tratar de um agente altamente poluidor e sendo ele produzido em larga escala pode-se pôr em risco todo o ecossistema da região. Portanto, o monitoramento e a identificação de áreas de risco são primordiais para o planejamento e a tomada de decisões em situações emergenciais.

Uma atividade de importância econômica no Estado é a expansão da carcinicultura, com o interesse demonstrado pelos empresários do setor em ocupar as áreas anteriormente utilizadas para extração de sal ou a construção de novos tanques (ou viveiros de camarão) em áreas indiscriminadas. O crescimento descontrolado desta atividade econômica é preocupante, pois a construção da maioria dos novos tanques se dá de forma desordenada e sem estudos necessários para sua normalização, implantando-se em locais legalmente protegidos por leis, como por exemplo, os manguezais, e em áreas que possibilitam a contaminação do lençol freático que abastecem os habitantes das comunidades e cidades existentes na região (Grigio 2003).

É notório que todas estas atividades favorecem o desenvolvimento econômico do Estado, gerando um aumento temporário de renda em detrimento do desgaste natural e ambiental que elas provocam. À medida que ocorrem atividades com significativo

impacto ambiental, como as áreas citadas acima, são necessárias medidas de planejamento para realizar um importante monitoramento ambiental.

Diante desta realidade, torna-se essencial a existência de um Banco de Dados Espaço-Temporais que armazene todos os dados das áreas de estudo, relevantes à indústria do petróleo e gás, bem como as devidas modificações desses dados ao longo do tempo. Além de armazenar os dados espaciais (os locais dos poços petrolíferos, por exemplo), é importante também armazenar todas as modificações sofridas pelo local ao longo do tempo - no estado do Rio Grande do Norte existiam 3011 poços produtores de petróleo e gás natural em terra e mar no ano de 1996; em 2000 existiam 3818 poços e em 2005 houve um decréscimo para 3258 poços petrolíferos (Fonte: ANP 2006).

Todas estas informações são importantes de serem armazenadas à medida que se deseja monitorar esta área, principalmente pelo fato de São Bento do Norte, Galinhos, Guamaré e Macau serem áreas costeiras com interfaces muito sensíveis e por terem uma interferência antrópica marcante.

1.4. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA ENTRE SÃO BENTO DO NORTE E MACAU/RN

Neste item são apresentadas as principais características fisiográficas, geomorfológicas, geológicas, ambientais e sócio-econômicas da área entre os municípios de São Bento do Norte e Macau/RN. O intuito principal é prover o leitor com as principais informações do litoral setentrional do Rio Grande do Norte que serão incorporadas ao BDET e ao programa de elaboração automatizada de MSA, que efetivamente confirmam a importância da região quanto aos fatores socioambientais e da ampla atuação da indústria do petróleo (Figura 1.1).

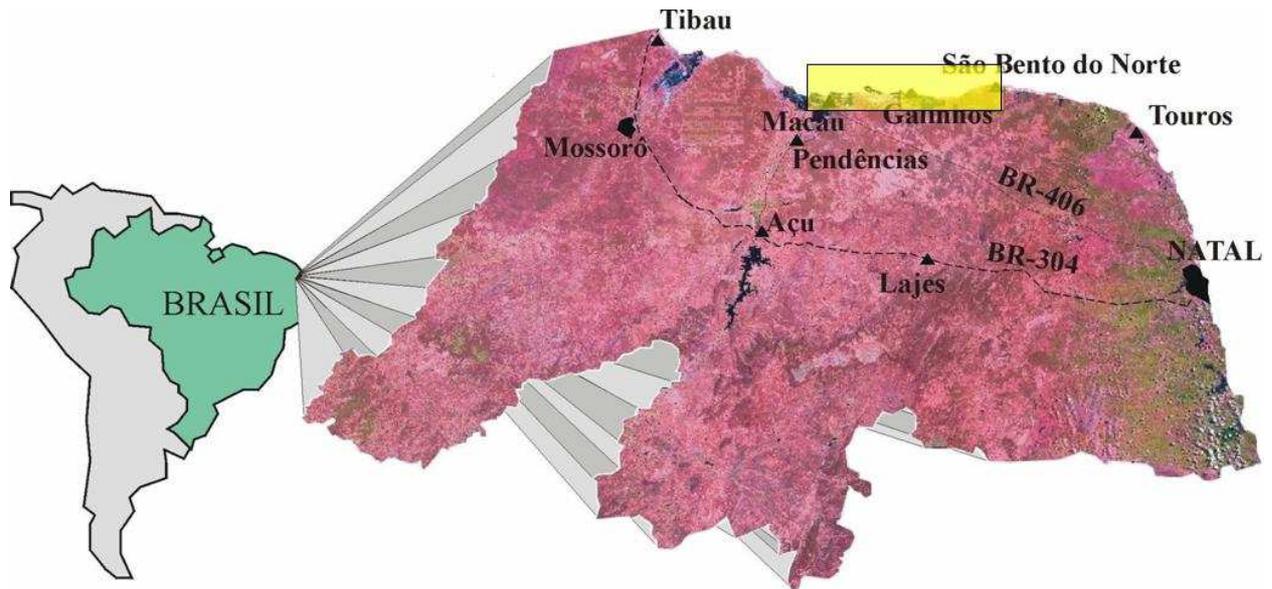


Figura 1.1 - Localização da área de estudo no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte.

Ondas, Correntes e Marés

Na plataforma externa do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, a Corrente Norte do Brasil, um ramo da Corrente Equatorial Sul, alcança velocidades superiores a 2,3 m/s para W (Silva 1991). As correntes marinhas formam-se em resposta à ação combinada entre a orientação preferencial E-W da linha de costa, a direção preferencial E-SE dos ventos e ao fluxo de ondas provenientes de NE-E, acarretando uma importante corrente de deriva litorânea na direção oeste. Alguns trabalhos sugerem que a direção predominante desta corrente é caracterizada pela orientação E-W com migração para W dos pontais arenosos costeiros (*spits*) e canais de maré (Lima *et al.* 2001, Silveira 2002, Souto 2002, Alves *et al.* 2003).

Na região do sistema Galinhos-Guamaré (Lima *et al.* 2001), as marés e os gradientes de densidade são os principais fatores que afetam o fluxo e a mistura das águas, pois este sistema tem aporte mínimo de águas doces, as tempestades na região são raras, o clima e a temperatura são constantes o ano inteiro. As marés desta região são classificadas em semi-diurnas, apresentando dessa forma duas preamares e duas baixamars por dia com aproximadamente a mesma altura. As áreas de estudo se encontram em uma região de mesomaré, apresentando uma altura que varia em torno de 2 metros (Tabosa 2006).

Para esta região, a temperatura média da água do mar é de 28° C, por vezes com 27° C durante o fluxo de maré enchente e com 29° C na maré vazante, sendo de 28° C a temperatura em mar aberto. A salinidade nos canais é alta, cerca de 38,2%, comparada ao mar aberto (37,2%), devido à elevada evaporação.

Em Galinhos, as ondas são maiores nos meses de fevereiro (cerca de 62 cm de altura) e menores em agosto (com uma média de 9 cm de altura). O maior período das ondas geralmente acontece no mês de abril com 8,1 segundos e o menor no mês de junho, com 5,1 segundos para as marés de sizígia. A maior velocidade da corrente litorânea foi observada no mês de janeiro, com a média de 1,02 m/s e a menor velocidade foi registrada em agosto, com 0,09 m/s. No mês de novembro a maior velocidade da corrente registrada é na fase da lua minguante, chegando a ultrapassar todos os valores registrados nas marés de sizígia, atingindo velocidades acima de 1,6 m/s (Lima 2004).

Ventos

No Litoral Norte os ventos sopram predominantemente de E (entre os meses de setembro a abril) e NE (entre os meses de abril a setembro), como indicam a morfologia das dunas eólicas na região litorânea do Estado do Rio Grande do Norte (Tabosa 2002). Os ventos de SE são importantes nos período de maio a agosto, acompanhando a atuação na região do Anticiclone do Atlântico Sul a partir do final do outono, marcando o término da estação chuvosa. A Zona de Convergência Intertropical, definida pela convergência dos ventos alísios dos hemisférios Norte e Sul, passa a atuar do verão ao outono. A velocidade dos ventos, medida na Estação Meteorológica de Macau (NATRONTEC/ECOPLAM 1995) no período de 1961 e 1990, é maior durante o verão, com máximos da ordem de 8,5 m/s para o mês de outubro e mínimos de 0,7 m/s durante o inverno no mês de abril. Chaves (2005) realizou um estudo hidrodinâmico na área e concluiu que os ventos predominantes são os provenientes de NE com velocidade média de 4,9 m/s, podendo atingir até 17,8 m/s (agosto/2002).

Medições realizadas por Tabosa (2000) ao longo das praias de São Bento do Norte durante o mês de novembro de 1999 obtiveram velocidades médias de 6,9 m/s, provenientes, sobretudo, de leste. Na área de Galinhos-Guamaré, a velocidade média

anual dos ventos é de 5,7 m/s, com ventos menos fortes nos meses de abril a maio (período chuvoso) e ventos mais fortes entre setembro e outubro (Silveira 2002).

Aspectos Geológicos

A área de estudo encontra-se situada no contexto geológico da Bacia Potiguar, extremo Nordeste do Brasil, nos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará. A Bacia Potiguar representa um “rifte” intracontinental em sua porção emersa e uma bacia do tipo *pull-apart* em sua porção submersa. À semelhança de outras, como as bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá, Rio do Peixe e Sergipe-Alagoas, a Bacia Potiguar faz parte do sistema de riftes do nordeste brasileiro (Neves 1987, Matos 1992).

Deste modo, as principais feições tectônicas, segundo Cremonini *et al.* (1996), encontradas na área de estudo são representadas pelos altos de Macau, a sul, e Boa vista a oeste; e pelas falhas de Ubarana e de Macau, onde no extremo leste e sudeste da área ocorrem duas feições erosivas importantes, representadas pelos *canyons* de Ubarana e de Agulhas. O extremo norte é limitado por uma flexura dos pacotes sedimentares de direção aproximada N75° W, que coincide com o atual limite entre plataforma e talude continental.

A Bacia Potiguar apresenta os seguintes limites: a oeste, com a Bacia do Ceará, pelo Alto Fortaleza, a sul, pelo Embasamento Cristalino da Faixa Seridó e a norte, nordeste e leste pela cota batimétrica de – 2000 m (Souto 2004).

O embasamento da Bacia Potiguar foi caracterizado por Jardim de Sá (1984, 1994), como sendo constituído por diversas faixas de rochas supracrustais e domínios gnaíssico-migmatíticos, com *trend* NE, interceptadas a sul pela Zona de Cisalhamento Patos, com direção E-W. A partir dos trabalhos de diversos autores (Bertani *et al.* 1987; Cremonini *et al.* 1996; entre outros), pode ser traçada uma configuração geométrica da estrutura da bacia, a qual seria constituída por um conjunto de *grabens* assimétricos (Apodi, Umbuzeiro, Guamaré e Boa Vista) de direção NE, levemente oblíquos aos principais lineamentos do embasamento cristalino a sul da bacia. Altos do embasamento separam os principais *grabens* da bacia. Esses altos consistem de cristas alongadas formadas por gnaisses, migmatitos ou xistos, soerguidas por falhas normais (Macau, Serra do Carmo e Quixaba).

A Bacia Potiguar apresenta vários estágios tectônicos e deposicionais na sua história geológica (Farias 1997), divididos em quatro principais megassequências e grupos de seqüências com sedimentações correlatas: Megassequência Mesozóica Rifte (Formação Pendências), Grupo de Seqüências Mesozóicas Transicionais (formações Pescada e Alagamar), Grupo de Seqüências Mesozóicas Fluvio-marinhas Transgressivas (formações Açú, Ponta do Mel, Ubarana e Jandaíra) e Grupo de Seqüências Mesozóicas Fluvio-marinhas Regressivas (formações Guamaré, Tibau e Barreiras). Os sedimentos quaternários complementam o último grupo de seqüências, subdivididos em Seqüência Quaternária Sub-recente e Seqüência Quaternária Recente (Silva & Nogueira 1995). A Seqüência Quaternária Sub-recente engloba unidades que completaram o processo de sedimentação, estando ou não litificadas (Formação Potengi, *beachrocks*, areias de dunas fixas, cascalheiras e colúvios), enquanto a Seqüência Quaternária Recente é composta por sedimentos que participam dos processos deposicionais atuantes nos dias atuais (leques aluviais, sedimentos de praia recente, dunas móveis, aluviões e manguezais).

Um mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar pode ser visualizado na Figura 1.2.

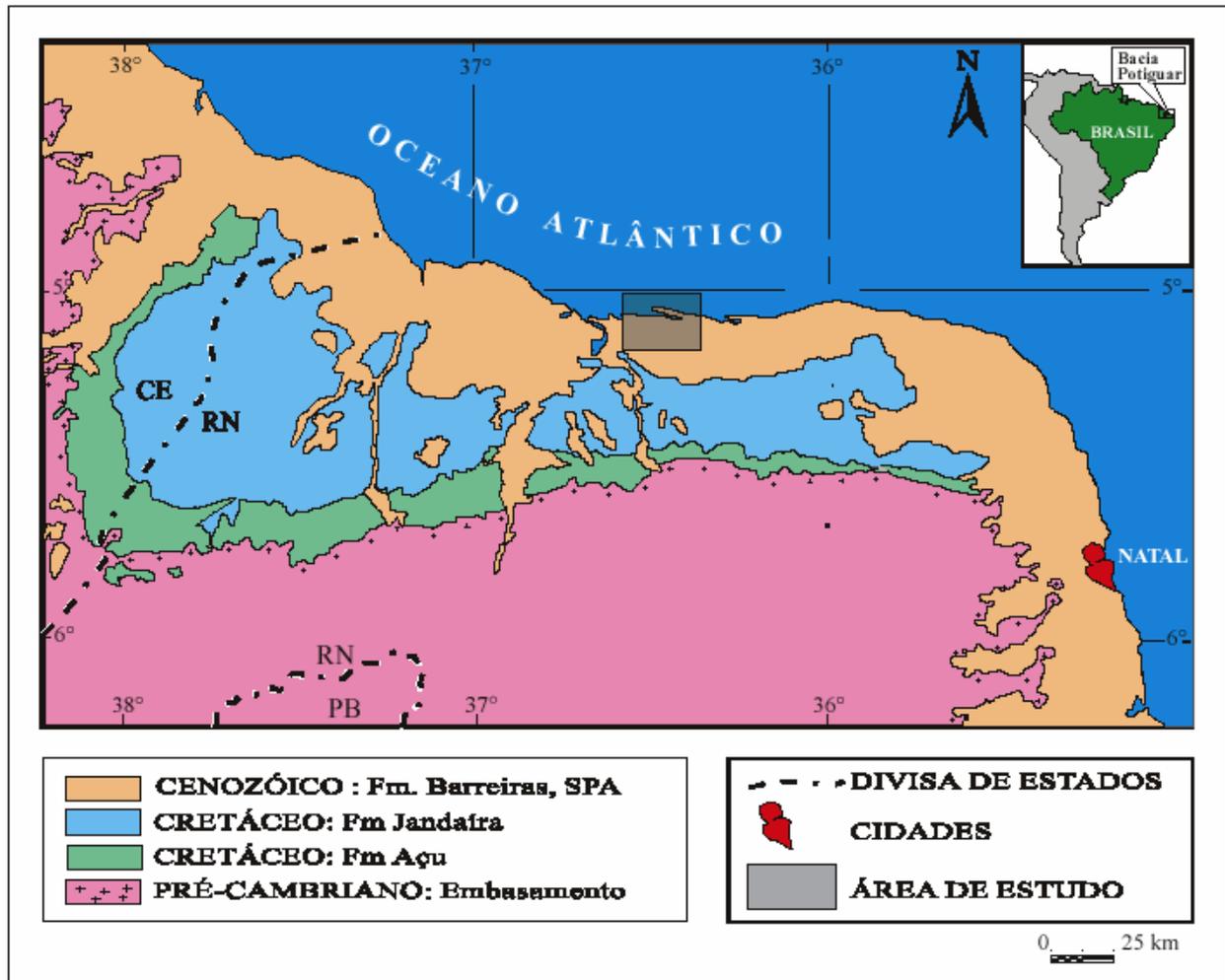


Figura 1.2 – Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar. Fonte: Souto (2004).

Aspectos Geomorfológicos

Na paisagem costeira, o modelamento das formas de relevo é resultante da ação constante dos processos do meio físico, das condições climáticas, das variações do nível do mar, da natureza das seqüências geológicas, das atividades neotectônicas e do suprimento de sedimentos carreados pelos rios e oceano.

A evolução ambiental destas feições geomorfológicas tem seu paleoambiente relacionado à feição de baía estuarina, em períodos com níveis do mar mais elevados (Silveira 2002). A modificação deste ambiente ocorreu no Quaternário, decorrente da estabilização do nível do mar em sua posição atual, promovendo a formação de barras arenosas próximas à costa e o surgimento de terraços adjacentes e/ou circunvizinhos às zonas estuarinas, que têm o fluxo e refluxo da água ocorrendo nos diversos canais da planície estuarina. A morfologia atual da região permite o ingresso da maré nos rios e

gamboas e por vezes, na fase equinocial, barras arenosas, terraços flúvio-marinhos e terraços estuarinos em algumas das áreas. As condições climáticas atuais, associadas à natureza dos sedimentos, aos aspectos da dinâmica oceanográficas e ao suprimento de sedimentos, têm propiciado o desenvolvimento de feições erosivas e construtivas na faixa litorânea. Constatam-se as instabilidades pela progradação da linha da costa, por meio da formação de extensos depósitos arenosos e areno-argilosos com superfície plana a suavemente ondulada; barra arenosa; zonas de estirâncio e dunas costeiras.

De acordo com a análise geológica-geomorfológica evolutiva, as feições morfológicas que compõem a paisagem costeira e estuarina recente do Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte podem ser agrupadas em diversos compartimentos de relevo: a Superfície de Aplainamento ou Superfície de Tabuleiro Costeiro, as Planícies de Inundação Flúvio-estuarinas, onde estão os Terraços Flúvio-marinhos e Estuarinos, as Planícies de Maré, os Campos de Dunas Recentes, as Planícies Interdunares, marcadas por intensa deflação e depressões com lagoas interdunares, e as Praias (Zona de Intermaré), onde se desenvolvem ilhas barreiras e esporões arenosos. A compartimentação do relevo foi baseada nas características morfológicas do terreno, envolvendo a análise da origem, do estágio evolutivo e da geometria do conjunto de formas presentes na região (Amaro *et al.* 2002).

Nas regiões estuarinas estudadas foram identificados dois grandes domínios geomorfológicos comuns: (i) o Domínio Interior e (ii) o Domínio Estuarino-litorâneo. A região interior ocupada pela Formação Barreiras constitui um domínio geomorfológico de distribuição contínua ao longo da costa, marcada por relevo tabular de baixa inclinação para o litoral, cotas baixas e dissecado pelos vales fluviais. Na zona entre os tabuleiros e a faixa litorânea, a confluência anastomosada do sistema de drenagem favorece o desenvolvimento da extensa planície de inundação flúvio-estuarina formada por depósitos arenosos a pelíticos comumente colonizados por algas, intercalados com depósitos de canais de maré e de transbordamento (Amaro *et al.* 2002).

Aspectos Socioeconômicos

O desenvolvimento sócio-econômico da região está fortemente atrelado às atividades artesanais pesqueiras, bem como à produção agropecuária de subsistência restritas a pequenas propriedades rurais, que utilizam em sua maioria a mão-de-obra

familiar para o plantio de feijão, milho, batata e extração de castanha de caju, coco e sisal (Tabosa 2006).

Os municípios de Guamaré e Macau apresentam em seus domínios ampla exploração petrolífera e salineira, com grande expansão da carcinicultura. Pode ser observada na região a confluência de diversos tipos de uso e ocupação do solo que demonstram um mosaico geoambiental complexo, com características físicas e sócio-econômico-ambiental, muitas vezes contíguas, em uma região frágil do ponto de vista ambiental (Amaro *et al.* 2002, Grigio 2003).

Neste município destaca-se a presença do Pólo Petrolífero de Guamaré, sendo hoje o maior produtor terrestre de petróleo no Brasil. Está inserido dentro do grande projeto Pólo Gás Sal, que prevê exploração para a área e aproveitamento dos recursos locais pertinentes ao gás natural. Para o Pólo Industrial converge todo o óleo e gás produzido na Plataforma Continental do RN e grande parte da produção terrestre. Existe uma unidade de processamento de gás natural e uma planta de produção de óleo diesel, no qual o Pólo de Guamaré abastece o RN e parte de outros estados com esses dois combustíveis e gás de cozinha. A área próxima ao pólo apresenta uma faixa onde algumas instalações costeiras foram construídas desde o início dos anos oitenta, para atender a exploração de óleo e gás como: o canal de acesso ao porto de Guamaré, seis oleodutos e gasodutos ligando as instalações em terras aos campos de Agulha e Ubarana e dois emissários (Guedes 2002).

A região de Macau/RN também é caracterizada por atividades socioeconômicas de grande importância para o Estado do Rio Grande do Norte, como o pólo industrial petrolífero, a indústria salineira e a carcinicultura, de características de algum modo conflitantes. Essas atividades se encontram numa área marcada por intensa dinâmica costeira (Souto 2004).

1.5. ORGANIZAÇÃO DA TESE

A tese encontra-se organizada da seguinte maneira: o Capítulo 1 exibe uma visão geral da linha de pesquisa – Banco de Dados Espaço-Temporais e Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo – além dos objetivos e justificativas do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica sobre Geoprocessamento, Bancos de Dados Convencionais, Bancos de Dados Temporais, Banco de Dados Espaço-Temporais e Modelos de Bancos de Dados existentes atualmente.

No Capítulo 3 há um aprofundamento maior sobre os derramamentos de óleo, as causas dos acidentes, as conseqüências, as principais respostas aos derramamentos, além de um detalhamento maior sobre os Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo.

No Capítulo 4 é detalhado o desenvolvimento do Automatizador de Mapas de Sensibilidade Ambiental (AutoMSA), sistema construído para a automação da construção de Mapas SAO. Nesse capítulo está descrita toda a engenharia de software empregada, bem como as tecnologias utilizadas e a descrição passo-a-passo do sistema desenvolvido.

No Capítulo 5 encontra-se descrita toda a especificação, modelagem e implementação do banco de dados espaço-temporais do Sistema Web Espaço-Temporal (SWeET) desenvolvido e testado com dados próprios das áreas de São Bento do Norte, Galinhos, Guamaré e Macau. Trata-se de um sistema de apoio à decisão em questões de monitoramento ambiental.

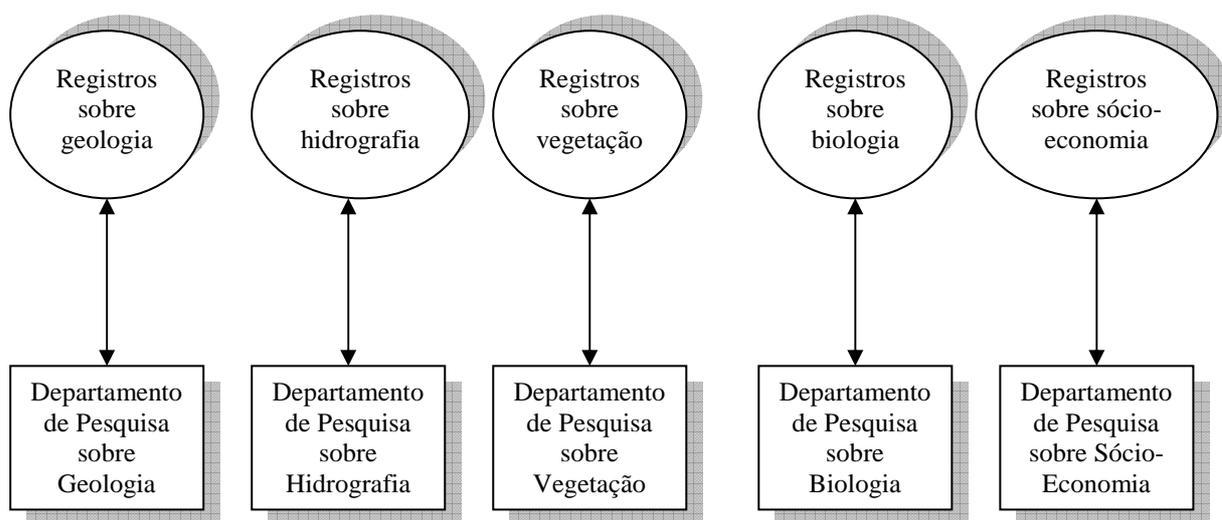
No Capítulo 6 encontram-se as considerações finais do trabalho, com as devidas conclusões. Esse capítulo sugere algumas pesquisas interessantes que podem ser realizadas futuramente.

2. Modelos de Bancos de Dados Espaço-Temporais

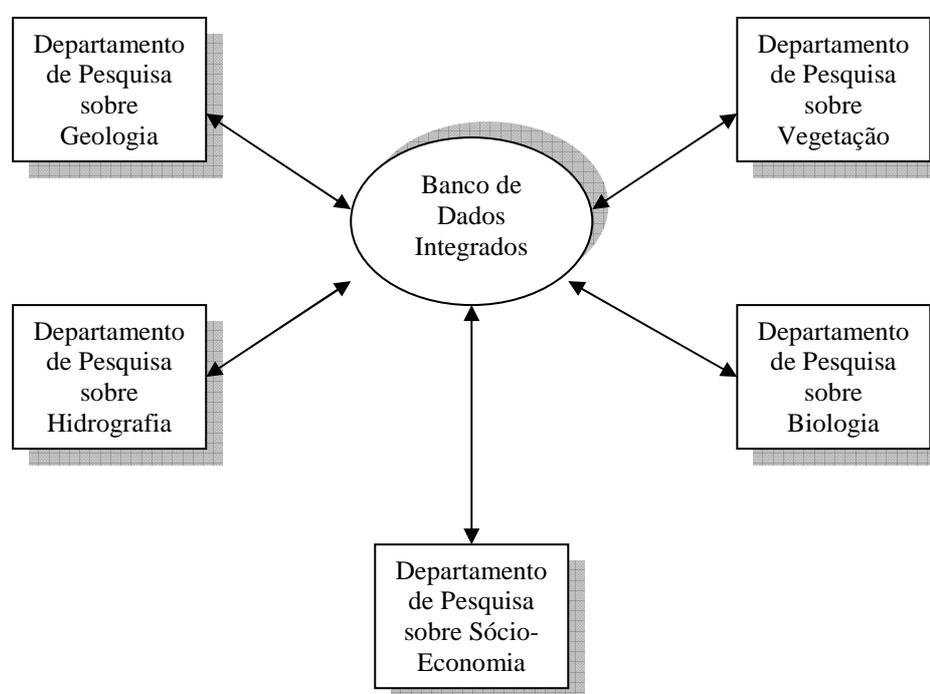
2.1. HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS BANCOS DE DADOS

O termo **Banco de Dados (BD)** refere-se a uma coleção de dados que é multidimensional, no sentido de conter ligações internas entre seus elementos, de modo que sua informação seja acessível de várias perspectivas. Isso contrasta com um sistema tradicional de arquivos, que é um sistema de armazenamento unidimensional no sentido em que apresenta a informação de um único ponto de vista (Brookshear 2005).

Historicamente, os bancos de dados evoluíram como forma de integrar sistemas de armazenamento de dados. À medida que as máquinas computacionais alcançaram uso generalizado na gerência da informação, cada aplicação tendia a ser implementada como um sistema separado com sua própria coleção de dados. Por exemplo, suponha um fictício Centro de Pesquisa “Inovação” que trabalha com diversos departamentos de pesquisa e onde cada departamento possui seu quadro de pesquisadores. Em tempos passados, a necessidade de processar dados geológicos era prioridade exclusiva do departamento de pesquisa relacionado à geologia; o mesmo acontecendo com os departamentos de pesquisa sobre hidrografia, vegetação, biologia, sócio-economia, dentre outros. Uma vez que cada departamento tinha seu próprio sistema de arquivos, boa parte da informação necessária ao Centro era duplicada no armazenamento. Como consequência, quando um dado era modificado, era necessário percorrer os inúmeros departamentos da organização, preenchendo os respectivos formulários de mudanças de dados. Sendo assim, os sistemas de banco de dados emergiram como meios de consolidar a informação armazenada e mantida por uma organização (Figura 2.1).



a) Sistema de informação orientado a arquivos



b) Sistema de informação orientado a banco de dados

Figura 2.1. Modalidades de um arquivo em uma organização de banco de dados: a) Sistema de informação orientado a arquivos; b) Sistema de informação orientado a banco de dados.

A história e evolução dos bancos de dados podem ser divididas em seis gerações: (Figueiredo *et al.* 2003):

- **1ª Geração:** tem início com o surgimento da escrita até aproximadamente 1900. O conceito de bancos de dados não é novo: o surgimento da escrita, além de servir como forma de comunicação, veio de uma necessidade de armazenar dados para que estes

pudessem ser lidos posteriormente e, mesmo antes, esse tipo de armazenamento já era feito através de marcas (como por exemplo, para marcar um caminho de volta de uma caçada) ou mesmo através de desenhos.

- 2ª Geração: cartões perfurados e máquinas eletromecânicas para ordenar e tabular registros. Até 1955, muitas companhias tinham andares inteiros para guardar cartões perfurados e processavam milhares de registros cada noite.
- 3ª Geração: uso de fitas magnéticas e de programas de computadores para executar processamento *batch* de arquivos seqüenciais. A terceira geração teve início nas décadas de 40/50, quando a UNIVAC desenvolveu uma fita magnética capaz de armazenar a informação de dez mil cartões. Com isso, surgiram os computadores que armazenavam programas.
- 4ª Geração: uso de banco e dados e acesso *on line* aos dados. Por volta de 1965, empresas precisavam de consultas a arquivos *on line*, e não do processamento do dia anterior, como era o caso de sistemas de reservas de passagens, por exemplo. Assim surgiram os primeiros bancos de dados capazes de ler alguns registros, atualizá-los e retornar os novos valores ao usuário.
- 5ª Geração: surgem as aplicações Cliente/Servidor e também o processamento paralelo de bancos de dados, onde uma operação utiliza alguns dados de entradas, gera uma saída e essa saída é utilizada em outra operação.
- 6ª Geração: uso de novos tipos de dados, como documentos, imagens, som e vídeo. A sexta geração teve início em 1995 e perdura até os dias de hoje. Com o sucesso da orientação a objetos, começam a surgir os primeiros bancos de dados objeto-relacionais, capazes de armazenar objetos. Os bancos de dados precisam armazenar novos tipos de dados que vêm surgindo, como vídeo, som, imagem, documentos, páginas da Web e outros objetos complexos.

2.2. SISTEMAS GERENCIADORES DE BANCO DE DADOS – SGBD

Um Sistema Gerenciador de Banco de Dados – SGBD – é constituído por um conjunto de programas capazes de acessar os dados de um banco de dados. O objetivo é proporcionar aos usuários uma visão abstrata dos dados. Dessa maneira, o sistema

esconde determinados detalhes de como os dados são mantidos e como estão armazenados.

As principais funções de um SGBD são (Date 2003):

- Definição e Manipulação dos dados: O SGBD deve ser capaz de aceitar definições de dados em formato fonte e convertê-los para o formato objeto apropriado. Além disso, também deve ser capaz de lidar com as requisições do usuário para buscar, atualizar, inserir ou excluir dados no banco de dados.
- Otimização e Execução: Determinação de uma maneira eficiente para executar uma requisição.
- Segurança e Integridade dos dados: O SGBD, ou algum subsistema chamado pelo SGBD, deve monitorar requisições de usuários e rejeitar toda tentativa de violar as restrições de segurança e integridade dos dados.
- Recuperação dos dados: O SGBD deve impor certos controles de recuperação de dados.
- Dicionário dos dados: O dicionário de dados pode ser considerado um banco de dados isolado (um banco de dados do sistema, não um banco de dados do usuário); que contém “dados sobre os dados”, ou seja, definições de outros objetos do sistema e também os programas que utilizam determinadas partes do banco de dados.
- Desempenho: Todas essas funções acima devem ser realizadas de forma eficiente e possível.

Entretanto, a comunicação com o usuário (uma pessoa ou até mesmo outro computador) é exercida por meio de um *software* de aplicação, que permite a requisição das funções do banco de dados. Uma vez determinada a ação que o usuário está requisitando, o *software* de aplicação usa o SGBD como ferramenta abstrata para obter os resultados esperados. Se a solicitação for para acrescentar ou eliminar dados, será o SGBD que de fato irá alterar o banco de dados. Se for para recuperar informações, será o SGBD que de fato realizará as buscas necessárias (Figura 2.2).

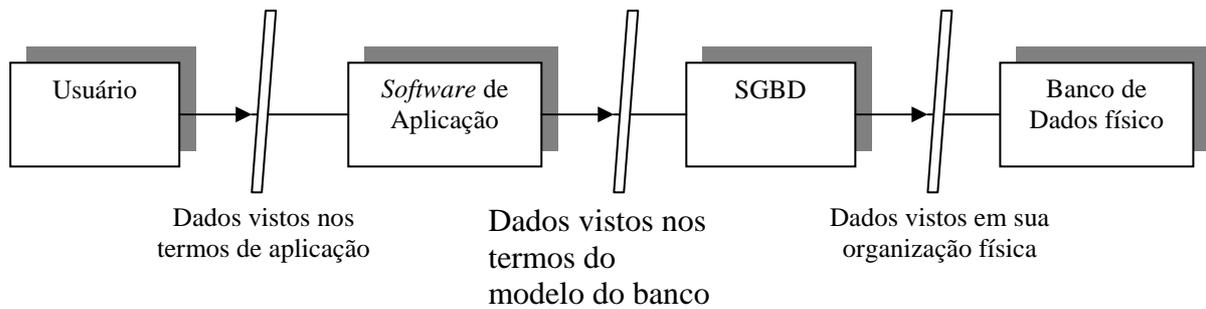


Figura 2.2. Os níveis de um Banco de Dados.

Sendo assim, o principal objetivo do SGBD é proporcionar um ambiente tanto *conveniente* quanto *eficiente* para a recuperação e armazenamento das informações do banco de dados (Silberschatz *et al.* 1999).

2.3. BANCOS DE DADOS CONVENCIONAIS - BD

Os Bancos de Dados Convencionais (BD) são utilizados para armazenar informações de uma parte do mundo real representada por uma aplicação. De acordo com Medeiros e Pires (1998), um banco de dados convencional, também conhecido como base de dados, é um conjunto de arquivos estruturados de forma a facilitar o acesso a conjuntos de informações que descrevem determinadas entidades do mundo. Logo, um banco de dados dos pesquisadores do centro de pesquisa citado anteriormente contém dados importantes sobre cada um deles: matrícula, nome, endereço, CPF, identidade, titulação, data de admissão, salário, entre outros.

Esse tipo de banco de dados lida exclusivamente com dados simples e estruturados (inteiros, reais, caracteres, entre outros) e as transações possíveis são as quatro operações básicas dos sistemas gerenciadores de banco de dados: inserção, remoção, atualização e consulta dos dados.

2.4. BANCOS DE DADOS NÃO-CONVENCIONAIS - BDNC

A quantidade de informações em um sistema computacional aumenta largamente, sendo assim, é necessário obter bancos de dados maiores e mais complexos para organizar e armazenar estes dados inteligentemente (Eriksson 1997).

É importante salientar que os tipos de dados começaram a se modificar. Além dos dados descritivos (ou alfanuméricos), surgiu a necessidade de armazenar grandes volumes de informação estruturada e também dados complexos (gráficos, imagens, sons entre outros). Sendo assim, originou-se o novo conceito de BDNC. As transações de um BDNC dependem do que se pretende obter dele: se ele for um banco de dados geográficos, pretende-se manipular dados geográficos; se for um banco de dados multimídia, então já se objetiva lidar com dados de multimídia e assim sucessivamente. Alguns bancos de dados não-convencionais e seus tipos de dados podem ser citados (Soares 2005):

- ✓ Bancos de Dados Multimídia: podem armazenar imagens, vídeos, mensagens de sons e outros.
- ✓ Sistemas de Informações Geográficas: podem armazenar e analisar mapas, dados climáticos, imagens de satélites, dentre outros.
- ✓ Data Warehouses e OLAP: usados para extrair e utilizar informações para tomada de decisão.
- ✓ Bancos de dados Ativos e tempo real: são usados no controle industrial e em processos de manufatura.

Nesse trabalho, são estudados os Bancos de Dados Espaciais, Temporais e Espaço-Temporais, descritos a seguir em maior detalhe.

2.4.1. Bancos de Dados Geográficos (ou Banco de Dados Espaciais)

Banco de Dados Geográficos (BDG) ou Banco de Dados Espaciais (BDE), pertencente à categoria dos bancos de dados não-convencionais, e se caracterizam não somente pelo armazenamento de dados, como também pelo relacionamento deles com suas respectivas posições geográficas. Em sua grande maioria, os BDG fazem parte de uma tecnologia computacional maior: os Sistemas de Informações Geográficas (SIG, do inglês *Geographic Information System - GIS*).

Os SIG realizam análises complexas, ao integrar dados alfanuméricos com dados geográficos de uma determinada área de estudo, através de um banco de dados georreferenciados. Possuem a capacidade de manipular dados espaciais (cartográficos, cadastrais, sensoriamento remoto, modelos numéricos de terreno) e dados não-espaciais

(descritivos ou alfanuméricos), de forma integrada, provendo uma base consistente para análise e consulta. Um exemplo dessa integração aparece na Figura 2.3 com a interligação de um mapa estadual e uma tabela de dados.

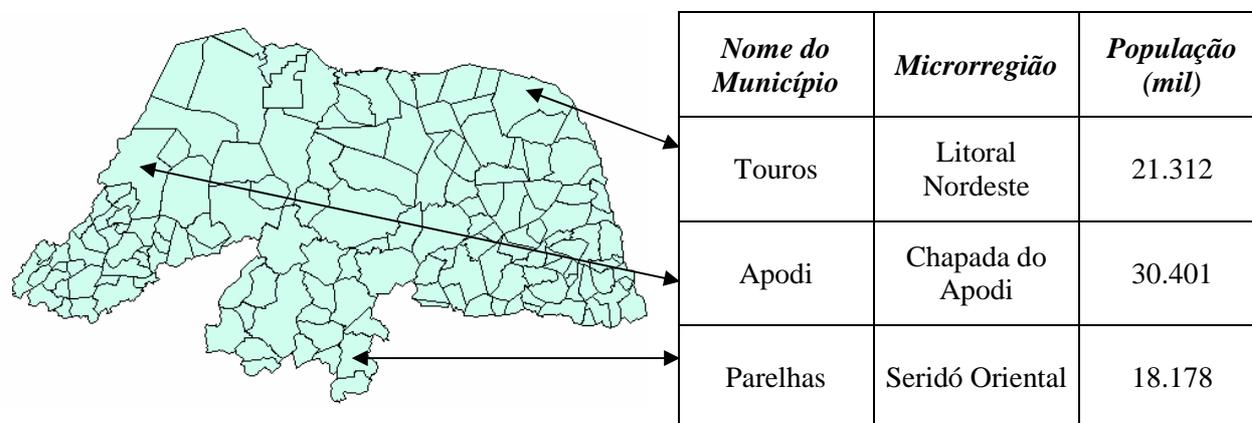


Figura 2.3 - Exemplo de um mapa estadual interligado com uma tabela de dados.

Logo, é possível ter acesso às informações descritivas de uma entidade geográfica a partir de sua localização geográfica e vice-versa (Lisboa Filho 1997). Graças à sua vasta gama de aplicações, os SIG podem ser utilizados, no mínimo, de três formas (Câmara & Medeiros 1998):

1. Como ferramenta para produção de mapas;
2. Como suporte para análise espacial de fenômenos e
3. Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Estas funções permitem ao SIG uma abrangência maior, tornando-se uma tecnologia utilizada por profissionais de várias áreas. O seu futuro tende a ser cada vez mais multidisciplinar, onde cartógrafos, geólogos, geógrafos, analistas de sistemas, engenheiros agrônomos, engenheiros civis, dentre outros necessitarão dele como ferramenta indispensável de trabalho. Atualmente, os SIGs são potencialmente usados na agricultura, no reflorestamento, em gestões municipais, estaduais e federais, na área de transporte, em análises ambientais, “marketing”, no gerenciamento das redes públicas e privadas, na geologia, arqueologia, em navegação e em aeroportos (Cunha 2001).

Um dado geográfico refere-se a uma medida observada de um fenômeno que ocorre sobre/sob a superfície terrestre, onde a localização da observação – geralmente determinada pelo uso de coordenadas geográficas (por exemplo: latitude e longitude) – é

um componente fundamental do dado (Lisboa Filho 2001). Dessa maneira, os aspectos espaciais (geométricos) possibilitam a perfeita definição do objeto e os não-espaciais (descritivos) representam os aspectos cadastrais desse objeto. As informações espaciais podem ser representadas de maneiras diferentes e estas construções geométricas podem ser representadas em um banco de dados de forma normalizada. Os construtores espaciais mais utilizados são compostos de pontos, linhas, áreas, superfícies, volumes e até mesmo dados de dimensões maiores, que incluem o tempo.

De acordo com Câmara e Monteiro (2001), os dados geográficos são caracterizados a partir de três componentes fundamentais:

- Características não-espaciais: descrevendo o fenômeno estudado (ex: nome e tipo da variável);
- Características espaciais: informando a localização espacial do fenômeno, ou seja, seu georreferenciamento, associada a propriedades geométricas e topológicas;
- Características temporais: identificando o tempo para o qual tais dados são considerados, isto é, quando foram coletados e sua validade.

Além desses fatores, os dados geográficos são subdivididos em geo-campos e geo-objetos. Os geo-campos são representações de objetos ou fenômenos distribuídos continuamente no espaço (por exemplo, tipo de relevo, solo, geologia); enquanto que, os geo-objetos são representações de entidades individualizáveis, com geometria e características próprias, como por exemplo, a representação de postes, casas, edifícios, rios e árvores.

Os SIG utilizam duas formas de armazenamento de dados geográficos no BDG: forma matricial e forma vetorial. A forma matricial divide o espaço em grades regulares, freqüentemente associado ao “pixel”, ao qual é atribuído um valor único, que determina o tipo de objeto ou a condição daquele determinado ponto. Já o modelo vetorial usa as entidades ponto, linha e polígono para representar objetos e condições do mundo real.

2.4.2. Bancos de Dados Temporais

As informações de um banco de dados convencional são relacionáveis e acessíveis e seu conteúdo reflete um instante da realidade. Portanto, à medida em que o tempo passa, um banco de dados convencionais se modifica conforme as mudanças do mundo

real, ou seja, suas informações vão se alterando a cada instante de acordo com o novo estado do mundo. Dessa maneira, todas as informações armazenadas anteriormente a uma mudança são perdidas.

Para algumas aplicações, talvez a maior parte delas, tanto o estado passado das informações como o estado presente são de extrema importância. Por exemplo, para o Centro de Pesquisa “Inovação” citado anteriormente, torna-se importante armazenar dados de hidrografia da década passada e da década atual. É necessário um armazenamento temporal desse tipo de dado para analisar sua evolução. Esse fato então limita o uso de BD convencionais, uma vez que estes não possuem recursos que permitam acessar os estados passados da hidrografia.

Nesse contexto, surge então um novo elemento na área de Banco de Dados Não-Convencionais: o tempo relacionado às informações. Esse novo elemento deu origem aos Bancos de Dados Temporais (BDT), que são bancos de dados que permitem armazenar e recuperar todos os estados de um objeto, registrando sua evolução ao longo do tempo (Edelweiss 1994, Etzion *et al.* 1998, Tansel 1993). Os bancos de dados temporais surgem para exercer funções que permitam tornar históricos os dados e utilizá-los como propulsores para projeções. Esse tipo de banco de dados mantém dados passados e atuais. Os aspectos do tempo são importantes para aplicações que necessitam do histórico de suas informações, ou seja, que precisam preservar o dado anterior a uma atualização. Isso é necessário para que possam ser processadas consultas referentes aos dados válidos no passado e no futuro (Almeida & Cordenozzi 2001).

Uma maneira de representar essas informações temporais é a inserção de parâmetros determinando o tempo inicial e final da validade daquele dado. A idéia é adicionar uma nova linha (ou tupla) à tabela de dados (Elmasri & Navathe 2002). Tomando como exemplo os salários dos pesquisadores do Centro de Pesquisa “Inovação”, as informações temporais seriam assim (Tabela 2.1):

Tabela 2.1: Informação temporal com os salários dos funcionários.

Matrícula_Pesquisador	Salário	Início	Fim
1001200	R\$ 3.000,00	23/04/1992	25/09/1994
1001200	R\$ 4.500,00	26/09/1994	-----
1001215	R\$ 2.680,00	01/03/2003	-----

À medida que o salário do pesquisador 1001200 foi atualizado, o salário antigo continuou gravado na tabela, com a data de início e fim daquele valor e foi criada uma nova linha, com o valor do novo salário e a data que este começou a vigorar. Esse novo salário está sendo válido até os dias de hoje, visto que não tem nenhuma data final.

Agora, suponha que o Departamento de Pesquisas sobre Hidrografia tenha verificado que um determinado rio esteja diminuindo de tamanho com o passar do tempo. A Tabela 2.2 mostra essa variação de tamanho:

Tabela 2.2: Exemplo de tabela temporal.

Nome do Rio	Comprimento	Ano
Rio Ingá	330 m	1992
Rio Novo-Ingá	250 m	2000
Rio Novo-Ingá	240 m	2004

A Tabela 2.2 mostra que o nome do rio foi mudado e que seu tamanho está diminuindo ao longo dos anos. Essas informações temporais associadas aos dados são conhecidas como *dimensões temporais* (Edelweiss 2003). Sendo assim, a entidade *tempo* é peça-chave na modelagem e implementação de um banco de dados temporal.

O tempo é um aspecto importante de todo evento do mundo real. Todo BDT deve utilizar mecanismos que capturem de maneira eficiente a evolução temporal de seus objetos. O tempo tem grande importância no tratamento das informações, representando a duração dos eventos, previsões e o tempo de vida de documentos ou operações. Porém, devido ao fato de que a natureza temporal é extremamente variada, a introdução da dimensão tempo, em BD, não é tão simples. Deve-se fazer diversas escolhas no que se refere a unidades, estruturas e domínios temporais (Almeida & Cordenosi 2001).

Conceitualmente, pode-se representar o tempo através de diferentes estruturas, definidas, principalmente, com base em três aspectos da representação temporal: granularidade, variação e ordem no tempo (Pedrosa 2004). Esses três parâmetros podem ser melhor compreendidos na Figura 2.4 a seguir:

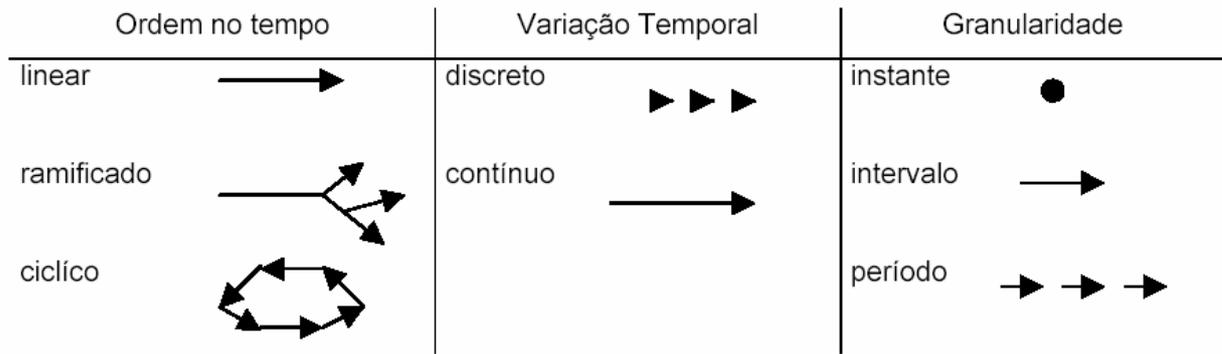


Figura 2.4 – Estruturas Temporais. Fonte: Worboys (1998).

A ordem temporal refere-se ao modo como o tempo flui. Neste caso, pode-se assumir que o tempo flui de forma linear, ramificada ou cíclica. No tempo linear considera-se que o tempo flui seqüencialmente, ou seja, existe uma ordem de precedência entre os pontos no tempo, de tal forma que cada ponto tenha apenas um sucessor e um antecessor. No tempo ramificado, múltiplos pontos podem ser os sucessores ou antecessores imediatos de um mesmo ponto (Figura 2.5). O tempo cíclico é utilizado para modelar eventos e processos recorrentes (Edelweiss 1994).

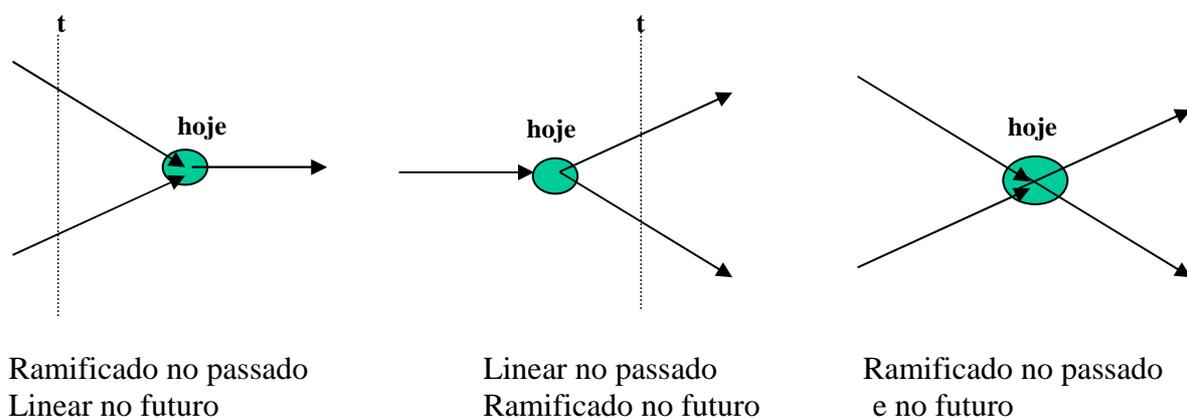


Figura 2.5 - Tempo Ramificado. Fonte: Edelweiss (2003).

Segundo Snodgrass (1995), três diferentes conceitos temporais podem ser identificados em aplicações de banco de dados:

(1) Tempo de transação: tempo no qual o fato é armazenado no banco de dados. O tempo de transação identifica o instante da transação que inseriu o fato no BD e a transação que removeu este fato do BD;

(2) Tempo de validade: tempo em que o fato é válido (verdadeiro) na realidade modelada. O tempo válido de um evento é o tempo em que o mesmo ocorreu no mundo real, independente do registro deste evento no banco de dados;

(3) Tempo definido pelo usuário: propriedades temporais definidas explicitamente pelos usuários em um domínio temporal e manipuladas pelos programas da aplicação.

Os BDT armazenam os dados referenciando as datas. Nesse sentido, quando os dados são mostrados ao usuário, as perguntas podem ser sobre a evolução destes através do tempo e as mudanças acontecidas (Quintarelli 2004). Os BDT representam uma área ativa da pesquisa atual. A meta é encontrar modos eficientes de armazenar e manter a informação passada, presente e futura, desenvolver técnicas de buscar tais registros para compor a informação requerida e desenvolver linguagens para expressar as solicitações da informação temporal.

2.4.3. Bancos de Dados Espaço - Temporais

Os Bancos de Dados Espaciais e Temporais permaneceram um longo tempo separados. Pesquisadores e interessados em ambas as áreas perceberam a necessidade e a importância de conectar essas duas categorias de banco de dados, de modo que fossem estudadas e pesquisadas arquiteturas, técnicas e ferramentas que tratassem esse novo tipo de banco de dados – o Banco de Dados Espaço-Temporais (BDET).

As pesquisas atuais objetivam exatamente esse tipo de interação e sinergia, e objetivam também endereçar os muitos problemas da vida real que requerem os conceitos espaço-temporais. Um *Sistema Gerenciador de Banco de Dados Espaço-Temporais (SGBDET)* pode se tornar hábil para tecnologias de importantes aplicações, como os Sistemas de Informações Geográficas, Sistemas de Informação Ambiental e Multimídia (Sellis 1999).

Em linhas gerais, um BDET é um banco de dados que incorpora dados espaciais, temporais e espaço-temporais; podendo capturar simultaneamente os dados espaciais e temporais. Todos os conceitos espaciais e temporais (por exemplo, retângulo ou intervalo de tempo) devem ser considerados. Entretanto, deve-se dispor de uma atenção especial para a área que realiza a intersecção entre essas duas classes de conceitos, denominada classe de *conceitos espaço-temporais*.

No caso de se observar processos geológicos, é necessário incluir o componente temporal nos dados para representar as *mudanças* e derivar relacionamentos de causa e efeito. Bancos de dados estão sendo usados para estudar alguns fenômenos ecológicos como os movimentos das massas de ar que indicam mudanças de clima, o movimento de correntes marítimas que estão relacionadas com a vida de todo o ecossistema marinho, as mudanças das coberturas vegetais que afetam a fauna terrestre, os efeitos da poluição dos rios sobre o abastecimento de água e a atividade de pesca de uma região, os efeitos da poluição do ar sobre a camada de ozônio, e finalmente as mudanças climáticas, o aquecimento global e a conseqüente expansão térmica dos oceanos e o derretimento das geleiras polares. Pesquisadores em gerenciamento de recursos naturais estão tendo uma visão mais holística e integradora, procurando obter maior diversidade e produtividade a longo prazo, evitando assim uma exploração desordenada destes recursos.

As mudanças na geologia geralmente ocorrem em ciclos e têm importância fundamental no entendimento dos processos e da dinâmica ambiental. Comparando-se a configuração atual das entidades geoambientais armazenadas no sistema com os estados antigos dessas entidades, pode-se identificar o que foi modificado e, a partir daí, tentar descobrir as razões dessa mudança. Os processos ambientais são estudados através da observação empírica de seus efeitos sobre as entidades geológicas e geográficas. Uma vez estabelecida uma hipótese baseada em acontecimentos passados que expliquem alguns fenômenos atuais, essa hipótese é usada para prever as possibilidades de ocorrência desse ou de outros fenômenos no futuro. Quanto mais a hipótese é validada ao longo do tempo, maior é a sua credibilidade e, portanto, é maior a sua eficiência na previsão de eventos futuros.

A adição da dimensão temporal deve trazer a possibilidade de não apenas armazenar o histórico de estados passados das entidades geoambientais, mas também de analisar o mundo como um grande reservatório de entidades dinâmicas interrelacionadas por processos (naturais ou não) que funcionam como catalisadores de mudanças nessas entidades.

De acordo com Langran (1995), os bancos de dados temporais armazenam os valores históricos dos dados geoambientais e portanto podem auxiliar a responder consultas do tipo: "*Onde e quando houve mudança?*"; "*Que tipo de mudanças ocorreram?*"; "*Com que frequência ocorreram as mudanças?*"; "*Qual foi a*

periodicidade das mudanças?". Diante dessas informações o sistema pode descobrir, ainda, se existe algum padrão temporal, que tendências são visíveis e qual processo é o responsável pela mudança. Os tipos de consultas espaço-temporais de acordo com o domínio de busca da consulta são:

1. Consulta Temporal Simples: "Qual é o estado do objeto A no tempo T ?" (Figura 2.6.a);
2. Consulta Temporal de Intervalo: "O que aconteceu com o objeto A durante um intervalo T1 a T2 ?" (Figura 2.6.b);
3. Consulta Espaço-Temporal Simples: "Qual é o estado da região R no tempo T ?" (Figura 2.6.c);
4. Consulta Espaço-Temporal de Intervalo: "O que aconteceu com a região R no intervalo T1 a T2 ?" (Figura 2.6.d).

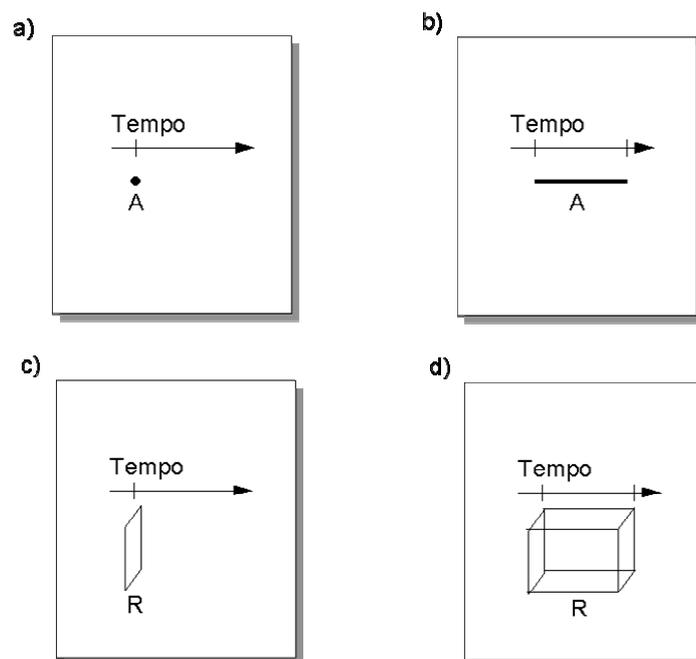


Figura 2.6 – Tipos de Consultas Espaço-Temporais: (a) Consulta Temporal Simples; (b) Consulta Temporal de Intervalo; (c) Consulta Espaço-Temporal Simples; e (d) Consulta Espaço-Temporal de Intervalo.

Medeiros e Jomier (1993) acreditam que um banco de dados espaço-temporais pode auxiliar nos seguintes tipos de operações:

- Apresentação dos dados armazenados.

- Determinação dos relacionamentos espaciais entre entidades diferentes.
- Simulação e comparação de cenários alternativos baseados na combinação de camadas de dados.
- Previsão do futuro através da análise de tendências.

No Brasil, uma aplicação interessante de um BDET foi realizada por Correia *et al.* (2005) em que foi elaborado um banco de dados geográficos espaço-temporais capaz de funcionar como um sistema de monitoramento para desmatamentos e queimadas ilegais em largas extensões territoriais.

Mundialmente, destaca-se a Rede de Pesquisa em Treinamento e Mobilidade (o *Chorochronos*), com o objetivo de estudar o desenvolvimento, implementação e aplicação de Bancos de Dados Espaço-Temporais (Sellis 1999a). Os participantes dessa rede são institutos de computação e comunicação tais como: National Technical University of Athens, Aalborg University, FernUniversität Hagen, Università Degli Studi di L'Aquila, UMIST, Politecnico di Milano, INRIA, Aristotle University of Thessaloniki, Agricultural University of Athens e Technical University of Vienna.

O Chorochronos constitui-se de grupos de pesquisa em sistemas de bancos de dados espaciais e temporais, a maioria trabalhando exclusivamente em bases de dados espaciais ou base de dados temporais. Esta rede possibilita que todos esses grupos colaborem mutuamente e integrem áreas de conhecimento. Propõe, ainda, um programa de pesquisa extensiva, abarcando assuntos relacionados com ontologia, estrutura e representação de espaço e tempo; modelos de dados e linguagens de consultas para um SGBDET; interfaces gráficas com usuário para informação espaço-temporal; algoritmos de processamento, estruturas de armazenamento e técnicas de indexação; além de arquiteturas para SGBDET (Sellis 1999a).

2.5. MODELOS DE BANCOS DE DADOS

O homem sempre teve a necessidade de representar o mundo real em uma escala compatível com o local em que tivesse que disponibilizar e trabalhar com esse modelo, podendo visualizá-lo no todo ou em parte. Em um banco de dados, os modelos são construídos para testar se as necessidades e finalidades planejadas serão alcançadas.

O processo de desenvolvimento de um banco de dados está intimamente relacionado com o ciclo de vida do desenvolvimento de *software* onde, a cada etapa, novas informações e detalhes são acrescentados ao projeto do *software* (Pressman 1987). No projeto de banco de dados as informações que serão armazenadas são especificadas utilizando-se modelos de dados em diferentes níveis de abstração, iniciando por modelos de alto nível de abstração e refinando-se o modelo até que sejam incorporados detalhes específicos, relacionado ao armazenamento dos dados.

Sendo assim, um *modelo de (banco de) dados* é uma descrição dos tipos de informações que serão armazenadas no BD (Heuser 2001); ou ainda, um conjunto de ferramentas conceituais usadas para a descrição de dados, relacionamentos entre eles, semântica e regras de consistência (Silberschatz *et al.* 1999).

Um modelo de dados fornece ferramentas formais para descrever a organização lógica de um banco de dados, bem como as operações de manipulação de dados permitidas. O processo de modelagem de dados, quando bem conduzido, durante o desenvolvimento de uma aplicação específica, produz uma visão abstrata da realidade, o que facilita o acesso e a reutilização dos dados, a expansão do banco de dados e a sua integração com outros aplicativos distintos, mas que descrevem a mesma realidade (Câmara *et al.* 1996).

Na construção de um modelo de dados usa-se uma linguagem própria para modelagem de dados; geralmente, são misturas de textos com gráficos. Um modelo de dados pode ser apresentado na forma de textos, tabelas, figuras, entre outras representações (Heuser 1999).

Em linhas gerais, o projeto de um banco de dados compreende três principais etapas, nas quais são empregados diferentes tipos de modelos: Modelo Conceitual, Modelo Lógico e Modelo Físico (Elmasri & Navathe 1994, Gomes 1997, Lisboa Filho 2000, Heuser 2001, Rocha 2001). O nível conceitual tende a ser o mais abstrato e o nível físico o vinculado ao funcionamento do SGBD (Figura 2.7).

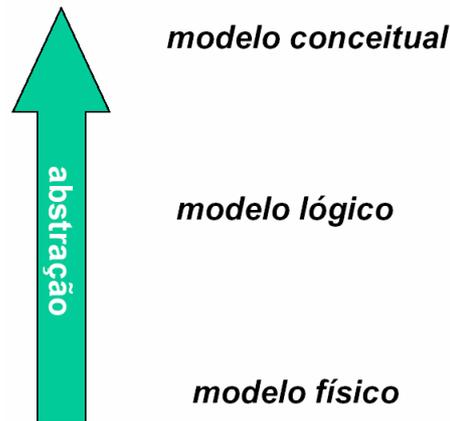


Figura 2.7 – Níveis de Abstração do Modelo de Dados.

A Figura 2.8 ilustra as três fases de projeto de banco de dados (conceitual, lógico e físico) e seus respectivos produtos (esquema conceitual, esquema lógico e esquema físico).

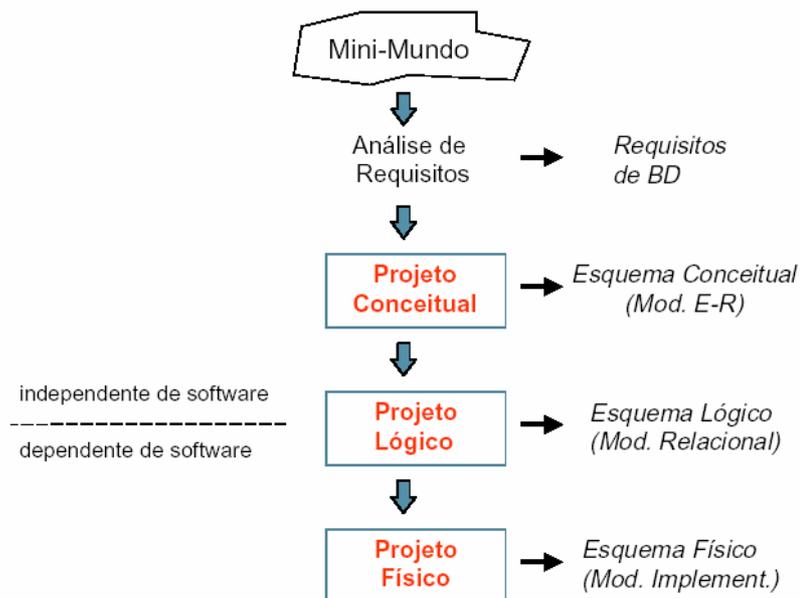


Figura 2.8 – As três fases do projeto de banco de dados. Fonte: Lisboa Filho (2001).

1ª) Modelo conceitual:

Segundo Lisboa e Iochpe (1997), o processo de abstração dos fenômenos do mundo real tem a finalidade de representá-lo no meio computacional e nem sempre isto é feito de forma adequada, ocasionando assim o não atendimento dos objetivos e das necessidades do usuário. A importância, portanto, de estudar o ambiente e visualizá-lo do ponto de vista do usuário, direciona para a modelagem deste ambiente, denominado de

Modelagem do Mundo Real. Através de pesquisas, diagnosticando qual o problema a ser estudado, esse mundo passa a ser colocado em uma forma passível de ser interpretada tanto pelo modelador quanto pelo usuário, sendo esta fase denominada de Modelagem Conceitual.

A modelagem conceitual dos dados caracteriza-se pela descrição abstrata dos dados, onde a partir da especificação de requisitos, são representadas *quais* entidades (descritas por seus atributos) serão armazenadas no banco de dados e os relacionamentos existentes entre elas. Nesta fase, não são considerados aspectos de implementação e quais sistemas de computação (*software/hardware*) que serão utilizados. Um modelo é uma representação simplificada da realidade. Um modelo conceitual é uma maneira de representar a realidade a ser implementada em um sistema de informação automatizado, o qual é independente dos detalhes de implementação.

Modelos conceituais são usados na fase inicial de um projeto de banco de dados, tipicamente durante a fase de análise de requisitos e do projeto conceitual (Navathe 1992). Eles são independentes do “hardware”, sistema operacional ou SGBD e permitem ao projetista de banco de dados representar os dados de forma abstrata, formal e não ambígua. O projetista precisa representar a estrutura da informação no sistema – os tipos de dados e seus inter-relacionamentos.

O processo de modelagem conceitual compreende a descrição e definição dos conteúdos dos dados, além de suas estruturas e de regras aplicáveis aos dados (EUR 1996). A modelagem conceitual é sempre feita com base em algum formalismo conceitual (ex.: Entidade-Relacionamento, Orientação a Objetos), independente do nível de abstração empregado. O resultado da modelagem, denominado esquema conceitual, é apresentado através de uma linguagem formal de descrição, que possui uma sintaxe e/ou uma notação gráfica.

O modelo conceitual ajuda os projetistas e usuários a se comunicarem sobre a realidade que está sendo modelada. Nesse nível conceitual, são empregados os modelos semânticos, os quais são voltados para o entendimento por parte das pessoas (usuários e projetistas). Um modelo de dados semântico fornece uma base formal (notacional e semântica) para ferramentas e técnicas usadas para suportar a modelagem semântica do BD. Modelagem semântica é o processo de abstração, no qual somente os elementos

essenciais da realidade observada são enfatizados, descartando-se os elementos não essenciais (Lisboa Filho 2001).

Abaixo, alguns dos modelos semânticos existentes na atualidade (Borges & Davis 2001):

- **Modelo Entidade-Relacionamento (E-R)**

O modelo Entidade-Relacionamento (E-R), proposto por Chen (1976), foi um dos primeiros modelos semânticos a surgirem na literatura. Devido a sua simplicidade de representação e facilidade de aprendizado, tem sido o modelo de maior sucesso como ferramenta de comunicação entre o projetista de banco de dados e o usuário final durante as fases de análise de requisitos e projeto conceitual (Batini *et al.* 1992).

Originalmente, Chen propôs três classes de objetos (construtores semânticos): entidade (formalmente, um conjunto de entidades); relacionamento (formalmente, um conjunto de relacionamentos) e atributos. As Entidades são os principais elementos da realidade sobre os quais as informações serão coletadas (ex.: uma rua, um mapa, um parque ou uma floresta). Atributos são usados para detalhar as entidades, associando a elas propriedades descritivas (ex.: nome, cor, peso e valor). Relacionamentos representam associações que ocorrem na realidade entre elementos pertencentes a um ou mais conjuntos de entidades. Todos podem ser visualizados na Figura 2.9.

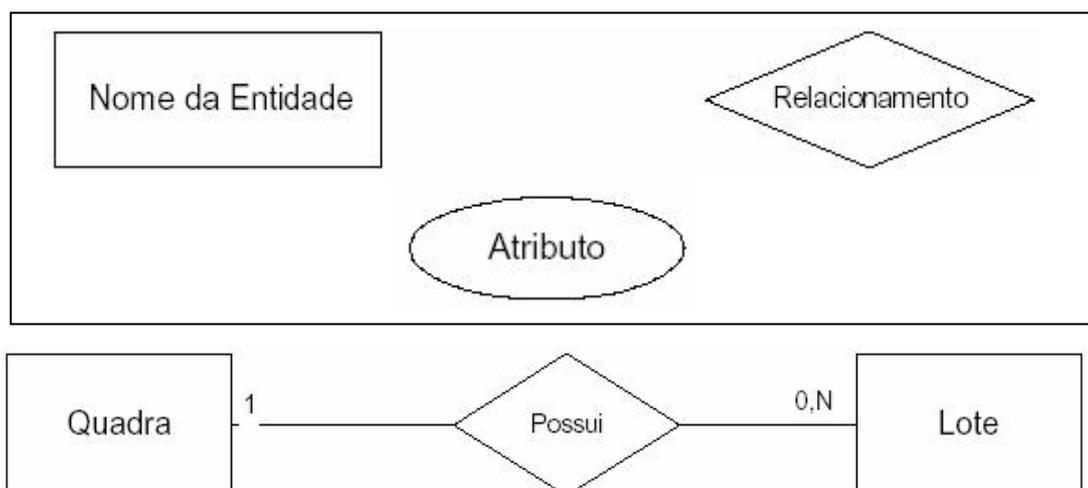


Figura 2.9 – Construtores básicos do modelo ER. Fonte: Borges e Davis (2001).

- *Object Modeling Technique (OMT)*

Rumbaugh (1996) propôs um método de projeto orientado a objetos chamado Técnica de Modelagem de Objetos (*Object Modeling Technique - OMT*). Ele é dividido em três fases: análise, projeto e implementação. Como a fase de análise se ocupa da modelagem do mundo real, apenas ela é referenciada nesta seção.

Dentro da fase de análise, existem três modelos: o modelo de objetos, o modelo dinâmico e o modelo funcional. O modelo de objetos captura a estrutura estática dos objetos do sistema, mostrando as classes, os relacionamentos existentes entre as classes e os atributos, as operações que caracterizam cada classe, e ainda restrições.

Um objeto é uma abstração que representa elementos do universo de discurso da aplicação, que podem ser reais como uma pessoa ou abstratos como uma conferência. Cada objeto possui uma identidade que o distingue pela sua própria existência e não pelas propriedades descritivas que ele possa ter. Uma classe de objetos descreve um conjunto de objetos com atributos comuns, operações e a mesma semântica. As classes são representadas graficamente por retângulos divididos em três partes contendo o nome da classe na parte superior, a lista de atributos na parte do meio e a lista de operações na parte inferior (Figura 2.10).

O relacionamento entre objetos e classes é feito através de ligações e associações. Uma generalização é um relacionamento entre classes que produz uma hierarquia: uma ou mais classes generalizam-se em uma classe de nível mais alto. As classes de nível mais baixo são chamadas de subclasses e a classe de nível mais alto é chamada superclasse. A herança é o mecanismo de compartilhamento de características utilizando o relacionamento de generalização. As subclasses herdam os atributos, operações, associações e agregações de sua superclasse. Cada subclasse pode acrescentar suas próprias características. Não existe distinção entre generalização e especialização já que são dois diferentes pontos de vista do mesmo relacionamento. Na especialização as subclasses refinam ou especializam a superclasse.

A agregação é um modo de associação onde um objeto agregado é feito de objetos componentes. A agregação é também chamada de relacionamento “parte_de”. A notação dos principais construtores gráficos usados no OMT encontra-se na Figura 2.10.

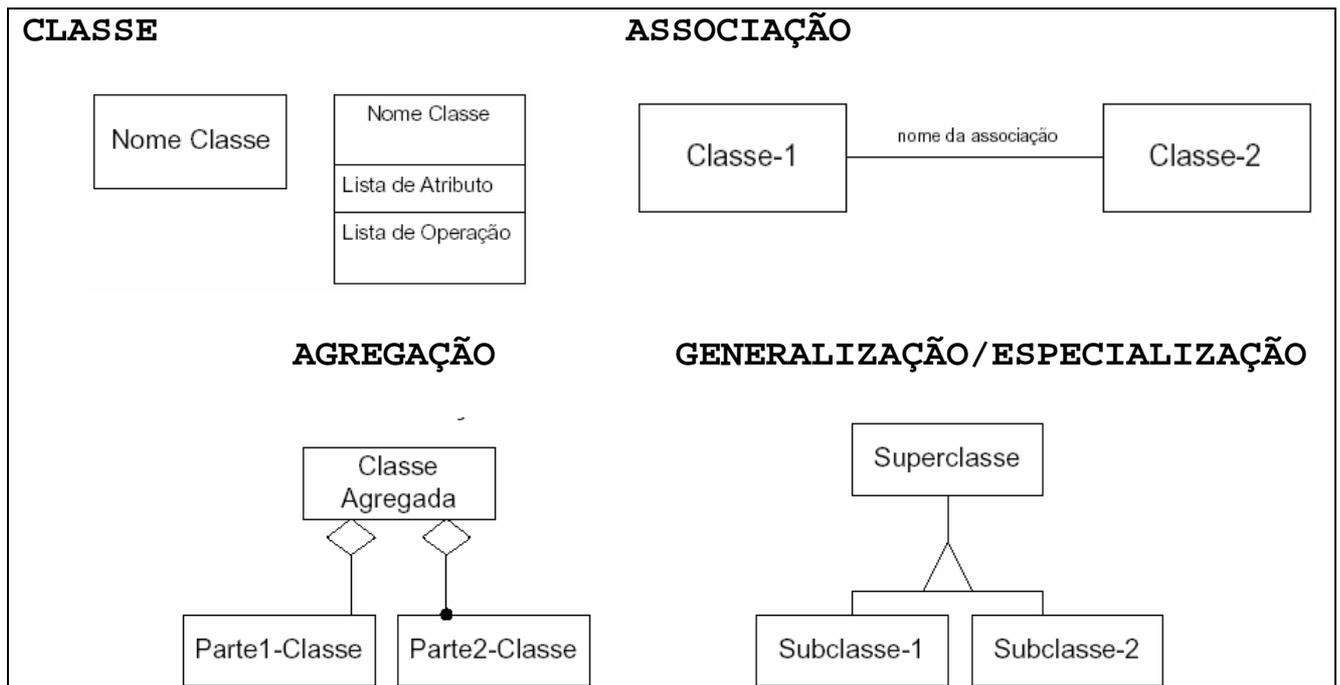


Figura 2.10 – Construtores mais comuns do modelo OMT. Fonte: Borges e Davis (2001).

- **Object-Oriented Analysis Method (OOA)**

O método de análise orientada a objetos foi proposto por Coad e Yourdon (1991). É um método destinado primariamente ao desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de informações. O método possui um processo bem definido, cobrindo a análise e o projeto. A fase de análise é baseada no desenvolvimento de uma forma estendida do modelo E-R, denominada modelo OOA.

A primeira fase do método consiste na identificação de *classes* e *objetos*, visando exprimir o domínio do problema e as responsabilidades do sistema. A próxima etapa identifica as estruturas: *Generalização/especialização* e *Todo-parte*. A partir daí são identificados os *assuntos*. No modelo OOA, o conceito de assunto é usado para o controle da visibilidade e orientação do leitor, ajudando a rever o esquema e resumindo sucintamente os assuntos no domínio do problema. O próximo passo é a identificação dos *atributos* e o último passo é a definição dos *serviços*. A Figura 2.11 apresenta a representação gráfica das primitivas do modelo OOA.

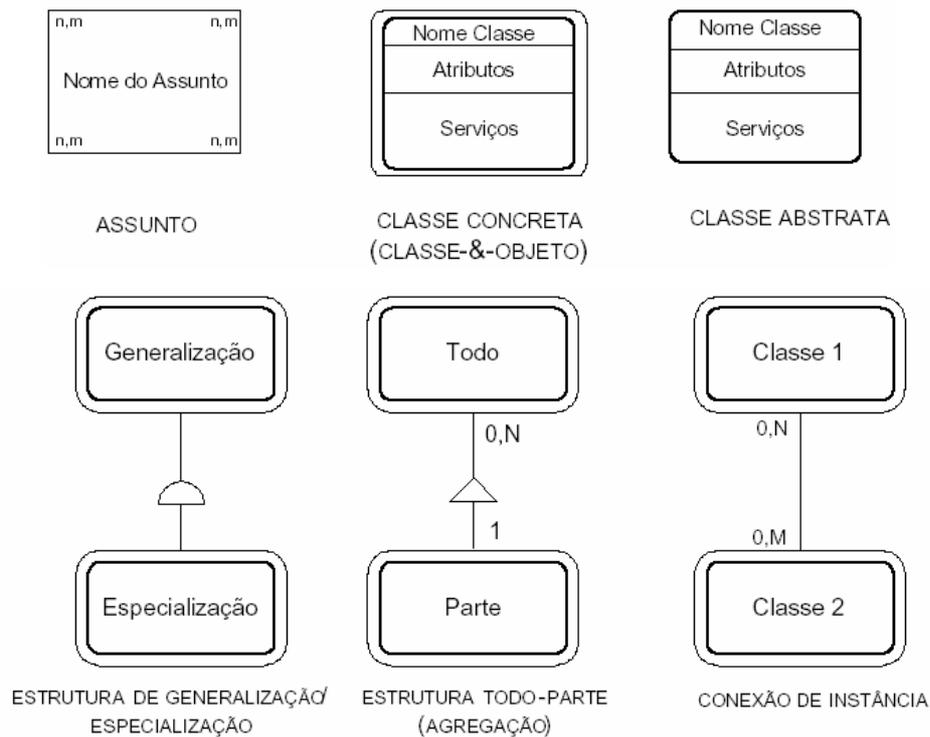


Figura 2.11 – Principais construtores do modelo OOA. Fonte: Borges e Davis (2001).

2ª) Modelo lógico:

A partir do modelo conceitual é construído o modelo lógico. Neste nível é definido *como* as entidades serão armazenadas na estrutura do BD (em tabelas, por exemplo). Assim, o modelo lógico depende do tipo de SGBD que será utilizado na implementação.

O modelo lógico descreve o esquema do banco de dados com base no tipo de modelo do SGBD que será utilizado. O modelo lógico independe do *software* a ser usado, mas é dependente do modelo conceitual de dados. Esse modelo é gerado a partir da aplicação de regras de transformação (mapeamento) dos construtores de abstração utilizados no modelo conceitual em elementos de representação de dados (Elmasri & Navathe 1994).

3ª) Modelo físico:

Nessa etapa são definidos detalhes de implementação física dos dados, como, por exemplo, estruturas de armazenamento, caminhos de acesso, particionamento e agrupamento. Estes fatores estão diretamente relacionados a um SGBD específico e permitem, ao projetista, planejar aspectos ligados à eficiência do sistema de banco de

dados. Essa etapa nada mais é do que a tradução ou materialização do projeto lógico em um projeto físico.

2.5.1. Modelos de Bancos de Dados Geográficos

A modelagem de dados é um processo de abstração onde somente os elementos essenciais da realidade observada são enfatizados, descartando-se os elementos não essenciais (Lisboa Filho 2000). Câmara e Monteiro (2001) afirmam que a modelagem do mundo real consiste em selecionar fenômenos e entidades de interesse, abstraindo-os e generalizando-os. O modelo de dados produz uma visão abrangente da realidade, mostrando todos os fatores envolvidos e todos os relacionamentos, existentes ou não, entre eles. A modelagem de dados é feita durante a fase de levantamento dos dados de uma determinada aplicação geográfica. Tal como em uma aplicação convencional, é utilizado um modelo conceitual durante esse levantamento para que possa ser verificado se os requisitos do usuário estão sendo atendidos ou não (Preto et al. 1999).

Devido à existência de uma lacuna entre a forma de visualização do mundo real pelo usuário e a forma de visualização dos objetos pelos computadores, torna-se necessária a introdução de níveis de abstração para que haja uma ligação entre essas duas formas distintas. Sendo assim, existe o Mundo Real e os três Níveis de Abstração da Modelagem: Nível Conceitual, Nível Representação e Nível Implementação, que podem ser vistos na Figura 2.12.

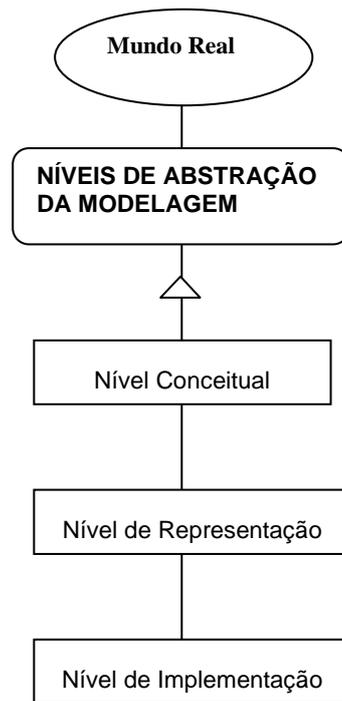


Figura 2.12 –Níveis de Abstração. Adaptado de Câmara *et al.* (1996).

Fazendo uma analogia com as etapas dos modelos de dados definidos anteriormente, os níveis de abstração de modelagens geográficas podem ser caracterizados como (Câmara *et al.* 1996):

- Nível Conceitual (equivalente ao Modelo Conceitual no modelo de dados convencionais): oferece um conjunto de conceitos para modelar, formalmente, entidades geográficas em um alto nível de abstração. Modelo no qual os objetos, suas características e relacionamentos têm representação fiel ao ambiente observado, independente de limitações quaisquer impostas por tecnologias, técnicas de implementação ou dispositivos físicos;
- Nível de Representação (equivalente ao Modelo Lógico no modelo de dados convencionais): relaciona as classes de campos e objetos identificados no nível conceitual com classes de representação espacial disponíveis nas tecnologias adotadas pelos SIG. Nesse nível define-se um modelo em que os objetos, suas características e relacionamentos têm a representação de acordo com as regras de implementação e limitantes impostos por algum tipo de tecnologia. Para um *software* de SIG adaptar-se a um Modelo Conceitual, é necessário que o usuário conheça bem a ferramenta que irá utilizar. O nível de representação é voltado à implementação sob o ponto de vista de

sistemas de informação.

- Nível de Implementação (equivalente ao Modelo Físico no modelo de dados convencionais): inclui estruturas de armazenamento para implementar cada tipo de representação. Define um modelo em que a representação dos objetos é feita sob o foco de nível físico de implementação das ocorrências, ou instâncias das entidades e seus relacionamentos. Necessita do conhecimento do modo físico de implementação das estruturas de dados.

Alguns requisitos próprios dos sistemas geográficos fazem com que modelos conceituais convencionais, como o modelo E-R, não sejam adequados para modelagem de bancos de dados geográficos, ou seja, para modelagem de aplicações de SIG. Atualmente, diversas propostas de modelos conceituais de dados específicos para bancos de dados geográficos podem ser encontradas na literatura. Estes modelos são, na verdade, extensões dos modelos tradicionais. Abaixo são citados os principais modelos encontrados na literatura, classificados de acordo com o tipo de formalismo usado como base:

- ✓ Formalismo E-R: Modul-R, GISER;
- ✓ Formalismo OO: GMOD, GeoOOA, Mgeo, GeoFrame, OMT-G.

Modelo do tipo Entidade-Relacionamento como o Modul-R:

Em Caron e Bédard (1993) é descrita uma extensão do modelo ER para aplicações geográficas urbanas, denominado Formalismo Modul-R. O modelo Modul-R tem como objetivo estender o modelo ER para tratar os seguintes requisitos: referência espacial, referência temporal, complexidade de banco de dados e dicotomia entre dados e processos. Modul-R é baseado em uma estrutura modular em forma de pirâmide (Figura 2.13), onde o projetista escolhe, de acordo com o contexto de cada aplicação, um conjunto de componentes semânticos que comporão uma linguagem integrada.

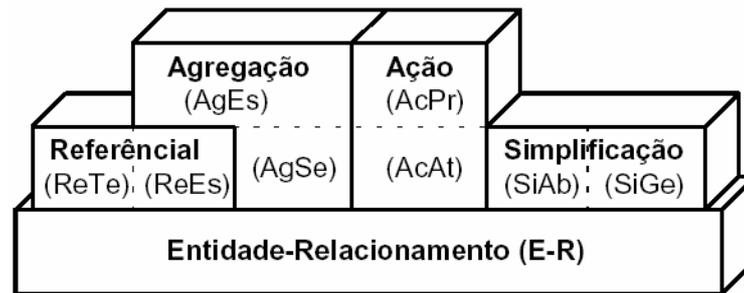


Figura 2.13 – Módulos do modelo Modul-R. Fonte: Caron e Bédard (1993).

O modelo ER forma a base da pirâmide e quatro novos módulos são adicionados. São eles (Lisboa Filho *et al.* 1997):

- Módulo Referencial (Re) - permite que entidades e relacionamentos sejam referenciados no espaço e no tempo. Possui dois submódulos: Referência Espacial (ReEs) e Referência Temporal (ReTe).

- Módulo Agregação (Ag) - permite enriquecer o modelo facilitando sua expressão com base na tecnologia de orientação a objetos. Inclui os submódulos Agregação Semântica (AgSe) e Agregação Espacial (AgEs).

- Módulo Ação (Ac) - permite criar uma conexão entre a modelagem dos dados e dos processos, através de uma ligação entre elementos do modelo de dados conceitual e elementos de um diagrama de fluxo de dados (DFD). Compreende os submódulos Atividades (AcAt) e Processos (AcPr).

- Módulo Simplificação (Si) - permite a simplificação de esquemas complexos através dos submódulos Abstração (SiAb) e Generalização (SiGe).

O módulo ER fornece os componentes básicos do modelo, ou seja, entidades, relacionamentos, atributos e cardinalidades, mas utiliza uma notação gráfica própria.

Modelo do tipo ER – GISER:

Shekar (1997) propõe um novo modelo chamado GISER (*Geographic Information System Entity Relational*), que é uma extensão ao modelo EER (ER Estendido) para aplicações geográficas.

O modelo GISER é baseado em quatro conceitos básicos: espaço-tempo, feições, coberturas e objeto espacial. As feições representam as entidades geográficas que são

discretizadas em elementos denominados coberturas. Uma cobertura consiste de um conjunto de objetos espaciais, distribuídos no tempo e no espaço.

Uma aplicação é modelada a partir da criação de um esquema conceitual, onde entidades geográficas são relacionadas com entidades predefinidas que descrevem os principais elementos de um BDG como polígono, espaço e objeto espacial. Não são adicionadas novas primitivas ao modelo EER (Lisboa Filho *et al.* 1997). Essa falta de primitivas específicas para a modelagem de aplicações geográficas faz com que o esquema resultante de uma aplicação tenda a ser muito grande, dificultando sua compreensão (Borges & Davis 2001).

Modelo do tipo Orientado-a-Objeto, como GMOD:

Oliveira *et al.* (1997) descreve a arquitetura do UAPE, um ambiente de desenvolvimento de aplicações geográficas que integra modelagem de dados e processos, com base em tecnologias de engenharia de *software* e de banco de dados. O objetivo do ambiente UAPE é fornecer suporte para dois tipos de atividade do usuário de SIG: projeto de aplicações e de banco de dados e análise e manipulação de dados geográficos. O ambiente combina uma metodologia de projeto de aplicações com um modelo de dados semântico de alto nível, denominado GMOD, voltado para aplicações geográficas.

No modelo GMOD, uma aplicação geográfica possui dois tipos de classes: classes que representam entidades associadas a alguma localização geográfica (Geo-Classe), e classes que não possuem referência espacial, mas estão relacionadas com as primeiras (Classes Convencionais).

Toda instância de Geo-Classe possui um atributo espacial que é instância da classe Geo-Região, que descreve regiões da superfície terrestre segundo uma escala e uma projeção. As Geo-Classes são especializadas nas classes Geo-Campo e Geo-Objeto, as quais descrevem fenômenos geográficos observados segundo as visões de campo e objetos, respectivamente.

Geo-Classes e Classes Convencionais podem ser definidas como sendo temporais (permite o gerenciamento da evolução dos fenômenos geográficos), através da definição de uma associação com a classe Tempo. Uma classe temporal de geo-objetos complexos permite a variação no tempo, tanto do geo-objeto complexo como de seus componentes.

Dois novos tipos de relacionamentos são definidos: de versão e causal. Relacionamentos de versão são usados para associar diferentes versões de uma mesma entidade. Podem ser usados, por exemplo, para relacionar diferentes representações espaciais de uma mesma entidade geográfica. Um relacionamento causal estabelece uma ligação de causa-efeito entre dois fenômenos modelados. Por exemplo, áreas de erosão estão diretamente relacionadas ao tipo de solo e à declividade do terreno (Lisboa Filho 2000). Todos esses conceitos são visualizados na Figura 2.14.

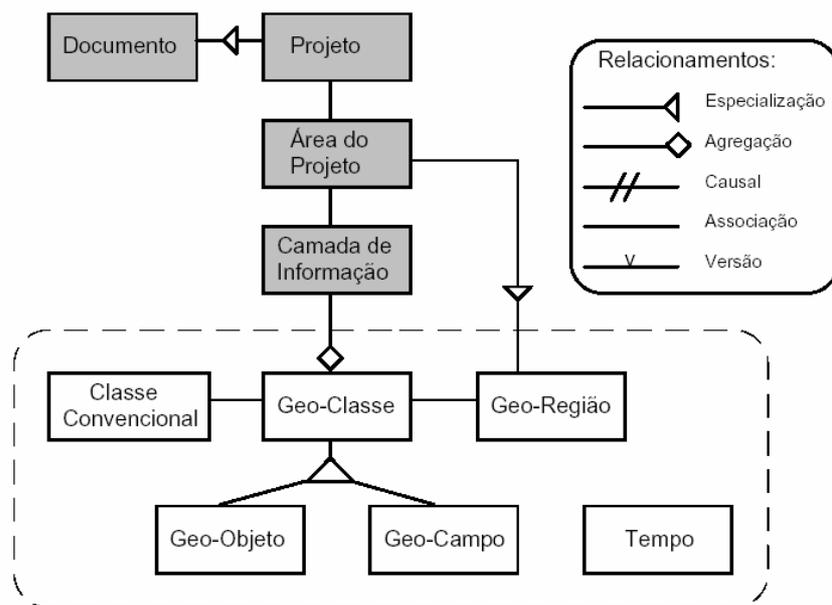


Figura 2.14 – O Modelo de dados GMOD. Fonte: Oliveira *et al.* (1997).

GeoOOA

Apresentado por Kusters *et al.* (1997), o modelo GeoOOA estende o modelo usado na metodologia OOA descrita anteriormente para análise de requisitos de aplicações em SIG. As extensões incluídas pelo modelo GeoOOA permitem a representação dos seguintes contextos semânticos (Lisboa Filho (1997) e Lisboa Filho (2000)):

- Distingue entre classes de entidades com e sem representação espacial (Figura 2.15);
- Utiliza pictogramas gráficos para simbolizar o relacionamento entre uma classe de entidade geográfica e a classe de objeto espacial que a representa (Figura 2.16);

- Distingue os relacionamentos espaciais (ex.: topológicos) dos relacionamentos básicos (ex.: proprietário possui lote).
- As primitivas do modelo GeoOOA suportam abstrações do tipo classe espacial, estrutura todo-parte espacial, estruturas de rede e classe temporal.

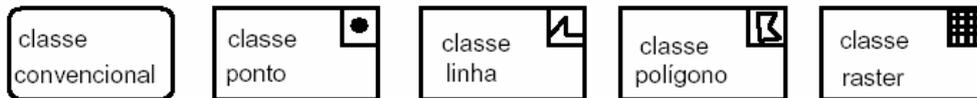


Figura 2.15 – Tipos de classes no GeoOOA. Fonte: Lisboa Filho (2000).

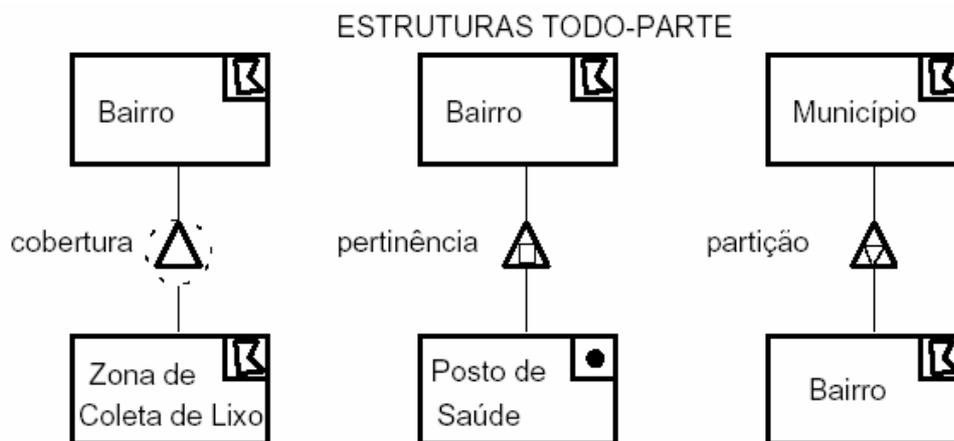


Figura 2.16 – Pictogramas gráficos para simbolizar o relacionamento entre classes. Fonte: Lisboa Filho (2000).

MGeo

Um modelo conceitual orientado a objetos para aplicações geográficas (MGeo) é proposto em Times e Salgado (1994). Utilizando a representação gráfica do modelo de objetos OMT, foi desenvolvida uma hierarquia de classes (Figura 2.17), capaz de representar um grande conjunto de requisitos normalmente presentes em aplicações geográficas.

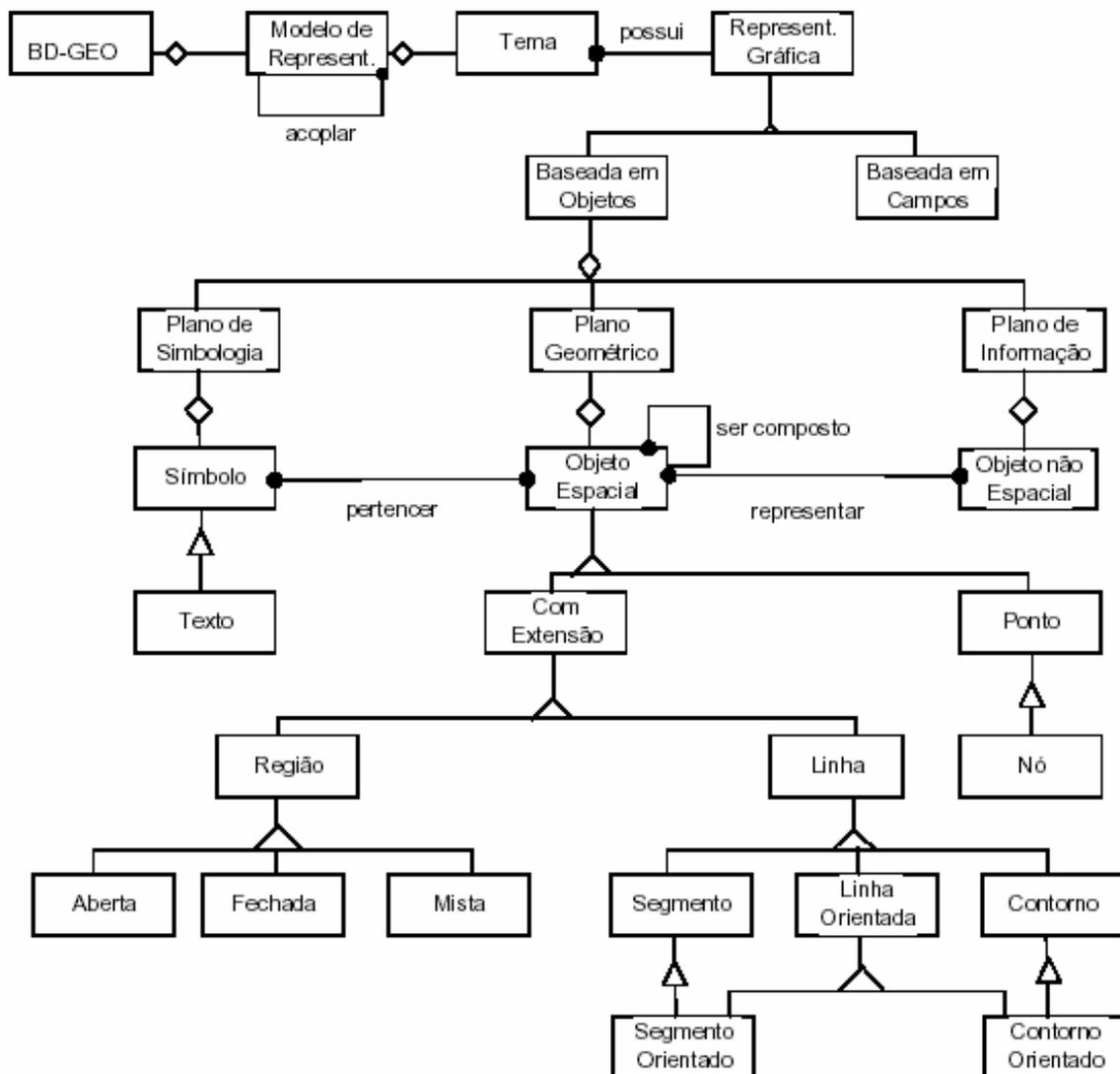


Figura 2.17 – Hierarquia de classes no modelo MGeo. Fonte: Times e Salgado (1994).

O modelo permite a concepção de um banco de dados geográfico a partir de uma visão “*top-down*”, onde uma instância da classe BD-GEO é criada para agregar todas as informações de um determinado projeto. Uma instância de BD-GEO pode conter uma ou várias instâncias da classe Modelo-de-Representação. Cada instância de Modelo-de-Representação está associada a uma determinada área geográfica, tendo como atributos as coordenadas limites da área, projeção e escala utilizadas e um conjunto de instâncias da classe Tema. As instâncias dessa classe admitem operações de mudança de projeção e escala.

Para uma mesma área geográfica podem existir vários mapas temáticos, os quais são modelados em instâncias da classe Tema. Um Modelo de Representação corresponde,

portanto, a um conjunto de Temas. Cada Tema pode ser representado graficamente através da abordagem de campos (representação matricial) ou da abordagem baseada em objetos (representação vetorial).

O Framework Conceitual Geoframe:

GeoFrame é um *framework*¹ conceitual que fornece um diagrama de classes básicas para auxiliar o projetista tanto na modelagem conceitual de dados geográficos como, também, na especificação de padrões de análise em bancos de dados geográficos (Lisboa Filho & Iochpe 1999).

O GeoFrame foi definido de acordo com as regras do formalismo da orientação a objetos, utilizando a notação gráfica do diagrama de classes da linguagem UML. A UML (*Unified Modeling Language*) é uma tentativa de padronização para visualização, especificação, construção e documentação de sistemas orientados a objetos (Rational Software Corporation 1997). Realiza a modelagem desde a especificação dos requisitos da aplicação até a fase de testes, utilizando diagramas (Freire 2001). Atualmente, é uma das notações mais utilizadas no desenvolvimento de sistemas, já que é fácil de ser entendida e utilizada, mas com um forte poder expressivo.

As principais classes do GeoFrame são (Lisboa Filho 2000a e Lisboa Filho 2001):

✓ Tema e Região Geográfica

As classes TEMA e REGIÃO GEOGRÁFICA formam a base de qualquer aplicação geográfica. Toda aplicação geográfica tem como objetivo o gerenciamento e a manipulação de um conjunto de dados para uma determinada região de interesse, constituindo um banco de dados geográficos. Assim, para cada região geográfica pode-se especificar uma coleção de temas. Outra vantagem da utilização do conceito de temas é permitir ao projetista dividir o esquema em subesquemas coesos, nos quais são agrupadas classes fortemente relacionadas entre si. Em grandes projetos, conjuntos de temas afins podem ser agrupados em um tema mais genérico, formando uma hierarquia de temas.

✓ Objeto Não Geográfico e Fenômeno Geográfico

¹ Souza (1998) define um *framework* como “um projeto genérico em um domínio que pode ser adaptado a aplicações específicas, servindo como um molde para a construção de aplicações”

Em um banco de dados geográficos existem, além dos dados referentes àqueles fenômenos georreferenciados, com ou sem representação geoespacial, objetos convencionais presentes em qualquer sistema de informação. Alguns objetos não possuem referência com relação a uma localização geográfica, sendo tratados, genericamente, como instâncias de subclasses da classe OBJETO GEOGRÁFICO.

A classe abstrata FENÔMENOGEOGRÁFICO generaliza qualquer fenômeno cuja localização em relação à superfície terrestre seja considerada. Por exemplo, um lote de terra é uma instância de FENÔMENOGEOGRÁFICO caso seus atributos espaciais estejam representados no banco de dados.

Fenômenos geográficos e objetos não geográficos podem estar relacionados entre si, como no caso em que “todo lote pertence a um proprietário”. A modelagem desse tipo de relacionamento permite que os dados armazenados em um SIG estejam integrados com os demais sistemas de informação da organização.

✓ Campo Geográfico e Objeto Geográfico

As classes CAMPO GEOGRÁFICO e OBJETO GEOGRÁFICO especializam a classe FENÔMENOGEOGRÁFICO, permitindo ao projetista especificar, de forma distinta, porém integrada, os campos e os objetos geográficos, respectivamente.

A classe abstrata OBJETO GEOGRÁFICO é uma generalização de todas as classes do domínio que são percebidas na visão de objetos. Neste caso estão incluídas aquelas classes que representam fenômenos geográficos que podem ser individualizados, ou seja, que possuem identidade própria e suas características podem ser descritas através de atributos. A classe abstrata CAMPO GEOGRÁFICO generaliza os fenômenos que se enquadram na visão de campo.

✓ Objeto Espacial

Alguns fenômenos geográficos podem apresentar dimensão espacial complexa, ou seja, composta por outros objetos espaciais (ex.: um arquipélago). Assim, a classe OBJETO ESPACIAL possui as subclasses (PONTO, LINHA, POLÍGONO e OBJETO ESPACIAL COMPLEXO), que constituem o conjunto mínimo de classes necessárias para a fase do projeto conceitual.

✓ RepresentaçãoCampo

Os aspectos espaciais de um campo geográfico são abstraídos de forma diferente dos aspectos espaciais de um objeto geográfico. Para especificação do componente espacial de um campo geográfico são usadas as subclasses da classe REPRESENTAÇÃOOCAMPO. São elas: GRADECÉLULAS, POLIADJACENTES, ISOLINHAS, GRADEPONTOS, TIN e PONTOSIRREGULARES. Todas essas classes podem ser visualizadas na Figura 2.18 abaixo:

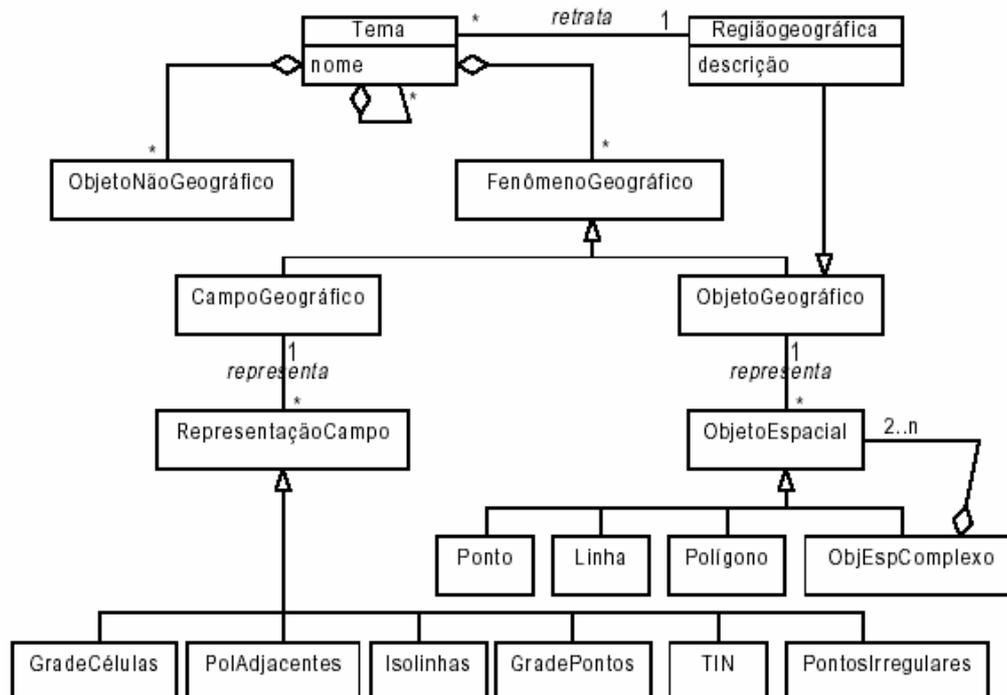


Figura 2.18 – Classes do Modelo GeoFrame.

A especificação de temas é feita através do construtor *pacote*, da linguagem UML, enquanto a modelagem do componente espacial no GeoFrame é feita com base em um conjunto de esteriótipos², os quais estão ilustrados na Figura 2.19.

² Esteriótipo é um dos mecanismos da extensão UML.

<i>Fenômeno geográfico e Objeto convencional</i>	<i>Componente espacial de objetos geográficos</i>	<i>Componente espacial de campos geográficos</i>
 Objeto geográfico  Campo geográfico  Objeto não geográfico	 Ponto  Linha  Polígono  Obj. espacial complexo	 Pontos irregulares  Grade de pontos  Polígonos adjacentes  Isolinhas  Grade de células  TIN
<<função>> <i>função categórica</i>		

Figura 2.19 – Esteriótipos do modelo GeoFrame.

Modelo Orientado-a-Objeto: OMT-G

O modelo OMT-G também parte das primitivas definidas para o diagrama de classes da UML, introduzindo primitivas geográficas com o objetivo de aumentar a capacidade de representação semântica daquele modelo e, portanto, reduzindo a distância entre o modelo mental do espaço a ser modelado e o modelo de representação usual.

No OMT-G o diagrama de classes é usado para descrever a estrutura e o conteúdo de um banco de dados geográficos. Ele contém elementos específicos da estrutura de um banco de dados, em especial classes de objetos e seus relacionamentos. O diagrama de classes contém apenas regras e descrições que definem conceitualmente como os dados serão estruturados, incluindo a informação do tipo de representação que será adotada para cada classe. Por esta razão, o diagrama de classe é o produto fundamental do nível de representação conceitual

As classes definidas pelo modelo OMT-G podem ser *georreferenciadas* ou *convencionais*. As classes georreferenciadas são especializadas em classes do tipo *geo-campo* e *geo-objeto*. Classes geo-campo representam objetos e fenômenos distribuídos continuamente no espaço, correspondendo a variáveis como tipo de solo, relevo e geologia (Câmara 1995). Classes geo-objeto representam objetos geográficos particulares, individualizáveis, associados a elementos do mundo real, como edifícios, rios e árvores. As classes convencionais são simbolizadas exatamente como na UML. As classes georreferenciadas são simbolizadas no modelo OMT-G de forma semelhante, incluindo no canto superior esquerdo um retângulo que é usado para indicar a forma geométrica da representação. Métodos ou operações são especificados na seção inferior

do retângulo (Figura 2.20).

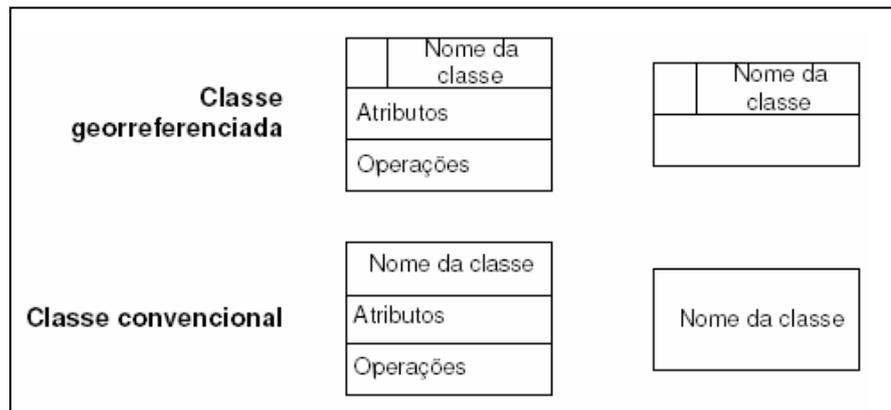


Figura 2.20 – Notação gráfica para as classes do modelo OMT-G.

Fonte: Borges *et al.* (2005).

De acordo com Borges *et al.* (2005), o modelo OMT-G apresenta um conjunto fixo de alternativas de representação geométrica, usando uma simbologia que distingue geo-objetos e geo-campos. O modelo OMT-G define cinco classes descendentes de geo-campo: *isolinhas*, *subdivisão planar*, *tesselação*, *amostragem* e *malha triangular* - ou TIN (Figura 2.21), e duas classes descendentes de geo-objeto: geo-objeto com geometria e geo-objeto com geometria e topologia (Figura 2.22). A classe geo-objeto com geometria representa objetos que possuem apenas propriedades geométricas, e é especializada em classes: *Ponto*, *Linha* e *Polígono*. Como exemplo tem-se, respectivamente, árvore, meio-fio e edificação (Figura 2.22). A classe geo-objeto com geometria e topologia representa objetos que possuem, além das propriedades geométricas, propriedades de conectividade topológica, sendo especificamente voltadas para a representação de estruturas em rede, tais como sistemas de abastecimento de água ou fornecimento de energia elétrica. Essas propriedades estão presentes em classes descendentes que representam nós e arcos, da forma usualmente adotada na teoria dos grafos. Os arcos podem ser unidirecionais, como em redes de esgoto, ou bidirecionais, como em redes de telecomunicações. Assim, as especializações previstas são denominadas *nó de rede*, *arco unidirecional* e *arco bidirecional* (Figura 2.22).

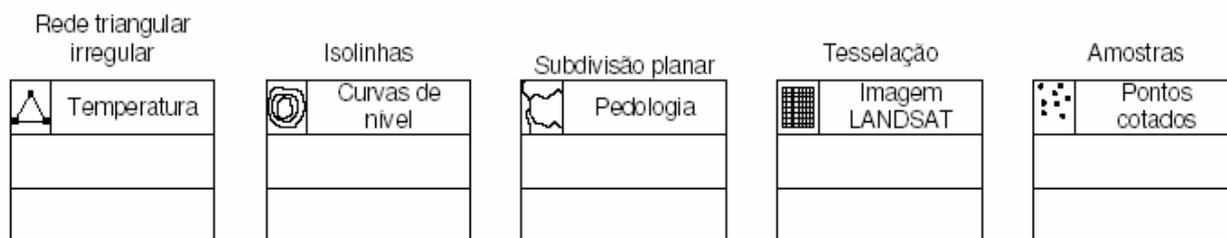


Figura 2.21 – Geo-campos.

Geo-objetos com geometria



Geo-objetos com geometria e topologia

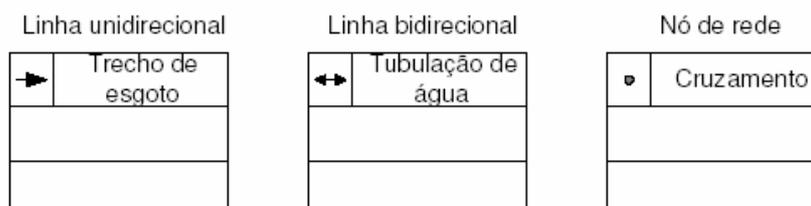


Figura 2.22 – Geo-objetos.

2.5.2. Modelos de Bancos de Dados Temporais

Os modelos de dados demonstram como as informações devem estar relacionadas com o seu contexto, como devem representar o sistema o mais próximo da realidade do usuário, buscando a melhor forma de armazenamento e agilidade de respostas às consultas. Primeiramente, os modelos tratavam da informação apenas no seu momento atual, não representavam formas de se tratar a história da informação e nem de se efetuar possíveis projeções futuras sobre informações já existentes, tornando-os atrasados diante das necessidades de usuários atuais. Por isso ao constituir a especificação de um sistema de informação, não só a estrutura dos dados manipulados deve ser definida, mas também sua dinâmica – seu comportamento com a passagem do tempo (Edelweiss 1994).

A principal diferença entre um modelo temporal de um atemporal é a temporalização de objetos e relacionamentos. Se o tempo é lógico, a informação temporal

deve ser dada explicitamente quando da inserção ou alteração de um objeto. Nos modelos com tempo de transação, o tempo é manipulado automaticamente pelo sistema (Schiel 1996).

Edelweiss (1998) defende que um modelo de dados deve apresentar uma estrutura de objetos que podem ser manipulados por uma linguagem: uma linguagem para atualizar estes objetos (*update*), uma linguagem de consulta e algum mecanismo para expressar restrições de integridade. Os modelos de dados temporais também devem apresentar estas características, acrescentado a possibilidade de representar informações temporais, efetuar consultas temporais e permitir a definição de restrições de integridade temporal.

Alguns modelos de dados relacionais ou orientados a objetos são conhecidos, sendo destacados nesse trabalho, apenas alguns deles:

ERT - Entity-Relationship-Time:

É um modelo orientado a objetos que se baseia no formalismo ER, o que proporciona uma clara distinção entre objetos e seus relacionamentos. Oferece representação explícita no tempo, abstrações de classificação, generalização, agregação e agrupamento. Cada relacionamento é visto como um conjunto de dois pares (entidade ou valor, papel), sendo cada papel a expressão da maneira como a entidade ou valor é envolvido no relacionamento (Loucopoulos *et al.* 1991).

TempER

O modelo TempER foi concebido com base, principalmente, no modelo ERT. As principais diferenças entre as abordagens situam-se na simbologia e na primitiva temporal adotada – o elemento temporal no lugar do intervalo de tempo. Permite que se associe em um mesmo diagrama entidades temporalizadas com não temporalizadas. As entidades não temporalizadas passam a ser denominadas de “perenes”, sendo assumido que estas também apresentam uma dimensão temporal implícita, igual a todo o conjunto de pontos do eixo temporal. As entidades temporalizadas passam a ser denominadas “transitórias” (Figura 2.23).

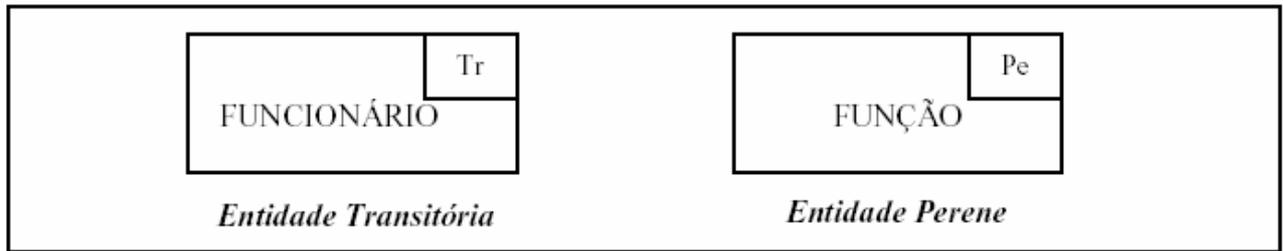


Figura 2.23 – Notação de Conjuntos-Entidade. Fonte: Antunes *et al.* 1997.

No tocante aos relacionamentos, ou as entidades se associam entre si na perspectiva temporal (relacionamentos temporais) ou na perspectiva não-temporal - relacionamentos não temporais ou intemporais (Figura 2.24).

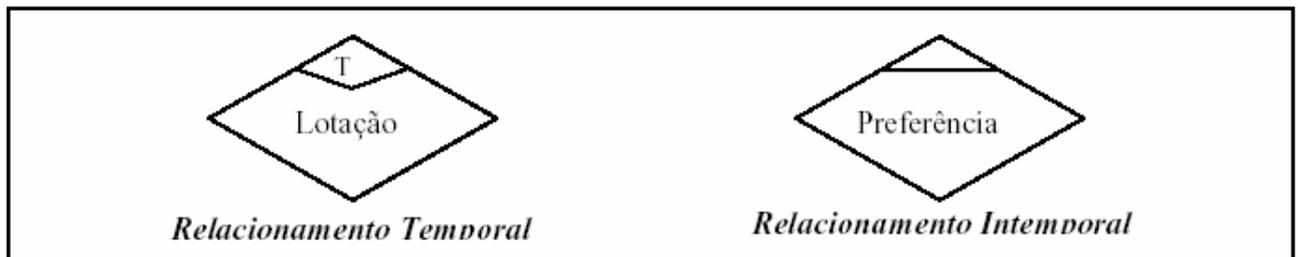


Figura 2.24 – Notação de Conjuntos-Relacionamento. Fonte: Antunes *et al.* 1997.

A Figura 2.25 apresenta um esquema TempER e seu correspondente ER convencional, e um exemplo de povoamento de entidades e de relacionamentos para esse esquema (Edelweiss 1998).

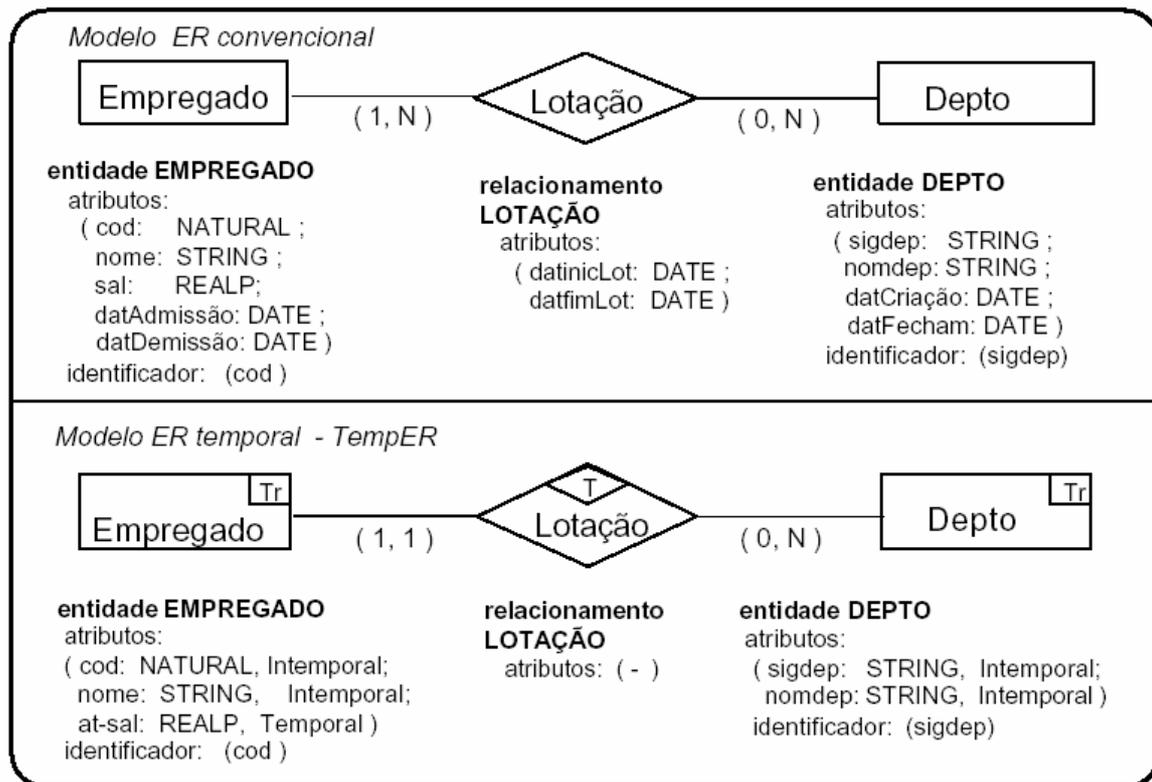


Figura 2.25 – Exemplo de esquema TempER e o seu correspondente ER. Fonte: Antunes *et al.* 1997.

TF-ORM (Temporal Functionality in Objects with Roles Model)

O modelo TF-ORM (Edelweiss 1994) é um modelo orientado a objetos. Seu desenvolvimento iniciou com o modelo ORM (*Object with Roles Model*), onde era introduzido o conceito de papéis para representar, separadamente, diferentes comportamentos de um objeto. A partir do modelo ORM foi feita a primeira extensão, o modelo FORM (*Functionality in Objects with Roles Model*), na qual se procurou representar as funcionalidades de sistemas de informação de escritórios. Em seguida, novas extensões foram realizadas para permitir a representação de aspectos temporais, dando origem ao modelo TF-ORM.

Nos modelos orientados a objetos, um objeto é criado como instância de uma classe, com um identificador próprio que o distingue dos outros objetos. A Figura 2.26 apresenta uma classe, seus papéis e alguns objetos instanciados.

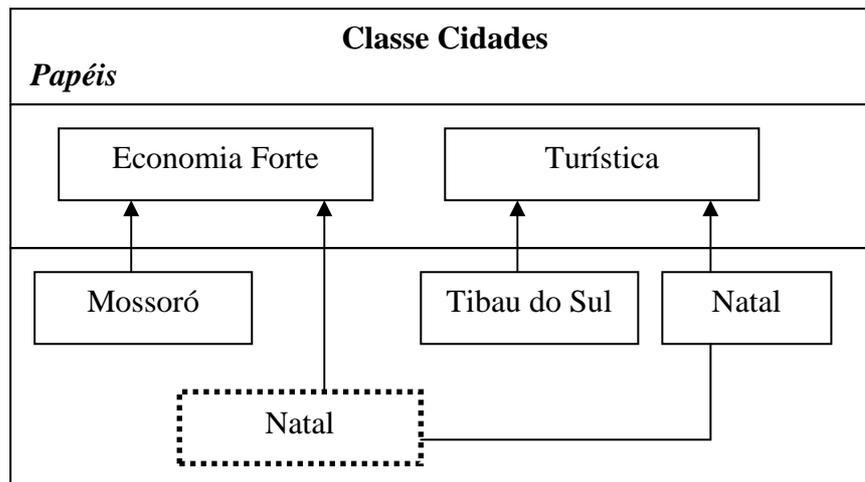


Figura 2.26 – Conceito de Papéis. Modificado de Almeida e Cordenosi (2001).

O TF-ORM permite a modelagem dos aspectos estáticos e dinâmicos da aplicação, pois considera todos os estados do objeto, associando informações temporais às propriedades que podem mudar de valor ao longo do tempo. Utiliza o conceito de papéis, que tem por objetivo separar a representação dos aspectos dinâmicos de um objeto, dos seus aspectos estáticos. O objeto poderá assumir, ao longo de sua existência, um ou mais papéis, em diferentes tempos, continuando a ser uma instância de uma única classe. O objeto, com o conceito de papéis, pode apresentar, simultaneamente, diversas instâncias de um mesmo papel, o que possibilita a representação de variações do seu comportamento (Hübler 1998).

2.5.3. Modelos de Bancos de Dados Espaço-Temporais

De acordo com Lisboa Filho *et al.* (1997), o projeto de um BDET requer uma etapa adicional, que permita a especificação de questões relacionadas com a representação espaço-temporal das entidades geográficas. Esta nova etapa está representada na Figura 2.27.

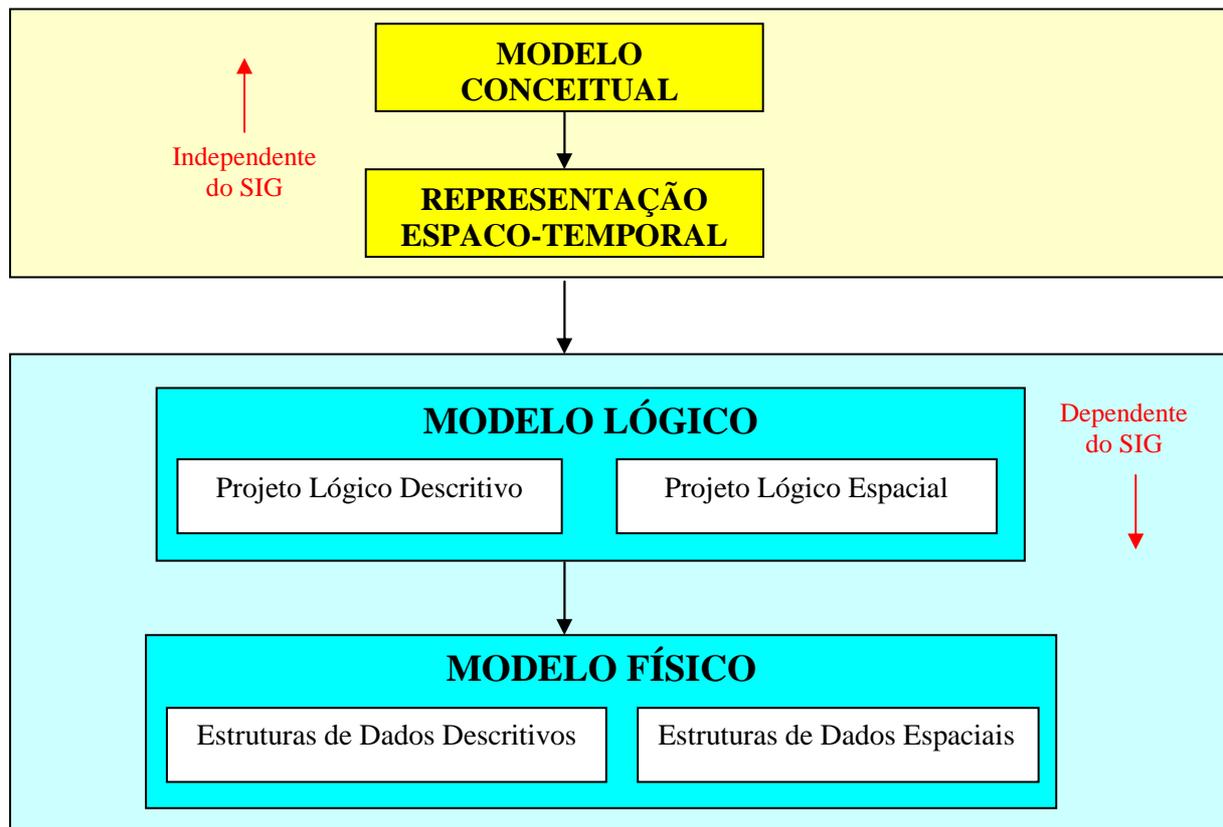


Figura 2.27 – Fases do Projeto do Banco de Dados Geográfico (Lisboa Filho *et.al* 1997).

Um projeto de BDET torna-se mais complexo, pois é necessário levar em consideração outros fatores tais como a localização espacial do dado e a data e/ou época em que ele foi coletado.

No Modelo Conceitual, a modelagem da aplicação geográfica deve ser realizada de forma tradicional, onde entidades importantes ao domínio da aplicação são identificadas e relacionadas entre si. Detalhes sobre o tipo de representação espacial não devem ser considerados.

A **Representação Espaço-Temporal** adicionada preocupa-se com os conceitos de *espaço* e *tempo*, pois, como foi mencionado anteriormente, em um SIG as entidades geográficas são representadas, graficamente, por meio de objetos espaciais. Além disso, elas devem estar relacionadas com o período (ou instante) no qual a informação é válida.

No **Modelo Lógico** de um BDET, o esquema de representação espaço-temporal é transformado em um esquema lógico de dados. Como a maioria dos SIGs disponíveis atualmente possuem dois componentes distintos, um para o gerenciamento dos dados espaciais e outro para os descritivos, a fase do projeto lógico pode ser dividida em duas subfases: *Projeto Lógico Descritivo* (PLD) e *Projeto Lógico Espacial* (PLE). No PLD,

técnicas convencionais de projeto de banco de dados podem ser empregadas. No PLE, torna-se necessário um mapeamento do esquema de representação espacial em um esquema específico proprietário do *software* de SIG a ser empregado.

Finalmente, na etapa do **Modelo Físico**, são definidos os detalhes de implementação tradicionais, as estruturas de dados espaciais que serão utilizadas como, por exemplo, se um mapa de locais de coletas de sedimentos será armazenado em uma estrutura de dados vetorial, matricial ou ambas.

Ainda não existe um consenso sobre técnicas de modelagem de dados espaço-temporais, ou mesmo sobre extensões das técnicas de modelagem de dados geográficos atualmente existentes, para refletir as necessidades de aplicações que envolvam simultaneamente tempo e espaço (Dias *et al.* 2005).

Como o número de informações a serem modeladas tende a ser alto (informações de tempo e espaço), a modelagem tem enorme chance de se tornar complexa e complicada de se projetar e/ou entender. A utilização de símbolos (esteriótipos) é um caminho interessante para introduzir visualmente estas dimensões, permitindo uma representação simbólica mais rica (Rocha 2001).

O framework conceitual temporal GeoFrame-T

O GeoFrame-T tem como base o modelo GeoFrame discutido anteriormente: nessa extensão do GeoFrame, Rocha (2001) adicionou aspectos temporais ao modelo. Além disso, realizou algumas alterações na proposta original do GeoFrame: além das classes básicas do GeoFrame, foram incorporadas novas classes no modelo para representar a dimensão temporal dos dados de SIG. Nesta extensão são utilizados alguns conceitos da TUML – *Temporal Unified Modeling Language* (Rocha 2001).

Nesse modelo, o tempo é representado nas classes, atributos e relacionamentos. As classes possíveis de serem representadas no GeoFrame-T são:

- Estático – a classe não possui nenhuma variação temporal associada;
- Tempo de Transação - quando é considerado o tempo em que foi feita a gravação da informação no banco de dados, mantendo-se a evolução das informações quanto ao seu registro na base de dado.

- Tempo de Validade – quando é considerado o tempo em que a informação é válida na realidade modelada.
- Bitemporal – quando tanto o tempo de transação quanto o tempo de validade são considerados.

O GeoFrame-T possui ainda as seguintes classes de primitivas temporais:

- InstanteTemporal: quando é considerado apenas um ponto no tempo;
- IntervaloTemporal: quando existe um valor para o início e outro para o fim do intervalo de tempo de validade ou de transação de um elemento;
- ElementoTemporal: é a união de intervalos e instantes temporais de tempo de validade ou de tempo de transação.

Além da utilização dos estereótipos da proposta original do GeoFrame, Rocha (2001) acrescentou estereótipos temporais que identificam o tipo de tempo e qual a primitiva de tempo que está sendo utilizada para o armazenamento temporal (instante, intervalo ou elemento temporal). Esses novos esteriótipos podem ser visualizados na Figura 2.28.

	Instante de Tempo de Validade		Intervalo de Tempo de Validade
	Instante de Tempo de Transação		Intervalo de Tempo de Transação
	Instante Bitemporal		Intervalo Bitemporal
	Elemento de Tempo de Validade		Instante de Tempo de Validade Ramificado
	Elemento de Tempo de Transação		Intervalo de Tempo de Validade Ramificado
	Elemento Bitemporal		Elemento de Tempo de Validade Ramificado

Figura 2.28 – Esteriόtipos temporais existentes no GeoFrame-T. Fonte: Rocha (2001).

A modelagem de dados adotada nesse trabalho foi o GeoFrame-T: este foi o modelo mais indicado pelo fato de armazenar os dados em diferentes categorias (característica esta herdada do GeoFrame) e por utilizar esteriótipos para identificar os dados não-espaciais, espaciais, temporais e não-temporais. Estas particularidades foram importantes, visto que os dados recebidos para armazenamento no referido BDET eram oriundos de diferentes fontes e a modelagem em categorias facilitou a organização e o entendimento das informações. Além disso, a utilização de esteriótipos na modelagem facilitou a identificação do tipo de dado e sua implementação no BD.

3. Aspectos Socioambientais e a Indústria do Petróleo e Gás: Bases de Elaboração das Cartas SAO

3.1. O HOMEM E O MEIO AMBIENTE

Segundo Christofolletti (1999), o meio ambiente é constituído pelos sistemas que interferem e condicionam as atividades sociais e econômicas, ou pelas organizações espaciais dos elementos físicos e naturais. Os sistemas ambientais são os responsáveis pelo fornecimento de materiais e energia aos sistemas sócio-econômicos e deles recebem seus produtos (edificações, insumos, emissões, dejetos). O homem é o principal responsável pela preservação e conservação do ambiente em que vive. Os estudos de impactos ambientais consistem no processo de predizer e avaliar os impactos de uma atividade humana sobre as condições do meio ambiente e delinear procedimentos a serem utilizados preventivamente para mitigar ou evitar os efeitos julgados negativos.

De acordo com Therivel (1992), os estudos de impactos ambientais compreendem as seguintes etapas: a) diagnóstico do estado atual do meio ambiente e das características das ações propostas, considerando inclusive possíveis ações alternativas; b) previsão sobre o estado futuro do meio ambiente, considerando o evoluir do sistema sem a implementação das atividades e o evoluir com a implementação das ações propostas. A diferença entre ambos os estados será a resultante do impacto; c) considerar os procedimentos para reduzir ou eliminar as possíveis conseqüências negativas do impacto antropogenético; d) elaborar um relatório que analise todos esses pontos, e e) proceder a monitoria dos acontecimentos, caso haja autorização para que o projeto seja implantado.

A Conferência da Organização das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em 1972 em Estocolmo, chamou a atenção das nações para o fato de que a ação humana estava causando séria degradação da natureza e criando severos riscos para o bem estar e para a própria sobrevivência da humanidade. Nessa Conferência, foi proposto um programa internacional voltado para a conservação dos recursos naturais e

genéticos do planeta, recomendando que medidas preventivas tivessem que ser encontradas imediatamente, para que se evitasse um grande desastre.

3.2. A RELAÇÃO DO HOMEM COM O OCEANO

Com seus aproximadamente 72% de área de superfície terrestre e profundidade média de 4km, o oceano é responsável pela regulação da temperatura, oxigenação da atmosfera e pela desintoxicação do planeta, realizada por meio da ciclagem dos elementos químicos. Promove um enorme espaço de variedades de ecossistemas e contribui enormemente para a biodiversidade do planeta. Guarda no seu leito a história da evolução da vida, a mudança de posição dos continentes e as variações climáticas do passado. Proporciona a sobrevivência de milhões de pessoas pelas atividades pesqueiras, pela exploração energética e recursos minerais, navegação e atividades de lazer. Representa, muitas vezes, uma ameaça para a vida humana durante as inundações, tempestades, mudança do nível do mar e erosão costeira, talvez como um meio de limitar o progresso da humanidade e fazê-la lembrar de que não é onisciente e onipotente (Zern 2005).

O Brasil possui 7.408 km de litoral (uma das cinco maiores extensões costeiras do mundo) e tem como principais atividades oceânicas a pesca e a pesquisa e exploração do petróleo na plataforma continental. Tanta riqueza natural gera problemas à medida que a exploração é feita de maneira irracional e desordenada. Os ambientes marinhos e costeiros do Brasil são os que mais sofreram (e ainda sofrem) o processo de ocupação humana, o que determinou um considerável processo de degradação ambiental, pela crescente pressão sobre os recursos naturais e pela capacidade limitada desses ecossistemas absorverem os impactos resultantes.

A alteração ou destruição de “habitats”, a superexploração de recursos naturais, a ocupação desordenada do solo, a poluição industrial, a introdução de espécies exóticas e a exploração de petróleo constituem grandes fontes de impactos ambientais na zona costeira brasileira. São necessárias ações que orientem para um gerenciamento costeiro integrado, visando manter a integridade dos ecossistemas e planejando o uso dos recursos naturais de forma sustentável.

3.3. O BRASIL E A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

A preocupação do governo brasileiro com a utilização dos recursos marinhos e dos espaços costeiros teve início na década de 70, quando também começou a surgir a preocupação com o meio ambiente no país. Estas preocupações passam a ser expressas na criação, em 1973, da Secretaria Especial do Meio Ambiente da Presidência da República – SEMAM/PR, e em 1974, na criação da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – CIRM. Na época, ainda de forma desarticulada, as duas instituições trabalhavam para gerarem diretrizes e políticas para as suas respectivas áreas de atuação. Desta forma, é instituída em 1980 a Política Nacional de Recursos do Mar e, em 1981, a Política Nacional de Meio Ambiente – PNMA. A elaboração de diretrizes nacionais para a gestão e desenvolvimento da zona costeira, somente foi efetivada em 1998, com o Plano de Ação Federal para a Zona Costeira do Brasil – PAF (Asmus & Kitzman 2004).

No Rio Grande do Norte, com a criação, em 1983, do CMA (Coordenadoria do Meio Ambiente), subordinada à Secretaria do Planejamento do Estado, teve início o programa de preservação e monitoramento do meio ambiente, bem como das atividades poluidoras e degradadoras (Grigio et al. 2001).

No setor do petróleo, uma reavaliação de métodos e culturas gerenciais foi necessária, devido às suas atividades serem de alto risco, potencialmente poluidoras e seus produtos intrinsecamente poluentes (Gomes et al. 2001).

As atividades do setor petrolífero estão ligadas à exploração, produção, refino e transporte de petróleo e seus derivados. A exploração de petróleo no litoral brasileiro se estende atualmente do RN ao PR, concentrada na região Sudeste (a Bacia de Campos concentra 80% da produção nacional). A atividade de exploração e prospecção de petróleo é considerada como uma das maiores pressões no ambiente costeiro e marinho.

Os derramamentos de petróleo representam uma fração relativamente pequena da poluição marítima (menos de 10%). Contudo, os danos ambientais podem ser bastante significativos. A origem deste tipo de poluição é variável e não está só relacionada com acidentes de petroleiros. Estes representam apenas 10% do total de petróleo derramado no mar. Geralmente, as condições meteorológicas, hidrográficas e oceanográficas poderão agravar os efeitos de tais derramamentos (Fernandes 2001).

É difícil determinar a quantidade total de hidrocarbonetos introduzidos no meio marinho. As estimativas variam entre 1,7 e 8,8 milhões de toneladas/ano. A estimativa realizada em 1989 é de 2,5 milhões de toneladas por ano, embora desde então algumas fontes já tenham sido reduzidas. Este tipo de poluição marítima pode ser proveniente de diversas fontes (Tabela 3.1):

Tabela 3.1. Estimativas das fontes de poluição marítima por hidrocarbonetos.

Fonte: Clark (1997).

Transporte (operações com navios, acidentes com petroleiros, despejos de lastro)	23.5%
Instalações fixas (refinarias costeiras, explorações "off-shore", terminais)	7.6%
Fontes naturais	10.6%
Transferência de poluição atmosférica para o mar	12.7%
Outras fontes (descargas urbanas, municipais, industriais)	45.6%

A poluição atmosférica pode ser responsável por mais de 12% da poluição marinha, e está principalmente relacionada com os gases liberados pelos motores de combustão. Estes hidrocarbonetos são levados para a atmosfera e podem precipitar-se no mar. Outras fontes de hidrocarbonetos podem ter origem em instalações fixas como, por exemplo, resíduos de refinarias costeiras descarregados no mar e explorações offshore (ensaios e descargas operacionais). A exumação do petróleo nos fundos oceânicos contribui ainda para uma parte da introdução de hidrocarbonetos no mar, através de fontes naturais.

O transporte marítimo é responsável por uma quantidade estimada em 555.000 toneladas de petróleo por ano (23,5% do total). A maior parte desse valor é proveniente de descargas resultantes de operações normais dos navios – por exemplo, operações de abastecimento ou de carga/descarga – e apenas uma pequena fração deve-se a acidentes de navios petroleiros, provocados por erros de navegação ou por colisões com rompimento do casco, muitas vezes acompanhados de incêndios (Fernandes 2001).

Algumas catástrofes dessa natureza podem ser listadas aqui: internacionalmente, o caso de Argo Merchant (17.000 m³) e Amoco Cadiz (622.000 m³) acontecidos no Mar do Norte e o Exxon Valdez no Alasca (40.000 m³). No Brasil, destacam-se o acidente ocorrido na Baía de Guanabara - RJ, no ano de 2000, que despejou no mar 1 milhão e 300 mil litros de óleo refinado, atingindo praias e uma extensa área de manguezais. Por ter acontecido dentro de uma baía, os efeitos foram muito nocivos para o ecossistema local, onde as principais vítimas foram os caranguejos, que estavam em época de reprodução. Ainda em 2000, outro acidente aconteceu na Refinaria Presidente Getúlio Vargas: quatro milhões de litros de óleo vazaram no Rio Barigüi e atingiram o Rio Iguaçu. Em alguns pontos, toda a largura do leito dos rios foi coberta. Um entre cada oito animais retirados pela equipe de resgate sobreviveu. Foi o maior desastre ecológico do ano no Brasil (Ramalho 2000). A maioria dos acidentes é causada por navios e, quando os vazamentos são de pequeno porte (< 1m³), as áreas atingidas são as que ficam próximas do local de sua origem, mas, quando de grande porte (>1000m³), podem atingir uma escala maior de alcance.

Os impactos que este tipo de acidente pode causar são dos mais diversos e abrangem desde danos econômicos, por problemas causados na indústria pesqueira, ou qualquer indústria que utilize recursos marinhos como matéria prima, até a inutilização de regiões turísticas (Paladino 2000). O óleo pode apresentar riscos às populações humanas além de afetar os animais marinhos: estes chegam até a praia em estado de sofrimento.

3.4. INFORMAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DO PETRÓLEO

3.4.1. Características e Propriedades dos Hidrocarbonetos:

“Hidrocarbonetos” ou óleos são termos vulgarmente utilizados para referirem o petróleo sob qualquer forma, incluindo o petróleo bruto, seus derivados pesados (crudes ou simplesmente óleo cru) e produtos refinados. Os hidrocarbonetos, no entanto, não existem apenas no petróleo, eles ocorrem normalmente como produtos de biossíntese da maioria das plantas e animais. Os óleos crus (crudes) diferem na sua composição, podendo apresentar uma gama alargada de propriedades, enquanto que os produtos

refinados são controlados, sendo muitas vezes enriquecidos com determinados compostos, como as oleofinas (CETESB 2006 e Fernandes 2001).

De modo geral, a intensidade do impacto e tempo de recuperação tendem a ser, diretamente proporcionais à quantidade de óleo presente em um ambiente ou local restrito. Esta é uma correlação clara, apesar de, na prática, haver exceções, onde vazamentos menores causam maior impacto biológico do que grandes vazamentos. Aspectos como a duração da exposição dos organismos ao poluente e a condição do mesmo durante o contato também são importantes.

As duas vias principais nas quais o óleo causa impactos nos organismos marinhos são o efeito físico resultante do recobrimento e o efeito químico, associado à toxicidade dos compostos presentes. Todos os impactos observados são resultantes de um e/ou de outro efeito. É importante ressaltar que os efeitos não são excludentes, mas podem ocorrer simultaneamente em um vazamento de óleo. A diferença está centrada na combinação entre densidade e toxicidade do óleo vazado e sua variação com o tempo. Nos óleos de alta densidade, o efeito físico de recobrimento é predominante, enquanto que nos óleos de baixa densidade o efeito químico é o mais representativo. Exemplos dessas contaminações são mostrados na Figura 3.1.

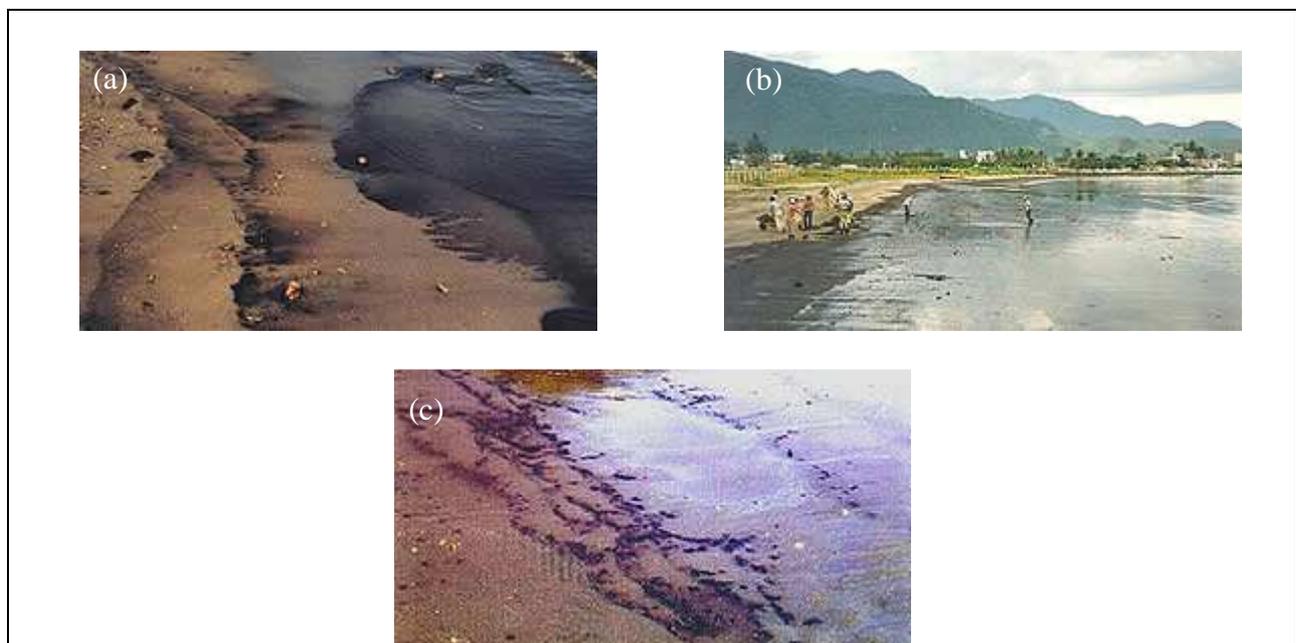


Figura 3.1 - Exemplos de contaminações físicas e químicas: (a) e (b) recobrimento físico em sedimento de praia devido a um derrame de óleo pesado e (c) contaminação em organismos do sedimento devido a um derrame de óleo leve. Fonte: CETESB (2006).

O contato dos organismos com frações tóxicas do óleo pode levar à morte por intoxicação: os componentes tóxicos do petróleo são solúveis em água, o que torna os organismos marinhos mais vulneráveis uma vez que absorvem estes contaminantes pelos tecidos, brânquias, por ingestão direta da água ou de alimento contaminado (GESAMP 1993). A toxicidade aguda (exposição em curto período de tempo, mas em elevadas concentrações) e a toxicidade crônica (exposição longa e com baixas concentrações) geram respostas diferentes nos organismos e na comunidade como um todo. A tendência de se classificar uma situação como menos estressante que a outra deve ser considerada com muita cautela, pois as conseqüências destes impactos são resultantes de uma complexa variedade de interações e características do ambiente, dos organismos atingidos e do próprio óleo. Da mesma forma as respostas do ecossistema ao estresse são complexas e difíceis de serem interpretadas.

3.4.2. Processos que acontecem durante um derramamento de óleo:

No caso de acontecer derramamento de óleo no mar; uma série de eventos pode acontecer ao óleo derramado: ele imediatamente sofre alterações da sua composição original, devido a uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos chamados conjuntamente de intemperismo. Este se inicia imediatamente após o derrame e se processa a taxas variáveis dependendo do tipo de óleo e condições ambientais. A taxa do processo não é constante, sendo mais efetiva nos primeiros períodos do derrame.

Os principais processos que ocorrem são (Fernandes (2001) e Paladino (2000)):

- **Espalhamento**

É a expansão horizontal da mancha de óleo devido à tendência do óleo a escoar sobre si mesmo, causada por forças de gravidade e tensão superficial. Ocorre o aumento da área da mancha devido à tendência que o óleo tem para se espalhar em água parada. Este processo é um dos que mais afetam o comportamento da mancha, especialmente logo após ter sido produzido o derramamento. Após algum tempo, e mediante a existência de vento forte, mar agitado e efeito das correntes, a mancha pode ser deformada, fragmentada e dispersa.

- **Evaporação**

Quando o óleo é derramado, os componentes que possuem ponto de ebulição mais baixo (mais voláteis) são rapidamente volatilizados, reduzindo assim o volume e a massa da mancha que permanece na água. Durante as primeiras 24 horas após o derrame, a maior parte dos óleos crus perde aproximadamente 25-30% dos seus componentes mais leves. Os derrames de hidrocarbonetos mais leves podem ter o seu volume reduzido em 40% em poucas horas, apenas devido à evaporação (Costa 1999). A evaporação destes componentes mais voláteis aumenta a densidade e a viscosidade da mancha de óleo, podendo os compostos mais pesados continuar a sofrer outros processos de envelhecimento.

- **Dispersão**

A dispersão vertical é um processo físico em que as gotículas de óleo são transportadas a partir da superfície do mar para a coluna de água, sobretudo devido à arrebatção das ondas. Essas gotículas podem ter dimensões variáveis, onde as menores não voltam à superfície devido à turbulência natural da água, difundindo-se na coluna de água. Este processo é influenciado por três fatores essenciais: viscosidade do óleo, temperaturas da água e do ar e estado do mar.

Quanto maior for a viscosidade do produto, maior é a possibilidade de se formarem espessas camadas de óleo na superfície da água, e assim diminuir a dispersão do mesmo na água, ao contrário dos hidrocarbonetos menos viscosos que facilmente se podem dispersar completamente ao fim de alguns dias.

- **Emulsificação**

A emulsificação é a dispersão de pequenas gotículas de um líquido dentro de outro. Pode-se, assim, estar na presença de dois tipos de emulsões: óleo-na-água e água-no-óleo, este último designado pela formação de um “mousse”, em que as gotas de óleo estão dispersas na água, formando uma emulsão estável e persistente. Uma emulsão estável e totalmente emulsificada pode conter 80 a 90% de água.

A emulsificação é considerada muitas vezes como o segundo processo mais importante, logo após a evaporação, devido ao efeito significativo que o mesmo tem no comportamento das manchas de petróleo no mar. A formação de emulsões ou “mousse”

normalmente provoca um aumento da viscosidade de cerca de 1000 vezes, diminuindo assim o espalhamento e a evaporação.

- **Dissolução**

A dissolução é o processo através do qual os hidrocarbonetos solúveis se fragmentam em partículas pequeníssimas, misturando-se com a água e originando uma massa líquida homogênea entre ambos. A dissolução e a evaporação são dois processos competitivos.

Embora após o derrame da mancha, inicialmente a dissolução aumente, após alguns minutos verifica-se um rápido decréscimo, devido às perdas por evaporação. Dados experimentais demonstram que após cerca de 15 minutos de contato com a água o processo de dissolução parece estar concluído.

- **Degradação**

A degradação do petróleo pode ocorrer como resultado da luz solar (oxidação fotoquímica) ou através de ação biológica (biodegradação):

- ❖ ***Oxidação Fotoquímica***

A oxidação fotoquímica do petróleo é o processo químico através do qual se dá a degradação do mesmo devido à ação da radiação ultravioleta do sol (fotólise). Esta reação ocorre na superfície da mancha de petróleo, contudo, trata-se de um processo lento, pois a penetração de oxigênio é muito reduzida. Em algumas áreas com maior incidência de radiação (como o Ártico no Verão) o processo de foto-oxidação pode ser significativo.

- ❖ ***Biodegradação***

A biodegradação ocorre quando microorganismos são responsáveis pela transformação de hidrocarbonetos em compostos mais simples – é a chamada oxidação bioquímica. Existem várias algas, bactérias e fungos responsáveis por este processo.

Este processo será mais significativo, quanto maior for a extensão da superfície do derrame em contato com a água e as bactérias, maior temperatura, maior disponibilidade de nutrientes e oxigênio. A composição dos hidrocarbonetos também é importante, uma

vez que a biodegradação é mais relevante nas frações leves. Assim, o espalhamento, a dispersão e a dissolução facilitam a ocorrência da biodegradação.

Alguns desses processos podem ser visualizados na Figura 3.2.

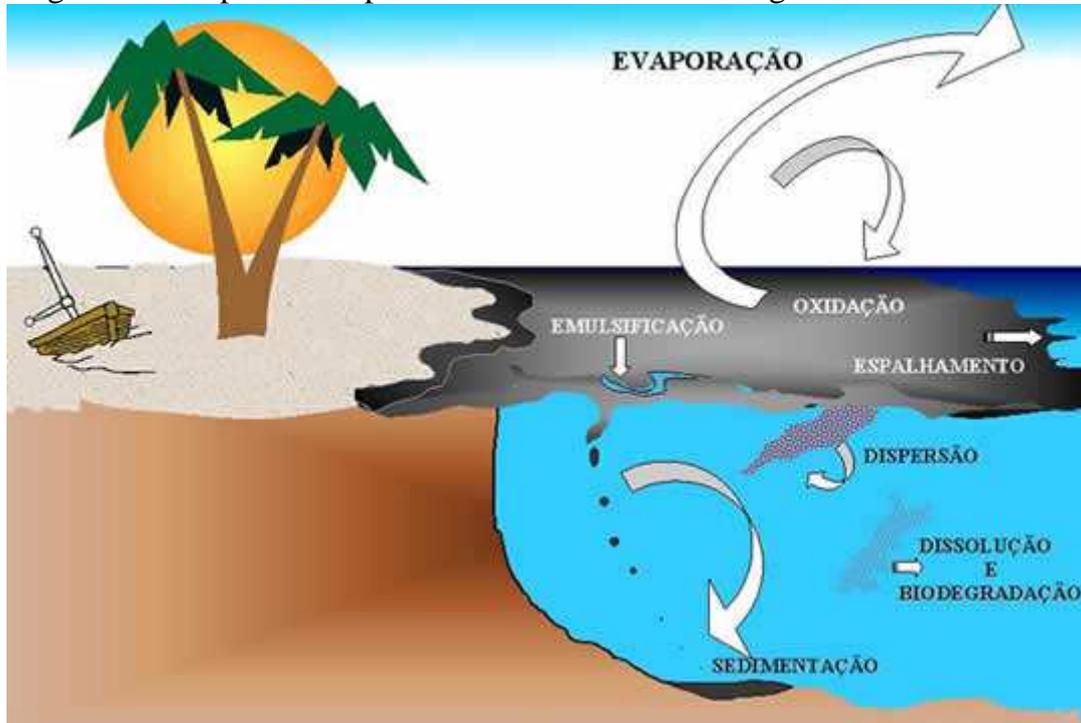


Figura 3.2 - Alguns dos principais processos que acontecem ao óleo depois de um derramamento. Fonte: Fernandes (2001).

Regra geral: Os processos de espalhamento, evaporação, dispersão, emulsificação e dissolução são os mais importantes nos períodos iniciais de um derrame, enquanto que oxidação e biodegradação ocorrem a longo prazo. Com o passar do tempo, o óleo no ambiente mudará suas características iniciais, ficando menos tóxico, mais denso e viscoso e mais persistente.

3.5. PRINCIPAIS CONSEQÜÊNCIAS DOS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO

Um derrame de óleo, por menor que seja, tem sempre conseqüências negativas. Estas conseqüências são principalmente importantes em nível ambiental e econômico. A extensão dos efeitos de um acidente deste tipo depende de um conjunto de fatores agravantes, como por exemplo, o volume e as propriedades do produto derramado,

condições meteorológicas durante o derramamento (vento, agitação do mar), época do ano, sensibilidade do local e medidas de combate implementadas.

As principais conseqüências acontecem nos ecossistemas em geral, nos ecossistemas costeiros, nos seres vivos e nas atividades econômicas. Os detalhes dessas conseqüências podem ser compreendidos abaixo:

3.5.1. Conseqüências nos Ecossistemas em Geral

Os derramamentos de óleo põem em risco os habitats e ecossistemas, especialmente os mais sensíveis. Isto é particularmente grave quando são atingidas áreas protegidas, povoadas por fauna ou flora raras e em vias de extinção. Estes impactos podem também variar com o tipo de óleo e sua composição, e época do ano em que ocorre o acidente.

Em termos gerais, podem-se referir como algumas conseqüências para o ambiente o fato de o petróleo impedir as trocas gasosas através da água (menor oxigenação da água e conseqüente redução de processos de autodepuração) e infiltrar-se em lençóis subterrâneos, destruindo plantas e animais. Além disso, a partir do material derramado, são libertados chumbo e outros metais pesados para a atmosfera, contaminando-a. Também pode haver alteração do pH da água.

Óleos menos viscosos têm mais tendência para aderir a sedimentos, logo, se estes forem contaminados por hidrocarbonetos, a probabilidade de impactos a longo prazo aumenta consideravelmente.

Os efeitos nos ecossistemas podem variar muito com a época do ano em que ocorre o acidente. Ao nível da flora, um acidente no inverno pode ter efeitos reduzidos, uma vez que muitas plantas morrem naturalmente nesta época do ano. Contudo, o óleo pode afetar a germinação na primavera seguinte. Uma contaminação no verão ou primavera pode limitar fortemente o crescimento das plantas e a produção de sementes.

Para a fauna, nos meses de inverno podem ser vistos largos grupos de aves migratórias alimentando-se em estuários e zonas costeiras. Assim, nesse período, os efeitos de um derrame são consideravelmente maiores.

3.5.2. Conseqüências nos Ecossistemas Costeiros

A zona costeira contempla a região entre a borda do continente e a quebra da plataforma continental (talude), a qual fica em torno de 200 metros de profundidade e uma ou duas centenas de quilômetros de distância da costa. Esta região é extremamente rica, concentrando grande parte da biodiversidade marinha. Alguns dos ecossistemas costeiros típicos da costa brasileira são os manguezais, marismas, praias, costões rochosos, planícies de marés e recifes de coral. As águas costeiras e os fundos arenosos / rochosos rasos também são considerados ambientes costeiros.

Por serem regiões costeiras, estes ecossistemas são bastante vulneráveis ao impacto dos vazamentos de óleo pelos seguintes motivos: a grande maioria dos acidentes ocorrem em águas costeiras, onde se concentram os navios, terminais e operações de carga e descarga. Os ecossistemas costeiros, com sua elevada biodiversidade estão sujeitos a uma variedade de impactos ambientais, especialmente os mais sensíveis como os manguezais, os ambientes abrigados das ondas e os recifes de coral.

Uma vez que o óleo flutua na água do mar, as manchas atingem a zona entre-marés destes ambientes, onde os impactos podem ser severos. Os ecossistemas costeiros e seus principais agravantes são reações ocorridas nos: manguezais, marismas, praias arenosas, costões rochosos, recifes de coral, substratos marinhos e em águas oceânicas.

Manguezais

O manguezal é um ecossistema costeiro de transição entre os ambientes terrestres e aquáticos, característicos de regiões tropicais e subtropicais e sujeitos a regimes de marés. Ocorre em regiões costeiras principalmente abrigadas e apresenta condições propícias para a alimentação, proteção e reprodução de muitas espécies animais, sendo considerado importante gerador de bens e serviços.

No que diz respeito à energia e à matéria, são sistemas abertos recebendo, em geral, um importante fluxo de água doce, sedimentos e nutrientes do ambiente terrestre e exportando água e matéria orgânica para o mar ou águas estuarinas. Peixes, aves, crustáceos, moluscos e outros invertebrados encontram nos manguezais alimento, refúgio contra predadores e área para reprodução e crescimento.

Entre os ambientes costeiros, o manguezal pode ser classificado, em termos de potencial de vulnerabilidade aos impactos de derramamento de óleo, como o ecossistema

mais sensível. Tal vulnerabilidade é baseada na interação da costa com processos físicos relacionados com a deposição do óleo, permanência deste no ambiente e extensão do dano ambiental. Além disso, é importante ressaltar também que não existem técnicas que permitam limpar ou remover completamente o petróleo dos manguezais.

Alguns exemplos de manguezais podem ser vistos na Figura 3.3.



Figura 3.3 - Exemplos de manguezais

Marismas:

Os marismas são áreas úmidas frequentemente inundadas, caracterizadas por vegetação herbácea emergente adaptada às condições saturadas do solo (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Exemplos de marismas

Os marismas constituem sistemas ecológicos utilizados por larvas e jovens de numerosas espécies de peixes e invertebrados, que procuram abrigo e alimento nos canais de maré e nas depressões do substrato. Aves aquáticas migratórias procuram os marismas como escala para repouso e alimento.

O impacto do óleo nos marismas varia em função de alguns fatores, incluindo a quantidade de óleo, tipo e eficiência da atividade de limpeza, tipo de óleo, estrutura física e biológica do marisma, latitude e estação do ano. Um derrame de óleo antes ou durante a floração pode causar uma redução na floração e produção de sementes.

Os marismas, assim como os manguezais, estão nos níveis mais altos da escala de vulnerabilidade a derrames de óleo. Os marismas, em termos gerais, são consideradas como habitats altamente susceptíveis ao dano por óleo, requerendo proteção onde for possível, cuidados durante a limpeza e, em alguns casos, restauração.

Praias Arenosas:

As praias são depósitos de sedimentos inconsolidados, constituídos geralmente por areias, cascalhos, conchas, entre outros, acumulados predominantemente por ação das ondas que, por apresentarem mobilidade, se ajustam às condições hidrodinâmicas. Representam, por esta razão, um importante elemento de proteção costeira, ao mesmo tempo em que são amplamente usadas para o turismo e o lazer (Lima 2004).

As praias, em primeira análise, aparentam ser um ambiente desértico uma vez que a grande maioria dos organismos que compõem sua fauna encontra-se no interior do sedimento. Exemplos de praias arenosas são mostrados na Figura 3.5.

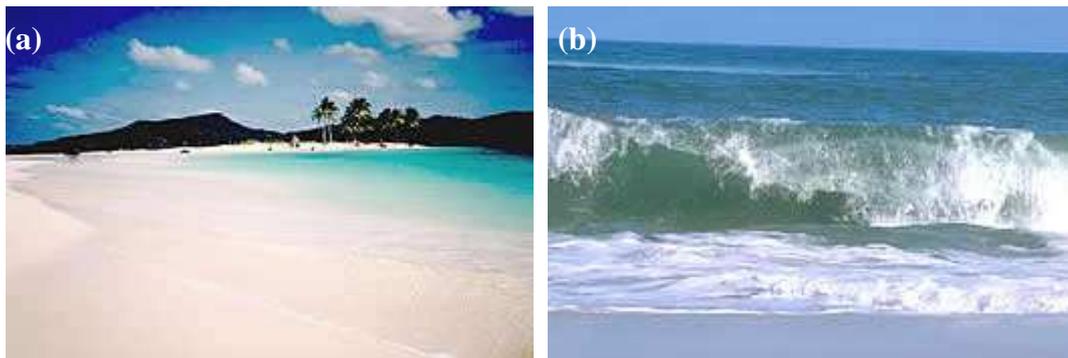


Figura 3.5– Em (a) vista geral de uma praia arenosa abrigada, e em (b) praia arenosa com forte ação de ondas.

O ambiente de praias está sujeito a fatores ambientais diversos que moldam a comunidade biológica associada. Entre eles destacam-se o regime de marés, ação das ondas, declividade, temperatura, salinidade, oxigênio e conteúdo orgânico do sedimento. A diversidade e abundância das espécies decrescem com o aumento do grau de exposição de praia. Diversos fatores influem no grau de impacto de um derrame de óleo, sendo os principais o declive, hidrodinamismo, marés, granulometria e composição biológica.

Costões Rochosos:

Costões rochosos são afloramentos de rochas na linha do mar, e sujeitos à ação das ondas, correntes e ventos, podendo apresentar diferentes configurações como, falésias,

matacões e costões amplos (Figura 3.6). Integrantes das zonas costeiras, os ambientes entre-marés encontram-se permanentemente sujeitos a alterações dos níveis do mar no local. Com isso, nos níveis mais altos dos costões prevalecem condições ambientais muito diferentes daquelas que ocorrem nos níveis mais próximos da água.



Figura 3.6 – Vista geral de um costão rochoso

Os costões rochosos comportam uma rica e complexa comunidade biológica, a qual representa um importante papel como ecossistema costeiro. O substrato duro favorece a fixação de larvas e esporos de diversas espécies de invertebrados e de macroalgas.

Em costões rochosos atingidos por petróleo, processos como o hidrodinamismo e marés são fatores importantes a serem levados em consideração. Assim como em praias de areia, o grau de contaminação do entre-marés está ligado à maré atuante durante o evento (maior exposição em marés de sizígia). Com relação ao hidrodinamismo, costões expostos à ação das ondas são pouco sensíveis a derrames, já que o óleo é retirado rapidamente do ambiente. Costões rochosos abrigados da ação das ondas, entretanto, constituem ambientes sensíveis a impactos já que o tempo de residência do óleo pode ser muito alto.

Recifes de Coral

Recifes de coral são estruturas calcárias tropicais, de água rasa, que dão suporte a uma variada associação de organismos marinhos (Barnes 1984). São classificados em três tipos principais: recifes de franja, recifes de barreira e atóis (Figura 3.7). Os primeiros dois tipos são paralelos à linha de costa, com recifes de franja sendo localizados em águas rasas rente à costa e recifes de barreira mais afastados da costa, maiores e

usualmente contínuos por grandes distâncias. Atóis constituem ilhas de coral em forma de anel contendo uma lagoa central (API 1985).



Figura 3.7 – Exemplos de recifes de coral.

Os recifes de coral são encontrados tipicamente em águas rasas. Há, entretanto, aqueles que se encontram parte do tempo expostos durante a maré baixa. Estes são muito susceptíveis a derrames, já que o óleo pode alcançar a zona costeira durante marés baixas e atingi-los diretamente.

O tipo do óleo é um fator muito importante a ser considerado. Óleos leves, por apresentarem frações tóxicas solúveis, exibem elevado perigo aos recifes de águas rasas. Óleos mais grossos dificilmente entram em contato com corais das regiões do sublitoral. Águas com altas temperaturas, necessárias ao desenvolvimento de corais, asseguram um rápido crescimento de microorganismos capazes de degradar hidrocarbonetos. Entretanto, a natureza calcária formadora do esqueleto desses animais, é um fator agravante, pois nesse substrato o petróleo adere e é absorvido.

Recifes de coral são ambientes sensíveis, e os derrames podem causar impactos desastrosos. O fato dos recifes de coral necessitarem de muita luz para seu desenvolvimento os torna mais vulneráveis aos derrames de óleo, uma vez que o recobrimento afeta diretamente a incidência luminosa sobre os corais.

Substratos marinhos

Fundo marinho é a porção do substrato oceânico permanentemente submerso. Segundo as características do substrato, os fundos marinhos podem apresentar-se como arenosos, lamosos ou rochosos (Figura 3.8).

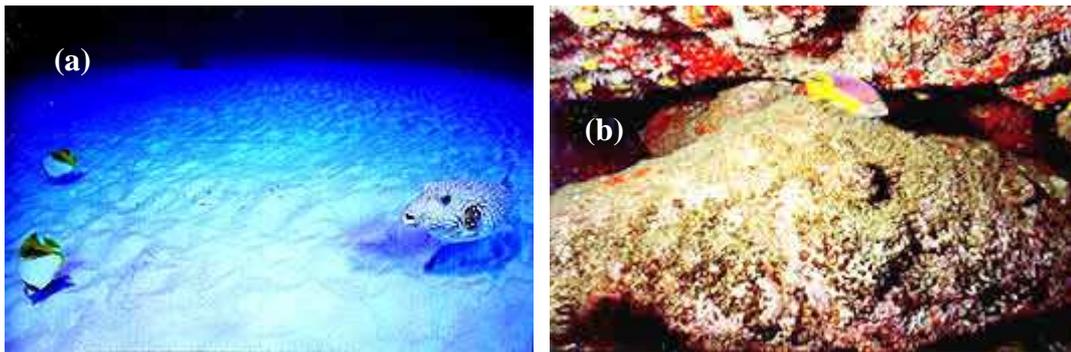


Figura 3.8 – (a) Fundo marinho arenoso, e (b) fundo marinho rochoso.

Por promover um local protegido (refúgios) devido à presença de tocas, fendas, rochas sobrepostas, entre outros, os fundos rochosos abrigam uma comunidade biológica associada igualmente rica, sobretudo em peixes, moluscos e crustáceos.

Devido à sua menor densidade e conseqüente flutuabilidade na água, o petróleo raramente atinge os ambientes de fundo diretamente. Com isso, em termos gerais, esses ambientes são pouco susceptíveis a derrames de óleo. Contudo, em águas rasas, os habitats de fundo podem eventualmente ser contaminados. Óleos pesados ou muito intemperizados podem também alcançar o fundo através da coluna d'água.

No caso de ambientes de fundo inconsolidado contaminados, a tendência do óleo se acumular ou se misturar com o sedimento assegura uma longa persistência do mesmo no meio. O petróleo pode persistir no sedimento por 5 a 10 anos ou mais, especialmente em locais abrigados.

Águas abertas, costeiras e oceânicas:

A comunidade biológica presente nas águas abertas é composta basicamente por fitoplâncton (algas microscópicas), zooplâncton (larvas de peixes e invertebrados, animais microscópicos), peixes, répteis, mamíferos e aves marinhas. A zona pelágica é dividida em águas costeiras e águas oceânicas, cujas características são:

- ***Águas costeiras***

Abrangem os corpos d'água desde a zona intermarés até os limites da plataforma continental (cerca de 200 metros de profundidade, e de 50 a 200 km de distância da costa). Tanto em termos de quantidade como em diversidade, a zona costeira comporta a

grande maioria dos organismos marinhos, como reflexo principalmente das condições favoráveis de nutrientes presentes nas águas desta zona (Figura 3.9).



Figura 3.9 - Águas costeiras, ambientes de elevada produtividade.

- **Águas oceânicas**

São as águas além da plataforma continental, com profundidade acima de 200 metros, as quais são caracteristicamente pobres em nutrientes e conseqüentemente comportam comunidades biológicas mais pobres (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Águas Oceânicas.

3.5.3. Conseqüências nos Seres Vivos

Verificando espécies de seres vivos, algumas merecem destaque:

Peixes:

Ao contatarem diretamente com o petróleo, os peixes sofrem dificuldades respiratórias e de locomoção, pois ficam presos na camada de petróleo e acabam por morrer. Muitas espécies têm, no entanto, quimiorreceptores que detectam o petróleo na água e logo migram para águas que não tenham sido atingidas (mais observado nos peixes de profundidade). A ingestão do petróleo provoca nos peixes lesões hepáticas. A

exposição dos ovos ao petróleo causa: aumento da taxa de malformações, crescimento lento e diminuição do desempenho natatório.

Mamíferos:

O produto combustível cola-se ao corpo, impedindo-o de exercer sua função termorreguladora. Como consequência, os animais entram em hipotermia. O petróleo também apaga o odor natural dos animais, impedindo o reconhecimento entre pais e filhos, que deixam assim de ser alimentados pelos pais.

Ao se verem com necessidade de ir à superfície respirar, os mamíferos marinhos sofrem um tamponamento das vias respiratórias, morrendo por asfixia. A exposição ao óleo provoca irritação das mucosas, principalmente da mucosa ocular (Figura 3.11).

Os animais tentam permanecer o maior tempo possível submersos, causando perdas de resistência, que podem levar à desnutrição. A escassez de alimento resultante do desaparecimento de outros seres vivos também contribui para a desnutrição.



Figura 3.11 – Mamífero atingido por derramamento de óleo.

Aves:

À medida que a plumagem fica impregnada de óleo, diminui a sua capacidade de repulsão da água, que penetra para debaixo das penas, retirando o ar aí aprisionado, que permite às aves flutuarem e regularem a temperatura corporal. Como consequência, por um lado, começam a afundar e afogam-se, e por outro, não conseguem manter a temperatura corporal constante e entram em hipotermia. Para se manterem quentes, aumentam rapidamente o seu metabolismo, levando a um esgotamento das reservas energéticas e acabam por morrer (Figura 3.12).



Figura 3.12 – Ave atingida por derramamento de óleo.

Nem os processos meticulosos de limpeza conseguem restaurar as condições respiratórias normais das aves, diminuindo a sua capacidade de movimentação e sobrevivência.

Outros animais:

Os mexilhões e outros moluscos que se fixam nas rochas e objetos, perdem a sua capacidade de aderência, caem e morrem. A ingestão de petróleo nos seres ditos inferiores provoca esses efeitos crônicos: aumento da taxa respiratória, diminuição de assimilação de nutrientes e aumento da taxa de mortalidade.

Flora estuarina:

Os efeitos podem ser variáveis, consoante o estado de crescimento das plantas ou estação do ano. Destaca-se essencialmente o sufoco das zonas cobertas pela mancha e o impacto provocado pela passagem de pessoal e equipamento. A restauração pode demorar dois a três anos se a água for renovada e os nutrientes fornecidos.

3.5.4. Conseqüências Econômicas

Um dos fatores que podem assumir uma grande importância num derramamento de óleo são os prejuízos econômicos. As restrições na área afetada pelos navios comerciais, desportos aquáticos, pesca desportiva e comercial, exploração de portos e marinas e outras atividades podem trazer severas conseqüências na economia local, e prolongar-se por outras atividades:

Atividades Recreativas:

A contaminação de áreas costeiras é um fenômeno comum em muitos derrames, conduzindo a uma perturbação pública e interferência no turismo e algumas atividades recreativas e desportivas, tais como natação, pesca e mergulho, especialmente se o derrame ocorrer durante a época balneária.

Atividades Industriais

Além do prejuízo para as companhias petrolíferas, pode-se salientar as indústrias que necessitam de um abastecimento contínuo de água do mar em boas condições. Como as centrais termoelétricas, que se podem ver obrigadas a diminuir o rendimento ou mesmo a encerrar suas atividades completamente, caso se verifique a entrada de quantidades significativas de hidrocarbonetos para os tubos condensadores. Da mesma forma, podem ser afetadas estações dessalinizadoras.

Atividades de Pesca e Aqüicultura

Os prejuízos em nível da pesca são importantes, uma vez que os peixes desaparecem das zonas atingidas e, na maior parte das vezes, esta atividade é suspensa durante algum tempo. Os efeitos na aqüicultura, crustáceos e moluscos também acontecem. As espécies filtradoras (como os moluscos) ingerem grande quantidade de tóxicos e morrem, convertendo-se em animais impróprios para consumo humano, com o conseqüente prejuízo para as pessoas que vivem da sua comercialização. Estes prejuízos tornam-se mais graves quando estas pessoas não têm outras fontes de rendimento e dependem destes recursos.

3.6. CARTAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO (CARTAS SAO)

A sensibilidade representa o nível em que um sistema responde a uma mudança ocorrida em fatores controlantes, por exemplo, à mudanças nas condições climáticas (Thomas & Allison 1993). Relacionada com as noções de estabilidade e sensibilidade encontra-se a da vulnerabilidade. A vulnerabilidade define o nível em que uma mudança pode prejudicar ou destruir um sistema. Ela depende tanto da sensibilidade do sistema como de sua adaptabilidade no processo de resistência, a fim de ajustar-se às novas condições reinantes.

Para conciliar os interesses envolvidos com as diretrizes e/ou estratégias de planejamento e gestão ambiental é necessário, em primeiro momento, o mapeamento e caracterização dos ecossistemas e, posteriormente, a ordenação do mesmo segundo uma escala de sensibilidade ambiental. Em se tratando da indústria do petróleo, o mapeamento da sensibilidade ambiental é um instrumento essencial para um adequado planejamento e

ação de resposta a derrames de óleo. As cartas (ou mapas) de sensibilidade representam, portanto, a classificação dos ecossistemas em decorrência de seu valor ecológico, e nelas são levadas em consideração a vulnerabilidade aos impactos naturais e, ainda, os riscos de atividades antrópicas desenvolvidas.

As Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (Cartas SAO) constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo³. Ademais, as cartas SAO representam uma ferramenta fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificar aqueles ambientes com prioridade de preservação, permitem o direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza. Essas cartas são desenvolvidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Os Mapas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (Mapas SAO) baseiam-se nas Cartas SAO e apresentam características semelhantes. O grande diferencial entre eles é que as Cartas SAO são documentos oficiais do Governo Federal, elaboradas pelo Ministério do Meio Ambiente; enquanto que, os Mapas SAO são documentos locais elaborados para estudos específicos de áreas costeiras.

Os Mapas SAO contém informação básica de componentes costeiros, bem como geomorfológicos, hidrodinâmicos e oceanográficos. Eles indicam áreas de conservação, recreação e assentamentos urbanos costeiros. A produção deles torna-se um elemento de considerável importância no estudo ambiental, na análise de possíveis mudanças na área e nas prováveis conseqüências que essas mudanças podem acarretar.

De acordo com a tendência mundial, a responsabilidade de elaboração de cartas de sensibilidade ambiental é dos órgãos governamentais. No Brasil, o Art. 28 da Lei Nº 9966/2000 do órgão federal do meio ambiente (Ministério do Meio Ambiente), ouvida a autoridade marítima (Marinha do Brasil – MB), “definirá a localização e os limites das áreas ecologicamente sensíveis” que, por sua vez, são descritas no inciso IV do artigo 2º da referida Lei como “regiões de águas marítimas ou interiores, definidas por ato do poder público, onde a preservação, o controle da poluição e a manutenção do equilíbrio

³ Derramamento de óleo: qualquer forma de liberação de óleo para o ambiente, incluindo o despejo, escape, vazamento e transbordamento.

ecológico exigem medidas especiais para a proteção e preservação do meio ambiente” (MMA 2002).

As cartas SAO servem para identificar e mapear as localizações de recursos sensíveis antes que ocorra um acidente. Dessa forma, são utilizadas como ferramenta nas seguintes situações (MMA 2002):

- **Plano de Contingência:** planejamento de prioridades de proteção, estratégias de contenção e limpeza / remoção e quantificação dos recursos necessários ao combate de derramamentos;
- **Operações de combate a derramamentos de óleo:** possibilitando a avaliação geral de danos e facilitando a identificação dos locais sensíveis, rotas de acesso e quantificação / localização de equipamentos de resposta;
- **Planejamento Ambiental:** avaliação de recursos que possam estar em perigo, auxiliando na definição de locais de instalação de empreendimentos para a indústria do petróleo.

Essas cartas devem atender a todos os níveis de derramamentos de óleo, desde grandes derramamentos em áreas remotas (offshore), passando por derramamentos de porte médio a alguma distância das instalações da indústria (ao largo do litoral), até derrames localizados (em pontos específicos da costa).

Os mapas de sensibilidade, que são baseados nas cartas SAO, devem ser fáceis de entender e não devem exigir muito conhecimento especializado para serem compreendidos e interpretados. Devem apresentar informações suficientes, sem sobrecarga de dados. Também são importantes nos Mapas SAO o uso de símbolos e escalas convenientes, legenda, orientação, autor ou fonte, data de produção, título, além do mapa de localização da área para relacionar a subárea representada e a área como um todo.

De acordo com MMA (2002), as cartas de sensibilidade incluem três tipos de informações principais: sensibilidade dos ecossistemas costeiros e marinhos, recursos biológicos, e usos humanos dos espaços e recursos (atividades socioeconômicas):

1. Sensibilidade da Linha de Costa: Classifica as seções do litoral em *hábitats*, de acordo com suas características geomorfológicas, sensibilidade a derramamentos de

óleo, persistência natural de óleo e condições de limpeza / remoção. O sistema de classificação de sensibilidade é baseado no conhecimento das características geomorfológicas das áreas do litoral, considerando fatores como: grau de exposição à energia de ondas e marés, declividade do litoral e tipo do substrato, afetando sua permeabilidade e mobilidade.

O ISL (Índice de Sensibilidade do Litoral) é baseado nas características geomorfológicas da costa, fundamentais para a determinação do grau de impacto e permanência do óleo derramado, assim como, em muitos casos, para os tipos de procedimento de limpeza passíveis de serem empregados. A geomorfologia é, também, determinante para o tipo e a densidade das comunidades biológicas presentes na área.

Cada ISL indica a sensibilidade de cada trecho da costa, que varia de 1 a 10, de acordo com as características físicas, ou seja, se é praia arenosa, costão rochoso, mangue, planície de maré entre outros. Os ISLs aqui utilizados foram baseados nas Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derrames de Óleo (Cartas SAO) em vias de elaboração pelo Ministério do Meio Ambiente em 2002, baseado na classificação de sensibilidade adotada pelo NOAA (Tabela 3.2).

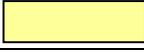
Tabela 3.2 - ÍNDICE DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL (“ENVIRONMENTAL SENSITIVITY INDEX – ESI”) AO PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS E CARACTERÍSTICAS DO LITORAL – NOAA.

ÍNDICE DE SENSIBILIDADE E AMBIENTAL (ESI)	GRAU DE EXPOSIÇÃO A ONDAS	FAIXA INTERMARÉS		SUBSTRATO				BIOTA	TIPO DE LITORAL
		Inclinação	Largura	Tipo	Mobilidade	Penetração do óleo	Trafegabilidade		
1	Alto	> 30°	Estreita	Costão rochoso	Fixo	Impermeável	Não	Aclimatada a altos impactos hidráulicos e pressão	Costões rochosos expostos, estruturas artificiais impermeáveis
2	Alto	< 30°	Larga	Leito rochoso	Fixo	Impermeável	Não	Aclimatada a altos impactos hidráulicos e pressão	Plataformas erodidas pela ação das ondas
3	-	< 5°	Larga	Areia fina a média (0,06 a 1 mm)	Baixa	Semipermeável (< 10 cm)	Permite tráfego de veículos	Baixa densidade	Praias de areia fina ou média
4	-	5 – 15°	Larga	Areia grossa / grânulo (2 – 4 mm)	Alta	Permeável (≤ 25 cm)	Baixa trafegabilidade de veículos	Baixa densidade	Praias de areia e cascalho
5	-	8 – 15°	-	Areia e cascalho	Muito alta durante tempestades	≤ 50 cm	Baixa trafegabilidade de veículos	Muito baixa	Praias de areia e cascalho
6	-	10 – 20°	-	Cascalho	Baixa	Altamente permeável (≤ 100 cm)	Muito baixa trafegabilidade	Infauna e epifauna muito baixas	Praias de cascalho e enrocamentos
7	Variável de alto a médio	< 3°	Estreita a muito larga	Areia	-	Penetração limitada	Baixa	Muito baixa	Áreas intermarés planas expostas
8	Baixo	> 15°	Estreita	Leito rochoso (algum sedimento)	-	-	Baixa	Coberto de algas e outros organismos	Costões rochosos abrigados
9	Baixo	< 3°	Estreita a muito larga	Lamoso	-	Baixa permeabilidade	Muito baixa	Alta densidade de infauna	Áreas intermarés planas abrigadas
10	Médio a baixo	< 10°	Variável	Areia lamosa	Baixa	Baixa permeabilidade	Muito baixa	Vegetação associada com alta diversidade	Marismas, manguezais

Fonte: SILVA, 1996 *apud* MMA 2002.

Uma vez determinado o índice de sensibilidade do local, cada ISL desse é representado por uma cor. A tabela 3.3 exibe os ISL com suas respectivas cores:

Tabela 3.3 - Esquema de cores para classificação do ISL (Fonte: MMA 2002)

ÍNDICE	COR	TIPOS DE COSTA
ISL 1		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costões rochosos lisos ▪ Falésias em rochas sedimentares ▪ Estruturas artificiais lisas
ISL 2		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Terraço, plataforma de abrasão ou terraço arenítico exumado, de declividade média, exposto.
ISL 3		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praias dissipativas, de areia fina a média, expostas. ▪ Praias de areia fina a média, abrigadas. ▪ Restingas – faixa contígua à praia, ainda sujeita à ação de ressacas
ISL 4		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praias de areia grossa ▪ Praias intermediárias, de areia média a fina, expostas.
ISL 5		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praias mistas de cascalho e areia, areia e conchas, ou areia e corais ▪ Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou coberto de vegetação.
ISL 6		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praias de cascalho (seixos e calhaus) ▪ Depósito de tálus ▪ Enrocamentos (“rip-rap”, quebra-mar) expostos ▪ Plataforma ou terraço recoberto por concreções lateríticas ou bioconstrucionais
ISL 7		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planície de maré arenosa exposta ▪ Terraço de baixa-mar
ISL 8		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escarpa / encosta de rocha lisa abrigada ▪ Escarpa / encosta de rocha não-lisa abrigada ▪ Enrocamentos abrigados
ISL 9		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planícies de maré arenosa / lamosa abrigada ▪ Terraço de baixa-mar lamoso abrigado / recifes
ISL 10		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Terrenos alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas. ▪ Marismas ▪ Mangues e pântanos costeiros

As cores são aplicadas à linha de costa representando o limite entre terra e água. A maioria dos “habitats” costeiros é representado como uma linha, sem dimensão espacial. Cada mapa SAO deverá conter uma legenda com o código de cores e o significado da simbologia utilizada para classificação da sensibilidade da costa nela representada.

2. Recursos Biológicos: Nas cartas devem aparecer as áreas onde ocorrem concentrações de espécies sensíveis ao óleo, como locais de alimentação, reprodução, berçários, áreas de trânsito e rotas de migração. São as informações mais importantes dos mapas de sensibilidade para o derramamento de óleo, onde são identificadas as áreas de maiores concentrações das espécies, as fases ou atividades mais sensíveis do seu ciclo de

vida e as espécies protegidas, para subsidiar os responsáveis pelo planejamento e resposta aos acidentes com derrames de óleo, na determinação de prioridades de proteção.

As distribuições dos recursos biológicos são representadas usando ícones associados a um ponto, linha ou polígono, indicando a distribuição espacial de uma espécie. Cada espécie é identificada por uma cor própria, onde essas cores são usadas nos ícones correspondentes e para preencher polígonos e áreas hachuradas referentes à distribuição espacial.

3. Usos Humanos dos Recursos (atividades socioeconômicas): As atividades socioeconômicas que caracterizam a ocupação dos espaços e os usos dos recursos costeiros e marinhos, como o turismo, a pesca, a aquicultura e o extrativismo costeiro, são frequentemente sensíveis aos impactos por derramamentos de óleo. Assim, praias de alto uso recreacional, marinas, áreas de proteção ambiental, sítios de mineração, sítios arqueológicos, por exemplo, são representados no mapa de sensibilidade, sempre que localizados em áreas que possam ser afetadas por um derramamento de óleo. Os recursos de uso humano são indicados por ícones em preto e branco. Devem ser identificadas nos mapas as estradas secundárias, importantes para as operações de resposta, assim como locais de atracação, rampas para barcos, aeroportos, heliportos, depósitos e locais de concentração para equipamentos de contenção, limpeza e transporte.

3.7. FATORES DE INFLUÊNCIA NOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Alguns fatores podem influenciar nas conseqüências do óleo derramado em algum acidente (CETESB 2006):

Tipo e quantidade de petróleo:

Óleos leves são altamente tóxicos, devido à presença de maiores quantidades de compostos aromáticos, enquanto que óleos pesados e mais densos são pouco tóxicos, mas causam impacto físico de recobrimento. A intensidade do impacto e o tempo de recuperação tendem a ser diretamente proporcionais à quantidade de óleo derramado, ou presente em um ambiente ou local restrito.

Época do ano

As flutuações sazonais (ligadas às estações do ano) causam consideráveis variações na estrutura e composição das comunidades biológicas costeiras. Estes aspectos podem diferir consideravelmente, por exemplo, no verão e inverno, em um mesmo local. Conseqüentemente, a época em que ocorrem os derrames é importante. Épocas de reprodução coincidentes com os derrames podem gerar grandes impactos nas populações.

Grau de hidrodinamismo

O grau de hidrodinamismo de um local é determinado pela quantidade, intensidade e força das ondas e correntes que atuam no ambiente. Locais com elevado hidrodinamismo, tendem a dispersar o óleo rápida e eficientemente, fazendo com que o impacto de um derrame de óleo seja reduzido ou mesmo não perceptível. Nestes ambientes, o óleo permanece por poucos dias. Já nos ambientes abrigados da ação das ondas e correntes, o petróleo tende a permanecer por muitos meses, ou anos, impedindo que a comunidade biológica se recupere.

Tipo de substrato

O substrato pode ser dividido em consolidado e não consolidado. Os substratos consolidados são as rochas que formam os costões, matacões e praias rochosas e de seixos. Neste caso o óleo pode permanecer aderido ao substrato afetando diretamente a comunidade ali presente. Nos substratos não consolidados, formados pelas areias e lodos, o petróleo pode penetrar verticalmente no sedimento, atingindo camadas mais profundas. Neste caso, a regra é que quanto maior for o tamanho do grão (conseqüentemente maior o espaço entre os mesmos), maior a penetração do óleo no sedimento, podendo atingir várias dezenas de centímetros. Praias de areia fina e lodo são as que resistem mais à penetração do óleo.

3.8. PRINCIPAIS RESPOSTAS AOS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO

A avaliação preliminar de um vazamento é a primeira medida adotada em um acidente e servirá para orientar o desenvolvimento das ações iniciais de combate, as quais

serão periodicamente reavaliadas em função de mudanças no deslocamento da mancha e alterações no comportamento do óleo no mar.

Dentre os diversos pontos a serem observados na avaliação inicial de uma ocorrência, merecem destaque:

- 1º) Comunicação da ocorrência: Identificação da fonte geradora; data e horário da ocorrência; tipo e porte do vazamento; tipo e características do produto vazado, direção e velocidade de ventos e correntes; órgãos acionados ou presentes no local e identificação do informante.
- 2º) Recursos necessários: Para uma efetiva avaliação é indispensável a utilização de cartas topográficas, náuticas e tábuas de maré que servirão para orientar as vistorias aéreas, marítimas e terrestres nas áreas sob influência do vazamento.
- 3º) Tipos de monitoramento: Realização de freqüentes vistorias aéreas, marítimas e terrestres de modo a orientar as ações de combate a um derrame de óleo. Deve-se atentar para a escolha do veículo adequado para as respectivas vistorias, bem como as características dos ambientes como profundidade, correnteza, sólidos em suspensão e condições de acesso no caso de vistorias terrestres.
- 4º) Aparência do óleo no mar: De acordo com o aspecto e coloração da mancha de óleo na superfície do mar é possível associar uma espessura aproximada e quantificar o volume derramado por determinada unidade de área.

As duas técnicas mais utilizadas na resposta a derrames de óleo são a aceleração da dispersão vertical através da utilização de dispersantes químicos, e a recuperação mecânica com barreiras flutuantes de retenção e recolha, skimmers e materiais absorventes. Contudo, técnicas alternativas continuam a ser procuradas e investigadas, com especial destaque para a queima in situ e o desenvolvimento de biodegradação natural do óleo mediante a aplicação de microorganismos e/ou nutrientes (biorremediação).

3.8.1. Dispersantes Químicos

Os dispersantes são produtos químicos que, ao serem pulverizados nas manchas de óleo, aceleram o processo de dispersão natural. A sua aplicação visa remover o óleo da

superfície, particularmente quando a remoção mecânica não é possível, minimizando os impactos do óleo flutuante, por exemplo, para aves ou zonas costeiras sensíveis.

Os dispersantes químicos podem ser aplicados por pulverização através de navio, avião, helicóptero, preferencialmente sob a forma de “spray”. Os navios são mais adequados para derrames em portos ou águas interiores, enquanto que helicópteros e aviões com apenas um motor são mais eficazes para pequenos derrames e em zonas costeiras. Os maiores aviões têm mais utilidade para derrames de grande dimensão. A utilização de dispersantes químicos deve ser cuidadosa e rápida, uma vez que após algum tempo a utilização deles se torna ineficaz.

3.8.2. Recuperação Mecânica

A recuperação mecânica é o método ideal de combate a derrames em termos ambientais, pois consiste na recolha do óleo da água sem quaisquer tipos de impactos. A utilização de barreiras flutuantes de retenção (Figura 3.13) pode evitar que a mancha atinja locais sensíveis, sendo habitualmente associadas à utilização de skimmers para a recolha do óleo. As principais desvantagens deste método residem na dificuldade da sua aplicação em manchas de espessura muito fina, condições atmosféricas de elevado vento, ou forte agitação marítima.



Figura 3.13 - Lançamento de barreiras de contenção.

3.8.3. Queima In Situ

Queima in situ é a denominação dada ao processo de combustão da mancha de óleo no mar, próximo ou mesmo no local do derrame. Esta técnica pode ser vista como uma forma simples de remover quantidades significativas de óleo da superfície. Contudo, diversos problemas limitam a viabilidade deste método. Entre eles encontram-se a ignição do óleo, a manutenção da combustão da mancha, a geração de enormes quantidades de fumaça, o aumento de solubilidade de componentes tóxicos devido às altas temperaturas atingidas e preocupações com a segurança.

O estado do mar também pode condicionar a aplicação deste método. Forte agitação marítima pode mesmo extinguir a combustão. Em manchas com espessura muito fina a combustão também é dificultada, devido à menor temperatura do óleo. Como resultado, uma quantidade significativa de óleo pode permanecer na superfície, sem ser queimado.

3.8.4. Biorremediação

Biorremediação é o termo utilizado para descrever um número de processos que podem acelerar a biodegradação natural, decompondo o petróleo em substâncias mais simples como água, biomassa ou dióxido de carbono. A biodegradação ocorre como resultado da oxidação de certos componentes do óleo derramado, através de bactérias, fungos, algas unicelulares e protozoários. A taxa de biodegradação é limitada por diversos fatores incluindo a temperatura, níveis de micróbios, nutrientes e oxigênio presente. Outros fatores, tais como a composição química do óleo e o seu estado de envelhecimento também são importantes.

Embora a idéia da biorremediação seja atrativa, o seu uso prático é restrito, uma vez que se trata de um processo demasiado lento. Assim, este processo não deve ser usado para manchas à superfície, visto que os materiais adicionados são rapidamente diluídos e perdidos da mancha, sendo mais adequado para zonas costeiras contaminadas com óleo.

3.8.5. Preparação para as respostas

Preparação para resposta, no contexto dos vazamentos de óleo, é consolidada através dos planos de emergência/contingência, nos seus diversos níveis de organização, os instrumentos que organizam e aperfeiçoam as ações de combate.

O termo Contingência está relacionado com a incerteza sobre se um fato acontecerá ou não. Estudos de Análise de Risco realizados no escopo do Plano de Contingência do Canadá (onde são reportados 3.000 a 3.500 vazamentos de óleo por ano) indicam que a cada 10/15 anos ocorrerá um grande acidente envolvendo o vazamento de mais de 10.000 toneladas de óleo (Van den Berg 1998). Na Austrália, os Estudos de Análise de Risco apontam uma probabilidade de 37 % de acontecer um vazamento de mais de 1.370 toneladas a cada 5 anos. A probabilidade deste mesmo vazamento acontecer a cada 20 anos sobe para 84 % (AMSA 1999).

Os planos de contingência são instrumentos responsáveis pela definição da estrutura organizacional e dos procedimentos para preparação e resposta a acidentes. Os treinamentos, nas suas mais variadas formas são atividades permanentes e constantes, cuja função é preparar as equipes para atendimentos reais, bem como para consolidar os planos de combate e identificar problemas e fragilidades que precisam ser trabalhadas.

3.9. ELABORAÇÃO DE MAPAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE DO BRASIL

Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil estão algumas das principais bacias marginais emersas e submersas de exploração de petróleo e gás natural: bacias Potiguar-Ceará, Pernambuco-Paraíba, Sergipe-Alagoas, Pará-Maranhão, Foz do Amazonas-Marajó, Recôncavo e Camamu-Almada. A exploração de óleo e gás nessas bacias tem ocorrido de forma contínua há mais de trinta anos.

Nesse sentido, surgiu o Projeto Monitoramento Ambiental de Áreas de Risco a Derrames de Petróleo e Seus Derivados (REDE 05 - PETRORISCO, FINEP/CTPETRO/PETROBRÁS) de características multidisciplinares e interinstitucionais,

em temas envolvendo o monitoramento ambiental e a atividade petrolífera. Um dos objetivos da Rede 05 consiste em desenvolver mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, através da atualização periódica dos dados cartográficos, tendo em vista a dinâmica costeira e as variações climáticas sazonais que podem provocar alterações hidrodinâmicas, geoquímicas e biológicas, entre outras, as quais são importantes para a previsão do movimento da mancha de óleo (PETROMAR 2007).

É importante salientar que os mapas SAO confeccionados atualmente são cartas-estranques, não são interativas. Os resultados mostram situações estáticas, não levando em consideração as mudanças hidrodinâmicas tão frequentes na costa Norte e Nordeste do Brasil. Além disso, não são desenvolvidos mapas temporais, para fins comparativos. Isso serviria para analisar se uma área é mais sensível em uma época (ou estação) do que em outra época. Dependendo dos fatores envolvidos, verificar se uma região é mais sensível ao óleo no verão ou no inverno, por exemplo.

Castro (2002) desenvolveu mapas SAO temporais na área de Galinhos e verificou que essa área é mais sensível no mês de dezembro e menos sensível no mês de junho. Foi um trabalho inovador, visto que exibiu a diferença de sensibilidade da área caso acontecesse derramamentos de óleo em meses diferentes.

Castro et al. (2003) ressaltou a importância de se confeccionar mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo em épocas distintas. Isso se torna importante visto que a sensibilidade pode mudar de acordo com a sazonalidade, pois dependendo da estação do ano, o ambiente afetado pelo óleo derramado pode reagir de diferentes maneiras.

Além disso, esse aspecto da temporalidade também se torna importante em ambientes de macro e mesomares (características das regiões Norte e Nordeste), visto que o comportamento de marés, ventos e correntezas influenciam na resposta do local diante de um derramamento de óleo.

Sendo assim, essas necessidades motivaram o desenvolvimento de um sistema computacional para confeccionar mapas SAO temporais a fim de se obter com mais rapidez esses mapas e analisar as possíveis diferenças existentes. Este sistema e seu funcionamento são detalhados no capítulo 4.

4. Sistema Computacional para Confecção Automática de Mapas de Sensibilidade Ambientais ao Derramamento de Óleo (AutoMSA)

4.1. MAPAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO NA ÁREA DE ESTUDO

Como discutido no Capítulo 3, os mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo (Mapas SAO) constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo. Eles exibem a sensibilidade da linha de costa, os recursos biológicos e as atividades socioeconômicas de uma área, a fim de mostrar as principais feições atingidas caso ocorra um derrame de óleo nas proximidades.

É importante confeccionar esse tipo de mapa em épocas diferentes para avaliar a diferença de sensibilidade da área em situações distintas. Cada situação é única devido à sazonalidade, tipos de óleo diferentes que podem ser derramados (com diferentes toxicidade e permanência) e as características próprias da região costeira.

Alguns Mapas SAO foram desenvolvidos nas áreas de Galinhos, São Bento do Norte e Guamaré. Castro *et al.* (2004a) desenvolveu mapas SAO nas áreas de Galinhos e São Bento do Norte nas épocas de Junho/2000 e Dezembro/2000. Os resultados são exibidos nas Figuras 4.1 e 4.2 abaixo:

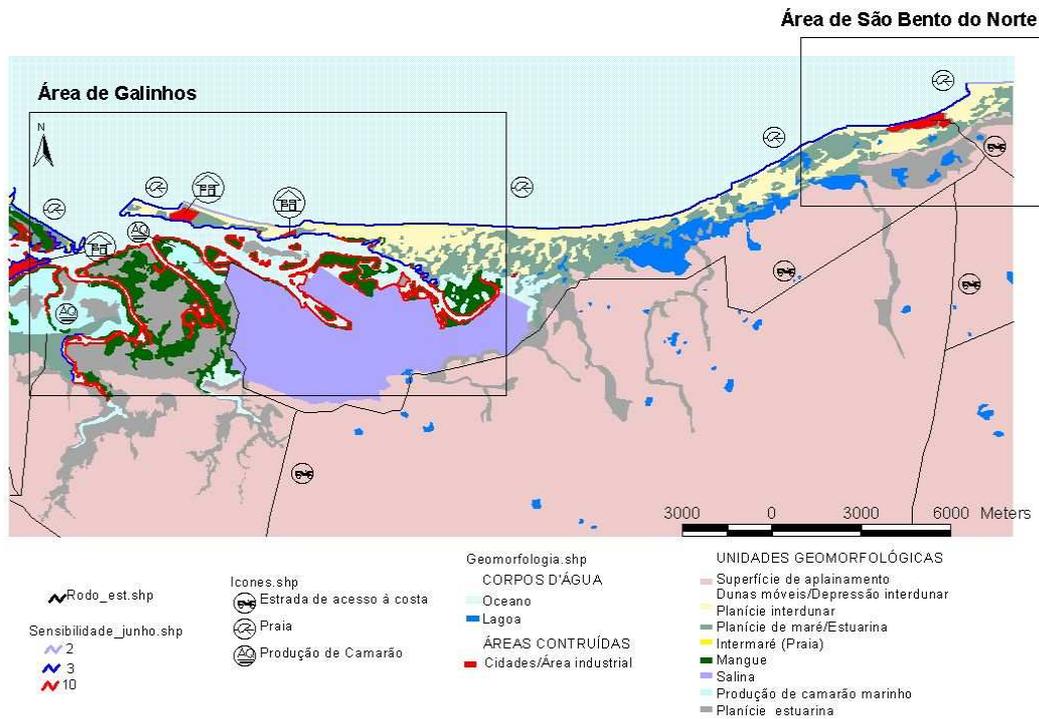


Figura 4.1 - Mapa de Sensibilidade das áreas de Galinhos e São Bento do Norte no período de Junho/2000. Fonte: Castro (2002).

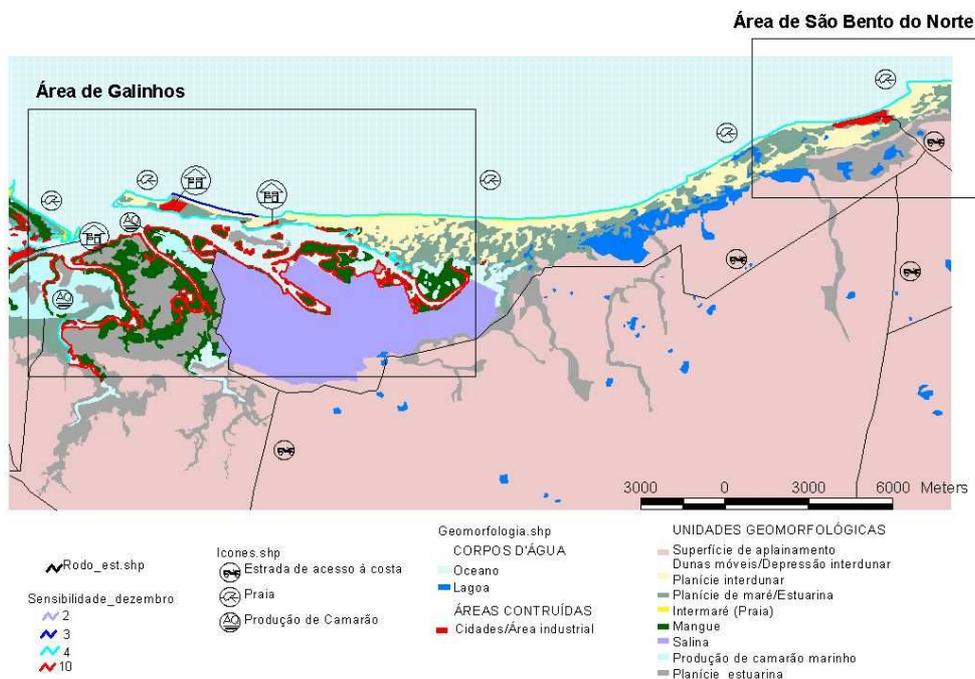


Figura 4.2 – Mapa de Sensibilidade das áreas de Galinhos e São Bento do Norte no período de Dezembro/2000. Fonte: Castro (2002).

A sensibilidade em algumas áreas aumentou de junho para dezembro do mesmo ano. Os ISLs que registravam sensibilidade 2 em junho aumentaram para sensibilidade 3 e em outras localidades aumentaram de 3 para 4. Logo, um derrame de petróleo no mês de Dezembro/2000 teria sido mais prejudicial à área do que um derramamento em Junho do mesmo ano. O manguezal sempre apresenta ISL 10, sensibilidade máxima, pelo fato de absorver totalmente o óleo que chega até ele. As atividades sócio-econômicas foram destacadas no mapa, mas a biologia não foi possível, visto que houve carência de dados dessa natureza na área.

Castro *et al.* (2004b) desenvolveu um Mapa SAO para a área de Guamaré no ano de 2001, elaborando esses mapas em um intervalo de três em três meses (Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2001). As Figuras 4.3 e 4.4 exibem os resultados dos meses de março e setembro.

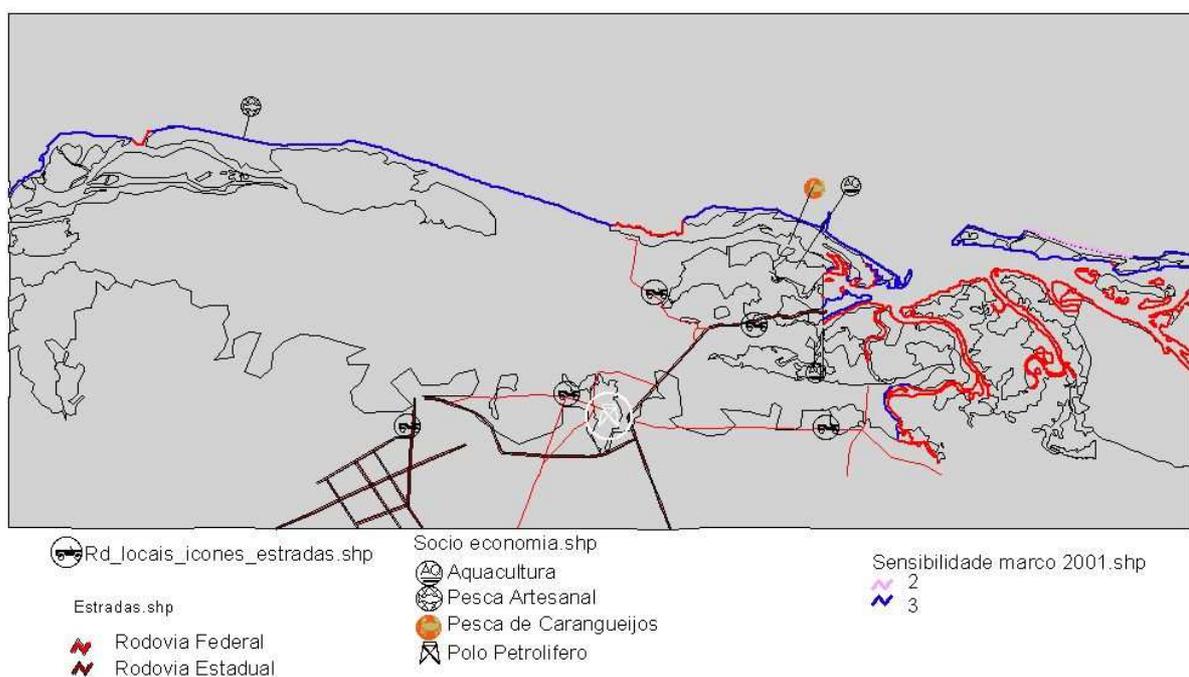


Figura 4.3 – Mapa de Sensibilidade da área de Guamaré no mês de Março/2001. Fonte: Castro *et al.* (2004).

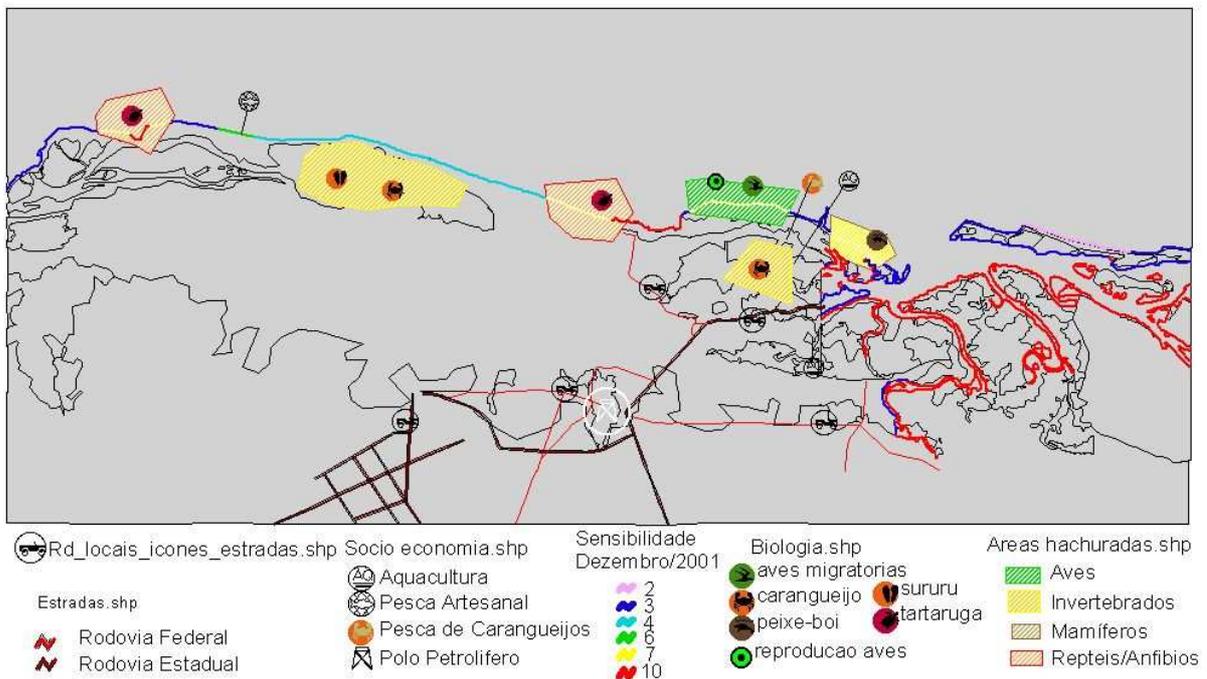


Figura 4.4 - Mapa de Sensibilidade da área de Guamaré no mês de Dezembro/2001. Fonte: Castro *et al.* (2004).

Analisando os dois mapas acima, percebe-se um considerável aumento do índice de sensibilidade em alguns locais da área. Em março de 2001, os principais ISLs foram 2, 3 e 10, com a identificação de algumas atividades sócio-econômicas, como aquacultura e pesca artesanal. Nessa época não havia um estudo com os dados biológicos, por isso não foi possível identificar a biologia existente na área.

Em dezembro do mesmo ano, além da geomorfologia da área e da sócio-economia, existiam também dados biológicos, com todas as espécies encontradas na área e os locais de maiores concentrações delas. Identificou-se, então, aves, carangueijos, peixe-boi, sururu e tartarugas. Logo, o mapa SAO de dezembro é bem mais completo, com informações mais detalhadas. Passa a ter ISL 2, 3, 4, 6, 7 e 10, a identificação da sócio-economia, as áreas em destaque onde aparecem as espécies biológicas (são as áreas hachuradas no mapa) e o ícone com cada uma delas.

Sendo assim, desenvolver mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo em áreas próximas a locais de exploração petrolífera, passou a ser uma ferramenta necessária

como forma de identificar os locais mais sensíveis e que deveriam ser urgentemente atendidos no caso de um derrame de óleo nas redondezas. A área de Guamaré possui o Pólo Petrolífero de Guamaré, sujeito a acidentes e/ou vazamentos. Os Mapas SAO dessa área tornaram-se assim imprescindíveis.

Todos os mapas construídos até então tinham sido confeccionados com o uso do *software* ArcView e praticamente “desenhando” tudo que era necessário aparecer no mapa. Sendo assim, o primeiro objetivo principal desse trabalho foi desenvolver um sistema computacional que “automatizasse” o processo de confeccionar o mapa SAO de determinada área, a partir de alguns dados inseridos pelo usuário. A esse novo sistema foi dado o nome de **AutoMSA** (**A**utomação de **M**apas de **S**ensibilidade **A**mbiental ao Derramamento de Óleo).

4.2. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA COMPUTACIONAL DE AUTOMAÇÃO DE MAPAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO - AUTOMSA

O desenvolvimento do AutoMSA passou pelo mesmo processo de Engenharia de Software que o SWIGG em sua primeira versão. O sistema tem como objetivo principal a automação do processo de confecção e desenvolvimento dos Mapas SAO a partir de dados digitados pelo usuário. O AutoMSA foi desenvolvido juntamente com Souza (2006).

4.2.1. Modelo Conceitual – uso do GeoFrame

Primeiramente, foram modelados conceitualmente quais os dados que são importantes para a confecção de Mapas SAO. Nesse nível, é necessário identificar todos os objetos do mundo real, que de alguma forma estarão presentes no cenário de derramamento de óleo. Necessita-se então de uma descrição geral desses objetos envolvidos e os relacionamentos existentes entre eles.

O modelo conceitual GeoFrame, com todos os dados essenciais dos mapas SAO, está representado na Figura 4.5.

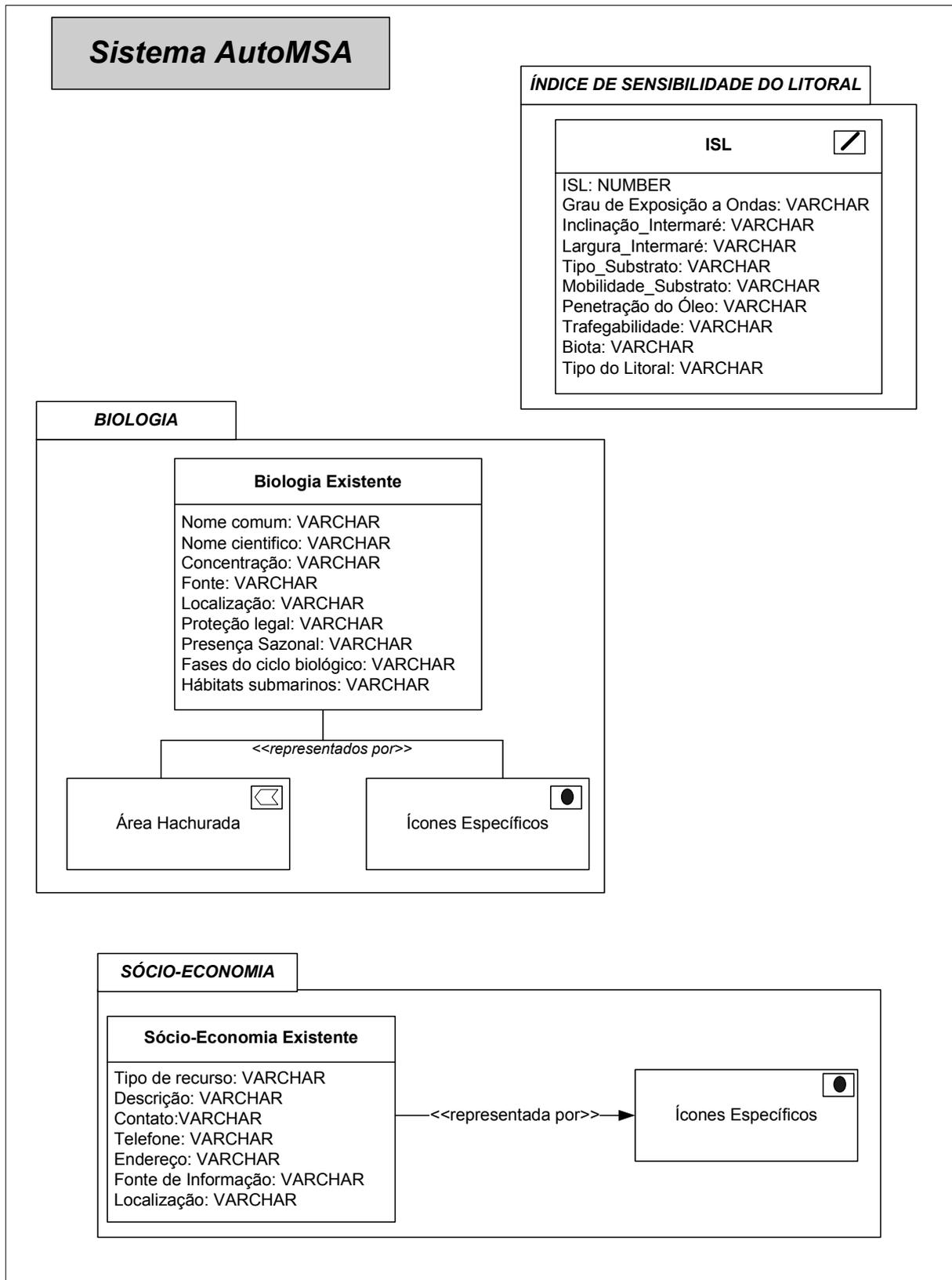


Figura 4.5 – Dados essenciais na confecção de mapas SAO.

4.2.2. Modelo Lógico

Em uma etapa posterior, que pode ser chamada de Modelo Lógico desse sistema, especificam-se como os dados acima são representados computacionalmente. É a discriminação de como cada informação será armazenada no sistema.

O ISL é representado no formato de linhas coloridas (representando o índice da sensibilidade) e possui uma tabela de dados com suas principais informações. Desse modo, o modelo conceitual do ISL, quando convertido para o modelo lógico, preocupa-se em definir como a parte geográfica será representada, bem como a tabela com dados alfanuméricos (Figura 4.6).

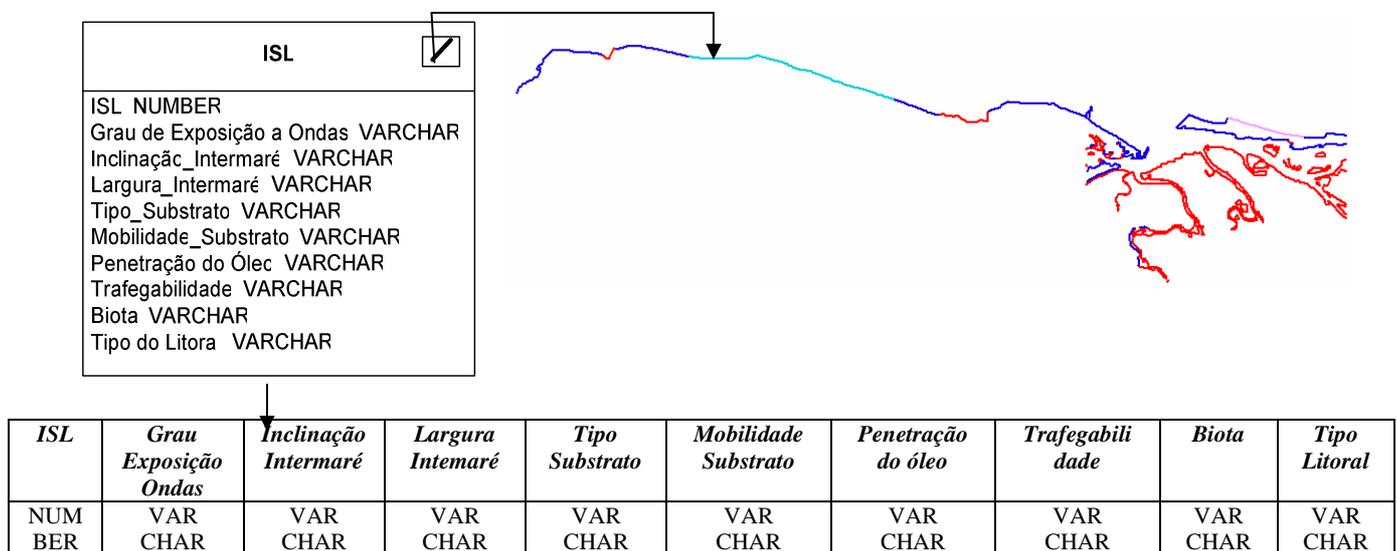


Figura 4.6 – Transformação conceitual-lógico dos dados de ISL nos mapas SAO.

A biologia é representada de maneira distinta do ISL, já que possui uma tabela de dados com as principais informações das espécies biológicas. Entretanto, o grande destaque é a representação dessas espécies através de ícones específicos e a delimitação das localizações por meio de áreas hachuradas coloridas, onde cada cor representa a presença da espécie (por exemplo, a cor verde representa as aves, o amarelo, os invertebrados, e assim sucessivamente). Sendo assim, transformando o modelo conceitual da biologia em modelo lógico, se teria a seguinte representação (Figura 4.7).

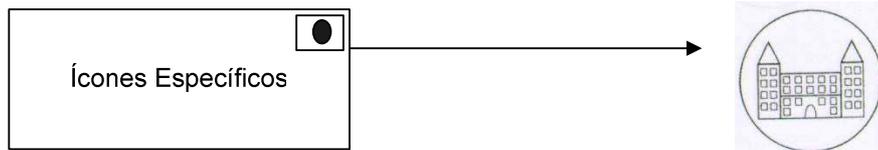


Figura 4.8 - Transformação Conceitual-Lógico dos dados de sócio-economia dos Mapas SAO.

4.2.3. Modelo Físico

4.2.3.1. Tecnologias utilizadas

Finalizadas as etapas dos modelos conceitual e lógico desse sistema, deu-se início ao processo de desenvolvimento propriamente dito, ou seja, a implementação dessa modelagem anterior em um sistema computacional.

O processo de desenvolvimento do AutoMSA envolveu diferentes tecnologias. A utilização dessas tecnologias permitiu o melhor desempenho na realização das operações, bem como a construção de uma interface mais funcional. As tecnologias utilizadas na elaboração do AutoMSA foram as mesmas utilizadas por Souza (2004), no desenvolvimento do SWIGG e por Souza (2006), no desenvolvimento do sistema SADE. Essas tecnologias são:

a) Sistema Gerenciador de Banco de Dados Oracle 9i e sua extensão Oracle Spatial

O *Oracle 9i* é um SGBD que armazena e acessa os dados de forma consistente e segura usando um modelo de dados objeto-relacional. Continua com o mesmo foco do Oracle 8i, que provê uma série de especificações para uso na Internet. O Oracle 9i foi pioneiro no suporte ao modelo Web (Oracle 2007). Para satisfazer às exigências da rede mundial, o banco de dados Oracle9i foi projetado para suportar as capacidades da Internet. Provê funcionalidade extensa para apoio aos negócios que correm no *World Wide Web*, como também para a missão tradicional de realizar transações comuns em bancos de dados e aplicações de *Data Warehousing* (Oracle 2002a).

O Banco de Dados Oracle9i inclui ferramentas que servem para controlar todos os tipos de conteúdos existentes na Internet: dados relacionais, dados objeto-relacionais, XML,

texto, áudio, vídeo, imagem e informação espacial. Esses tipos de dados se apresentam como dados nativos do banco de dados, e podem ser consultados usando SQL. A Oracle oferece uma ferramenta gráfica – *Oracle JDeveloper* – para simplificar o uso desses tipos de dados nas aplicações.

Em 1995, uma extensão do *Oracle 9i* foi lançada pela Oracle Corporation para tratamento de entidades geo-espaciais. Esta extensão, o *Oracle Spatial*, contém um conjunto de funcionalidades e procedimentos que permite armazenar, acessar e analisar dados espaciais em um banco de dados Oracle.

Devido às suas vantagens, o SGBD Oracle foi escolhido como o sistema de banco de dados espaciais para o armazenamento de dados que servissem como suporte ao sistema automatizador de mapas de sensibilidade ambiental. Oracle é uma ferramenta robusta que oferece todo o aparato tecnológico para lidar com dados geográficos, além de usar a linguagem SQL, que auxilia nas consultas às informações existentes no banco de dados.

O modelo de dados espaciais da Oracle consiste em uma estrutura hierárquica de elementos (*Point*, *LineString* e *Polygon* ou Ponto, Linha e Polígonos), geometrias e planos; onde planos são compostos por geometrias, que por sua vez são compostas por elementos. Uma geometria pode ser formada por um único elemento ou por um conjunto homogêneo (*MultiPoint*, *MultiLinesString* ou *MultiPolygon*) ou heterogêneo (*Collection*) de elementos (Figura 4.9).

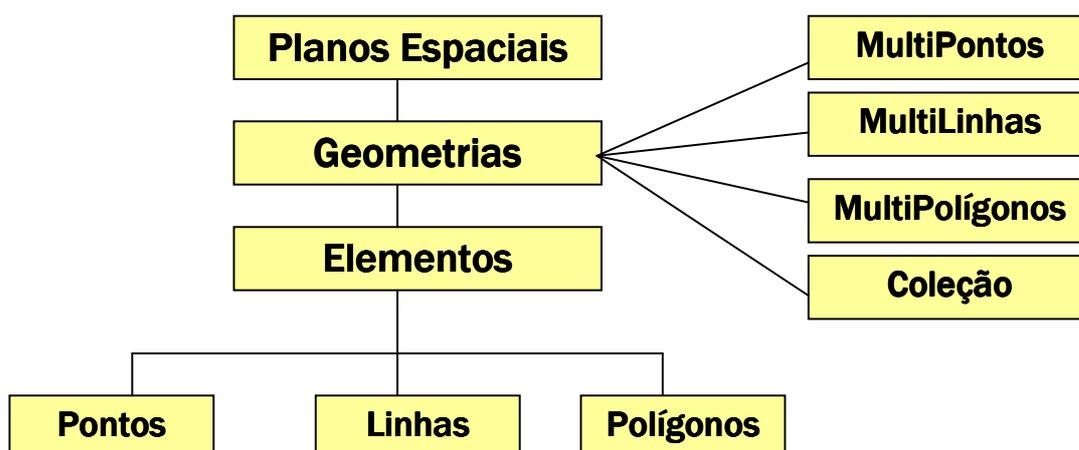


Figura 4.9 - Modelos dos dados espaciais no Oracle Spatial.

E, finalmente, um plano é formado por um conjunto de geometrias que possuem os mesmos atributos. O Oracle Spatial utiliza o modelo de dados objeto-relacional, sendo assim, uma geometria é armazenada em um objeto chamado *SDO_GEOMETRY* (contendo a geometria em si, suas coordenadas, e informações sobre seu tipo e projeção). Desse modo, numa tabela espacial, os atributos alfanuméricos da geometria são definidos como colunas de tipos básicos (*VARCHAR2*, *NUMBER*, etc) e a geometria, como uma coluna do tipo *SDO_GEOMETRY*. Veja o exemplo abaixo:

```
CREATE TABLE MUNICIPIOS_GUAMARE (  
  Nome Varchar2(64),  
  Classificação Varchar2(64),  
  Geometria MDSYS.SDO_GEOMETRY);
```

Os campos são declarados usando SQL e o campo que vai armazenar a feição geométrica, nesse caso, é o *Geometria*, do tipo *MDSYS.SDO_GEOMETRY*.

O objeto *SDO_GEOMETRY* possui cinco campos, cada um com uma função distinta. São eles (Oracle Spatial (2002), Oracle Spatial (2002a) e Oracle (2001)):

<i>SDO_GTYPE</i>	<i>NUMBER</i> ,
<i>SDO_SRID</i>	<i>NUMBER</i> ,
<i>SDO_POINT</i>	<i>SDO_POINT_TYPE</i> ,
<i>SDO_ELEM_INFO</i>	<i>SDO_ELEM_INFO_ARRAY</i> ,
<i>SDO_ORDINATES</i>	<i>SDO_ORDINATE_ARRAY</i>

Abaixo, um exemplo de um objeto espacial e como ele é interpretado e armazenado no Oracle Spatial. Primeiramente, a criação da tabela usando comandos SQL:

```
CREATE TABLE Teste_Polígono_com_buraco (  
  ID NUMBER,  
  Descrição Varchar2(60),  
  Geometria MDSYS.SDO_GEOMETRY);
```

Supondo que se pretende armazenar a Figura 4.10 abaixo:

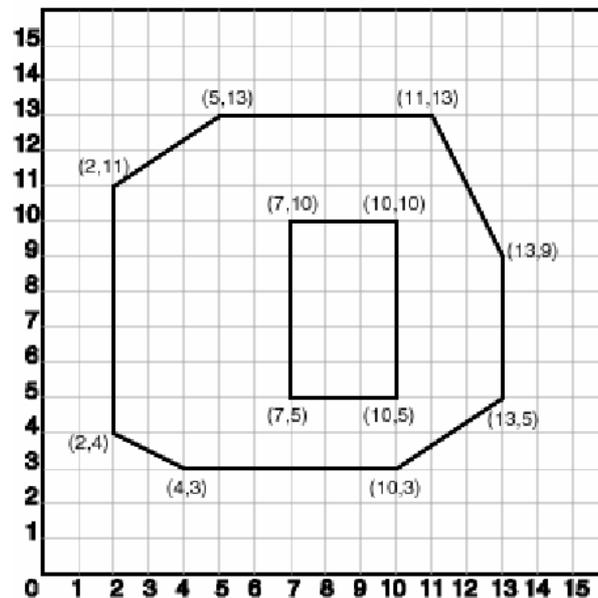


Figura 4.10 – Exemplo de desenho que se deseja armazenar no Oracle Spatial

O Oracle Spatial interpretaria essa figura da seguinte maneira:

- **SDO_GTYPE** = Define o tipo de geometria armazenado no objeto. Nesse caso, seria **2003**. (O 2 indica a segunda dimensão e o 3 indica que é um polígono).
- **SDO_SRID** = É usado para identificar um sistema de coordenadas (Sistema de Referência Espacial) a ser associado com a geometria. Se o campo SDO_SRID for nulo, não existe nenhum sistema de coordenadas associado com a geometria; se ele for não-nulo, deve conter um valor a partir da coluna SRID da tabela MDSYS.CS_SRS. Como essa figura não tem nenhum sistema de coordenadas associado, seu SDO_SRID é **NULL**.
- **SDO_POINT** = Campo utilizado para armazenar pontos simples no objeto SDO_GEOMETRY. Possui os valores de X, Y e Z do ponto a ser armazenado – no formato (x, y, z). Esse campo é ignorado se o campos SDO_ELEM_INFO e SDO_ORDINATES são não-nulos. A figura acima não se refere a pontos simples, portanto esse campo é **NULL**.
- **SDO_ELEM_INFO** = **(1,1003,1, 19,2003,1)**.
São dois elementos: 1,1003,1 e 19,2003,1.

Ordinate Offset - 1 indica que começa no primeiro ponto e 19 indica que a coordenada do segundo elemento (o polígono interno) começa no número 19 no vetor do SDO_ORDINATES.

Element Type - 1003 indica que o elemento é um polígono externo; 2003 indica que é um polígono interno.

Interpretation - E os números 1 e 1 que aparecem no fim de cada tripla de valores significa que se trata de linhas retas.

- **SDO_ORDINATES = (2,4, 4,3, 10,3, 13,5, 13,9, 11,13, 5,13, 2,11, 2,4, 7,5, 7,10, 10,10, 10,5, 7,5)** – Vetor de números que armazena as coordenadas dos objetos espaciais.

Transformando toda essa informação em comandos SQL para que possam ser armazenados definitivamente no Oracle Spatial, teria-se o seguinte:

```
INSERT INTO Teste_Polígono_com_buraco VALUES (  
  10, 'poligono com buraco',  
  MDSYS.SDO_GEOMETRY (  
    2003, NULL, NULL,  
    MDSYS.SDO_ELEM_INFO_ARRAY (1,1003,1, 19,2003,1),  
    MDSYS.SDO_ORDINATE_ARRAY (2,4, 4,3, 10,3, 13,5, 13,9, 11,13,  
  5,13, 2,11, 2,4, 7,5, 7,10, 10,10, 10,5, 7,5)  
  )  
);
```

b) Container Web OC4J

Uma das preocupações da Oracle Corporation é desenvolver arquiteturas apropriadas como suporte ao desenvolvimento de sistemas computacionais, sejam estes de pequeno, médio ou grande porte. Um dos grandes destaques dessa empresa é o componente *Java 2 Enterprise Edition* (J2EE). A máquina ideal para rodar essa infra-estrutura é o *Oracle Containers for J2EE 10g* (OC4J), que possui as características de ser leve, fácil de usar e altamente produtivo para os desenvolvedores.

A Oracle foi uma força motriz na comunidade de J2EE desde o começo e tem estabelecido uma reputação como o implementador principal de sua especificação. O resultado do investimento Oracle no J2EE é o *Oracle Containers for J2EE 10g* (OC4J). O OC4J é o recipiente completo do J2EE que roda na Máquina Virtual Java 1.4 e providencia completo suporte para *JSPs*, *Servlets*, *Enterprise Java Beans (EJBs)*, *Web Services* e todos os serviços J2EE.

c) Módulo Web MapViewer

Tradicionalmente os dados geográficos das aplicações SIG têm sido gerenciados em arquivos proprietários e visualizados através de módulos proprietários específicos. O *Oracle Spatial* oferece uma solução aberta para o gerenciamento e visualização dos dados geográficos.

Tal solução, o *Oracle Application Server MapViewer* (ou simplesmente, MapViewer) providencia visualização de dados espaciais e serviços de relatório, e provê um mecanismo genérico, baseado na Web, para processar, navegar e visualizar dados geográficos mapeados pelo Oracle Spatial. O MapViewer vem a ser um serviço de visualização e busca aos dados geo-espaciais.

Escrito puramente em Java e executado em ambiente J2EE, o MapViewer provê aos desenvolvedores de aplicações Web uma maneira versátil de integrar e visualizar dados geo-espaciais através de mapas. O MapViewer usa as capacidades básicas do Oracle 10g para gerenciar o mapeamento de dados geográficos, além de esconder a complexidade de consultas a dados espaciais.

Para o processamento da solicitação de um mapa, a requisição deve informar o nome da fonte de dados, o nome do mapa, a localização do ponto central do mapa, a escala do mapa (tamanho) e o formato para a imagem de resposta (Figura 4.11).

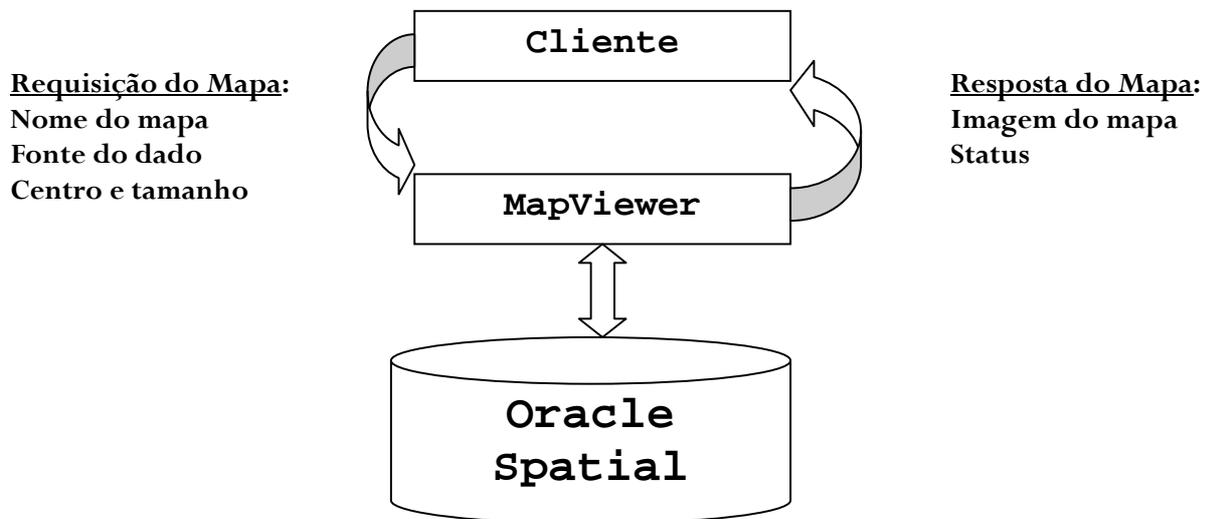


Figura 4.11 - Processamento da solicitação de um mapa pelo MapViewer.

d) Tecnologia Oracle interMedia

Para o tratamento e processamento dos dados não estruturados do projeto (Imagens de Satélite, Fotografias Aéreas, Mapas de Sensibilidade Ambiental e Documentos) foi utilizado o Oracle interMedia. O Oracle interMedia é um recurso do Oracle9i para processar, armazenar e consultar informações em arquivos de imagens, áudio, vídeo e de outros formatos, oferecendo, por exemplo, um ambiente confiável para dados multimídia, que necessitam de alta disponibilidade no contexto da Internet.

No suporte a tais dados complexos, o Oracle interMedia usa seu modelo de dados objeto-relacional para representação dos tipos de objetos: ORDAudio – para dados de Áudio; ORDDoc – para tipos de dados heterogêneos, ORDImage – para dados de imagem e ORDVideo – para dados de Vídeo.

Aplicações Java, utilizando os recursos oferecidos pelos tipos de objetos do Oracle interMedia através do Oracle interMedia Java Classes, podem facilmente ser construídas, disponibilizando sistemas computacionais robustos de tratamento integrado às informações multimídias e aos dados alfanuméricos.

Tal API Java facilitou, na arquitetura J2EE do sistema, o processamento conjunto dos vários tipos de dados armazenados. Assim, Servlets e JSP's do projeto utilizaram objetos ORDDoc no tratamento dos vários tipos de Documentos, e objetos ORDImage para o

processamento das Fotografias Aéreas, Imagens de Satélite e Mapas de Sensibilidade Ambiental.

4.2.3.2. Aspectos de Implementação

O AutoMSA foi desenvolvido no Oracle JDeveloper, da própria Oracle, um ambiente integrado de desenvolvimento para construção de aplicações orientadas a serviços, usando padrões para Java, XML, serviços Web e SQL. Esse *software* suporta o desenvolvimento completo do ciclo de vida da engenharia de *software*, com características integradas como modelagem, codificação, *debug*, teste, entre outros (Oracle 2007a).

A arquitetura de *software* utilizada no AutoMSA possui três camadas, para geração de conteúdo dinâmico na Web. Esta arquitetura caracteriza-se por possuir as seguintes camadas (Souza 2004):

- Camada de Visualização: efetua a interface com usuário, enviando dados ao navegador *Web* padrão. Tem-se nessa camada o envio de código *HTML* e *JavaScript* para um navegador *Web* (camada do usuário), que ao processar tais códigos organiza e controla a interface da aplicação. A camada de visualização possibilita a visualização dos dados, por exemplo, através dos mapas de objetos geográficos, imagens no formato de dados *PNG* embutidas nos arquivos *HTML*, gerados pela camada de controle, bem como disponibiliza o mecanismo de consulta aos mesmos;
- Camada de Controle (decide como a solicitação do cliente deve ser tratada e que informação deve ser retornada): nessa camada aparece o servidor para o protocolo *HTTP* (*container Web OC4J*) com capacidade de executar *Servlets Java* e páginas *JSP*, que permanecem em execução no servidor aguardando por solicitações dos clientes e possuindo a capacidade de atender diversas solicitações simultaneamente. Os *Servlets* e páginas *JSP* interagem, através do uso da “*Java Client APP*”, com o *Oracle9iAS MapViewer* para efetuar a navegação e consulta aos dados geográficos que estão armazenados na camada de recurso (banco de dados no *SGBD* Objeto-relacional *Oracle 9i*);

- Camada de Modelo: camada que acessa, através de componentes de *software* *JavaBeans* (responsáveis pelo acesso à base de dados através do *JDBC*), a camada de recurso para gerenciamento e armazenamento dos dados geográficos.

Essas camadas podem ser visualizadas na Figura 4.12.

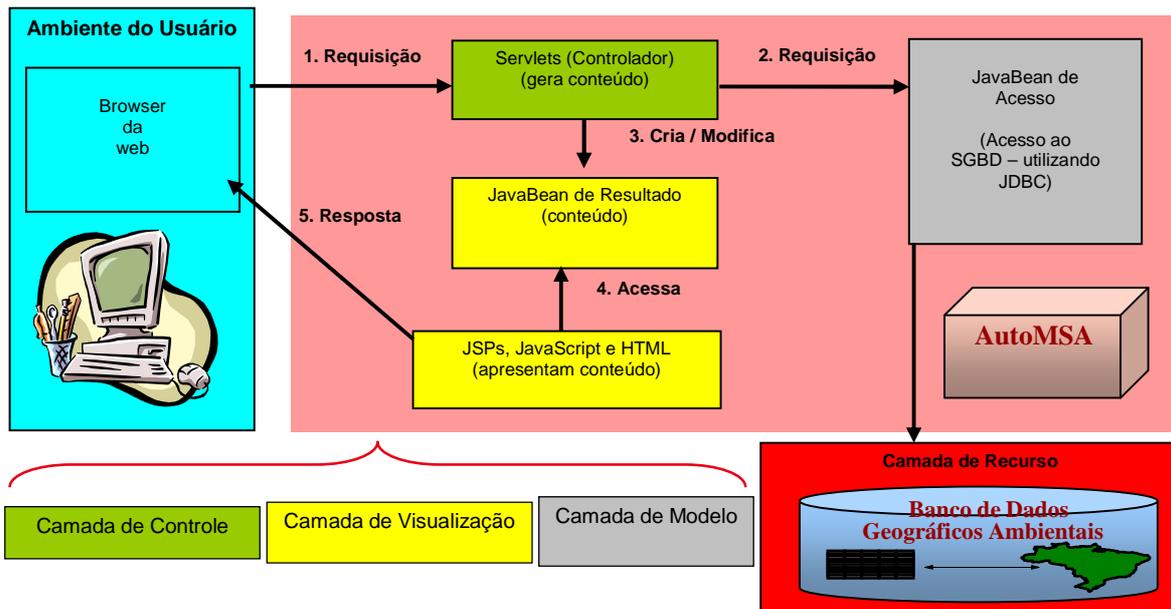


Figura 4.12 - Arquitetura do *AutoMSA* em camadas, mostrando a seqüência de interação dos principais componentes.

Em linhas gerais, o processamento do *AutoMSA* funciona da seguinte maneira: o usuário requisita o serviço via browser, essa requisição é enviada para a camada de controle que decide como a solicitação do usuário deve ser tratada. Nessa camada encontram-se: o container WEB OC4J (Oracle Application Server Containers for J2EE) com capacidade de executar Servlets Java e páginas JSP (Java Server Pages). Estes acessam a base de dados através do JDBC (Java DataBase Connectivity) e interagem com o Oracle9iAS MapViewer através do Java Client API, para efetuar a consulta aos dados geográficos que estão armazenados no SGBD Oracle 9i, juntamente com o pacote Oracle Spatial 9i, que armazena e processa as geometrias e atributos dos dados geográficos. A Figura 4.13 exibe a

representação gráfica desse processamento. A seta tracejada significa quanto uma tecnologia utiliza outra.

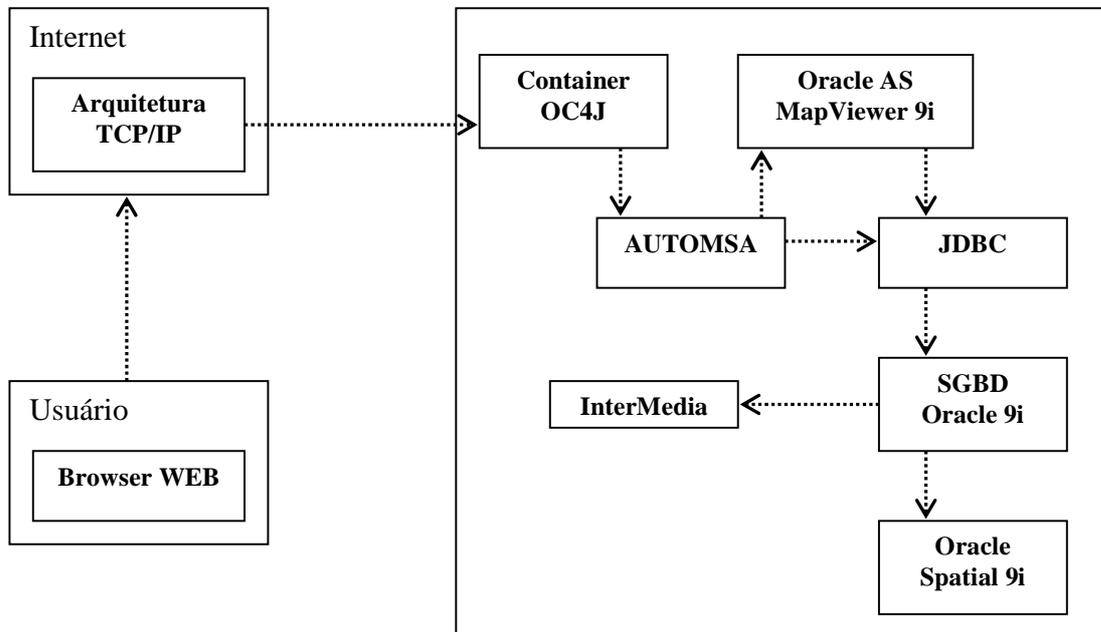


Figura 4.13 - Relacionamento entre as tecnologias existentes. Modificado de Souza (2004).

O AutoMSA se baseia em três informações que estão armazenadas no banco de dados geográficos ambientais do SWIGG. Essas informações são fornecidas pelos usuários através de formulários de entrada: Índice de Sensibilidade do Litoral (*ISL*), Dados Biológicos e Dados Socioeconômicos. O processamento dessas informações segue os seguintes passos:

- Entrada de Dados - Para gerar o *ISL* o usuário deve fornecer os *arquivos shape*⁴ dos segmentos da costa (representado por feições de linha), como também, preencher formulário de entrada contendo informações sobre data, tipo do litoral, biota existente, tipo de substrato (além de penetração do óleo, mobilidade e trafegabilidade), declividade e largura do estirâncio, exposição à energia de ondas e marés, todos eles inseridos no sistema através de formulários de entrada

⁴ Arquivos *shape* (também conhecidos por *shapefiles*) são arquivos que possuem um formato especial para armazenar informações de localização geográfica e atributos de feições geográficas (ponto, linha e polígono). Um *shapefile* é um formato de arquivo usado pelo *ArcView* da ESRI Corporation. Basicamente o formato *shapefile* define as informações das feições geográficas através de três extensões de arquivos: *.shp* – o arquivo que armazena a geometria das feições; *.shx* – o arquivo que armazena o índice da geometria das feições; *.dbf* – o arquivo *dBASE* que armazena os atributos alfanuméricos das feições.

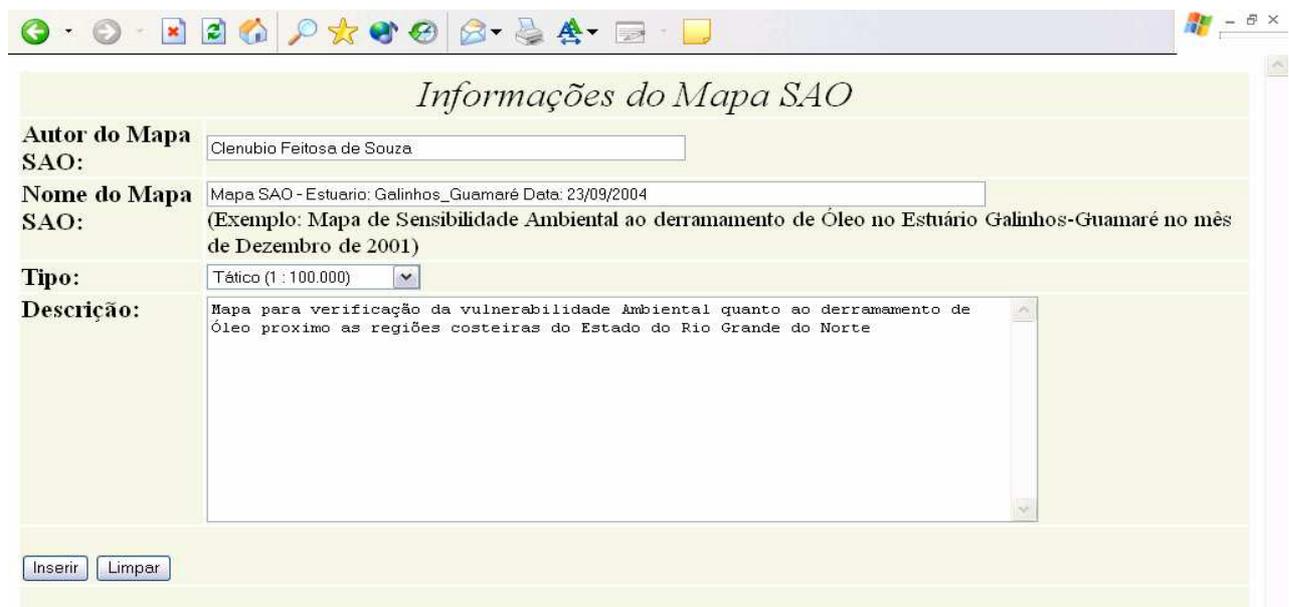
desenvolvidos em HTML, Java e JavaScript. Para gerar os dados biológicos o usuário deve fornecer os *arquivos shape* com os polígonos onde existe biologia e a identificação de quais espécies existem em cada polígono. Na geração dos dados socioeconômicos o usuário deve fornecer *arquivos shape* com os recursos socioeconômicos existentes e informações detalhadas (tipo, descrição, contato, telefone, endereço, fonte de informação e localização). Foram escolhidos arquivos no formato *shape* como dados de entrada porque esse tipo de formato é um dos padrões em ambientes SIG e são de fácil manipulação e visualização.

- Processamento dos Dados - Na geração do *ISL*, o sistema avalia os dados inseridos, principalmente o tipo de litoral de cada segmento. Essa informação é peça-chave na determinação do *ISL*. Definido cada *ISL*, o sistema atribui uma cor para cada um deles, de acordo com a tabela de cores definida em MMA (2002). Na designação dos dados biológicos, para cada polígono de entrada, se houver mais de uma espécie o polígono recebe a cor preta, caso exista uma única espécie o polígono recebe uma cor pré-determinada tomando como base o tipo de espécie. Uma vez que o usuário identifica os animais existentes em cada polígono, cada um deles possui um ícone específico e o *AutoMSA* insere esses ícones representativos dentro do polígono. Assim, todas as áreas com biologia terão os animais existentes representados em forma de ícones. E na sócio-economia, depois das atividades existentes serem inseridas pelo usuário, o *AutoMSA* substitui cada uma delas pelo seu respectivo ícone. Dessa forma, todas essas informações são representadas em forma gráfica pelo sistema;
- Saída de Dados - O *AutoMSA* gera como resultado final um mapa temático digital apresentando: a sensibilidade da área requisitada pelo usuário, através das cores do *ISL* (numa escala de 1 a 10), a biologia existente, com as áreas hachuradas e os ícones das espécies existentes, e a sócio-economia também representada através de ícones.

4.3. VALIDAÇÃO DO SISTEMA COMPUTACIONAL NAS ÁREAS DE ESTUDO

Castro *et al.* (2005a) e Castro *et al.* (2005b) validaram a funcionalidade do AutoMSA utilizando dados da área de Guamaré. As telas a seguir exibem as etapas de entrada, processamento e saída desses dados testados.

A primeira coisa que o usuário deve fazer é inserir algumas informações adicionais sobre o mapa que ele deseja produzir. Dados como autor do mapa, nome do mapa, data, tipo e descrição (Figura 4.14).



Informações do Mapa SAO	
Autor do Mapa SAO:	<input type="text" value="Clenubio Feitosa de Souza"/>
Nome do Mapa SAO:	<input type="text" value="Mapa SAO - Estuario: Galinhos_Guamaré Data: 23/09/2004"/> (Exemplo: Mapa de Sensibilidade Ambiental ao derramamento de Óleo no Estuário Galinhos-Guamaré no mês de Dezembro de 2001)
Tipo:	<input type="text" value="Tático (1 : 100.000)"/>
Descrição:	<input type="text" value="Mapa para verificação da vulnerabilidade Ambiental quanto ao derramamento de Óleo proximo as regiões costeiras do Estado do Rio Grande do Norte"/>
<input type="button" value="Inserir"/> <input type="button" value="Limpar"/>	

Figura 4.14 - Tela para a inserção de informações sobre o Mapa SAO a ser produzido.

Em seguida, o AutoMSA apresenta o mapa do RN e algumas ferramentas usadas na manipulação desse mapa: botões de “zoom”, dados de latitude e longitude, setas nas extremidades que movimentam o mapa, e na entrada de dados, as categorias de ISL, biota e sócio-economia (Figura 4.15).

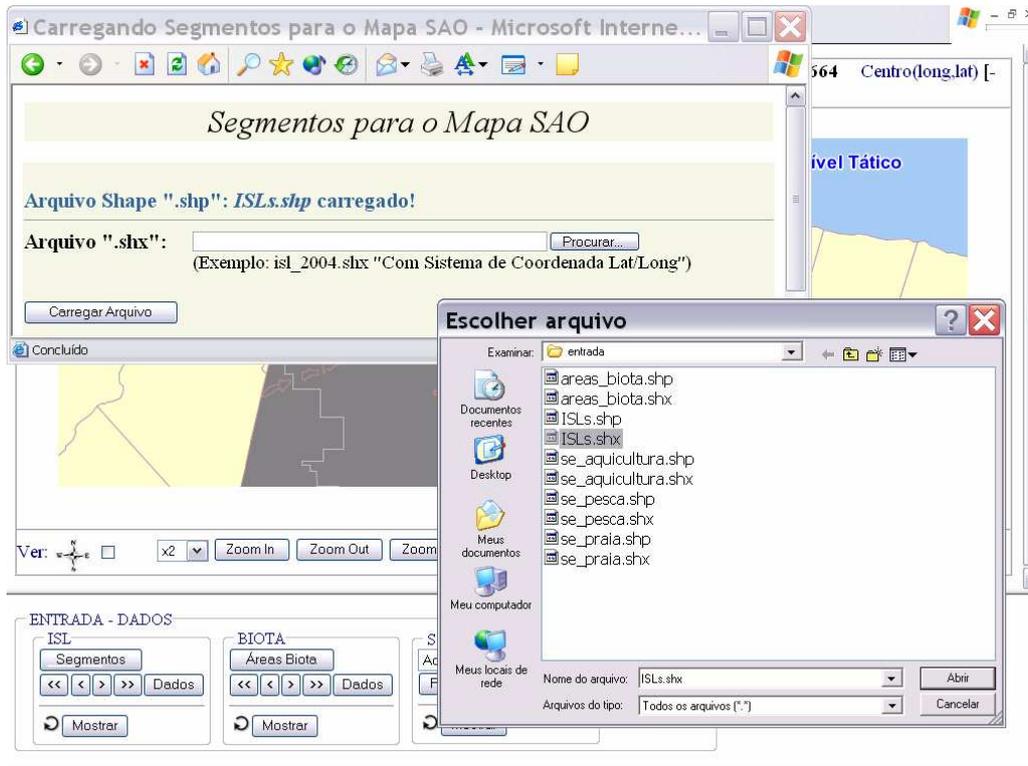


Figura 4.16 – Tela do *AutoMSA on-line*, mostrando a entrada dos arquivos *shape* para o ISL.

Dados do segmento

Nome: RNGN0287 -S

Data - Hora da Inspeção: Data: 8 / 10 / 2005 Hora: 8 : 22 AM

Coordenadas UTM: Datum: SAD 69 Meridiano: 234

Coordenadas do Ponto de Observação: CoordN: 773074 CoordE: 9439591

Início: CoordN: 9437972 CoordE: 773074

Fim: CoordN: 775445 CoordE: 9439591

Extensão: 2100 m

Características Ambientais:

Tipo de Litoral: Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

Biota: Coberto de algas e outros organismos

Substrato:

Tipo: Areia Mobilidade: Baixa

Penetração do Óleo: Altamente permeável (menor ou igual a 100 cm) Trafegabilidade: Baixa trafegabilidade de ve

Faixa Intermaré (Estirâncio): Declividade da Praia: média (entre 5 e 30 graus) Largura: Larga Ondas: Tamanho Médio das Onda

Figura 4.17 - Formulário para inserção de informações dos segmentos de praia.

Em seguida, deve-se informar os dados de biota (biologia) para que estes também possam aparecer no Mapa SAO. Também devem ser fornecidos os arquivos *.shp* e *.shx*. Após o carregamento dos arquivos com as áreas de localização (áreas hachuradas), deve-se inserir informações das espécies biológicas existentes em cada área dessa (Figura 4.18).

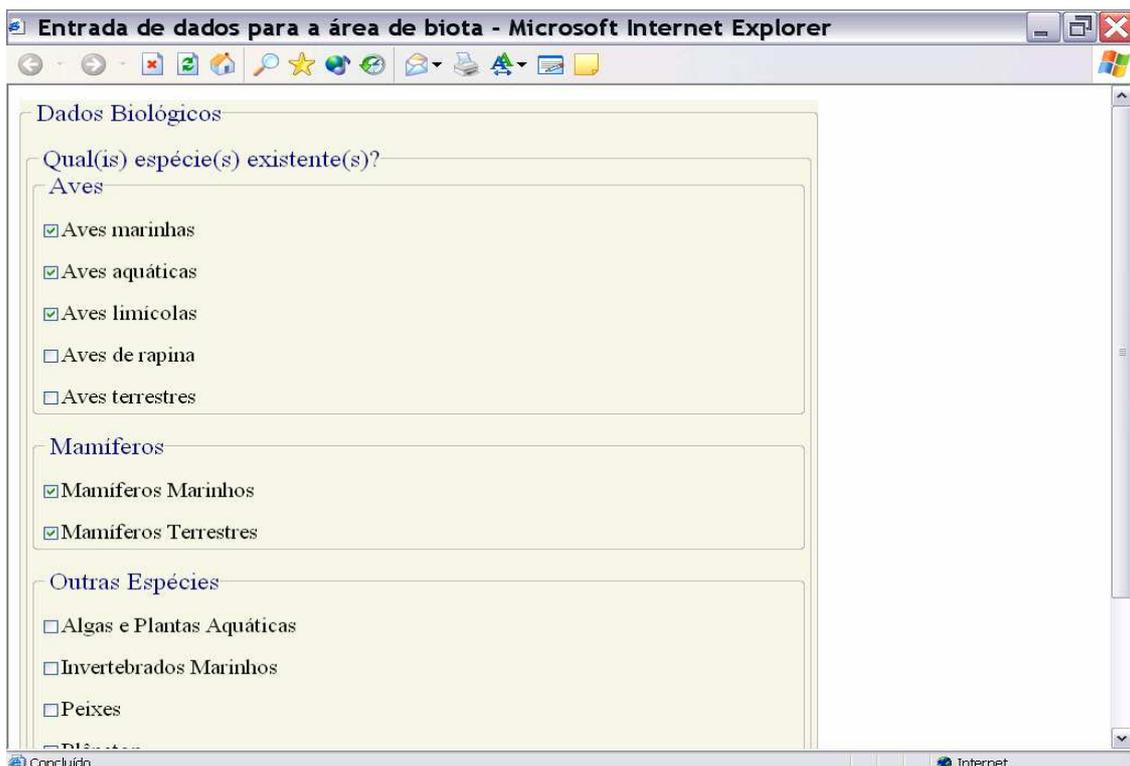


Figura 4.18 - Formulário de inserção de informações sobre as espécies biológicas existentes em cada área hachurada.

Nesse nível, já existe um mapa SAO com representação do ISL e da biologia. Deve-se, agora, inserir os dados da sócio-economia para que o mapa fique completo. Segue-se a mesma lógica de inserir os dois arquivos *shape* essenciais, pois estes serão substituídos, dentro do AutoMSA, por ícones específicos (Figura 4.19). Após inseridas as três informações básicas de qualquer mapa SAO, é gerado um mapa da área com a representação do ISL (através de linhas coloridas nos segmentos de praia), a biologia (com ícones e áreas hachuradas) e sócio-economia (com ícones). Um exemplo de um mapa SAO da área de Guamaré pode ser visto na Figura 4.20.

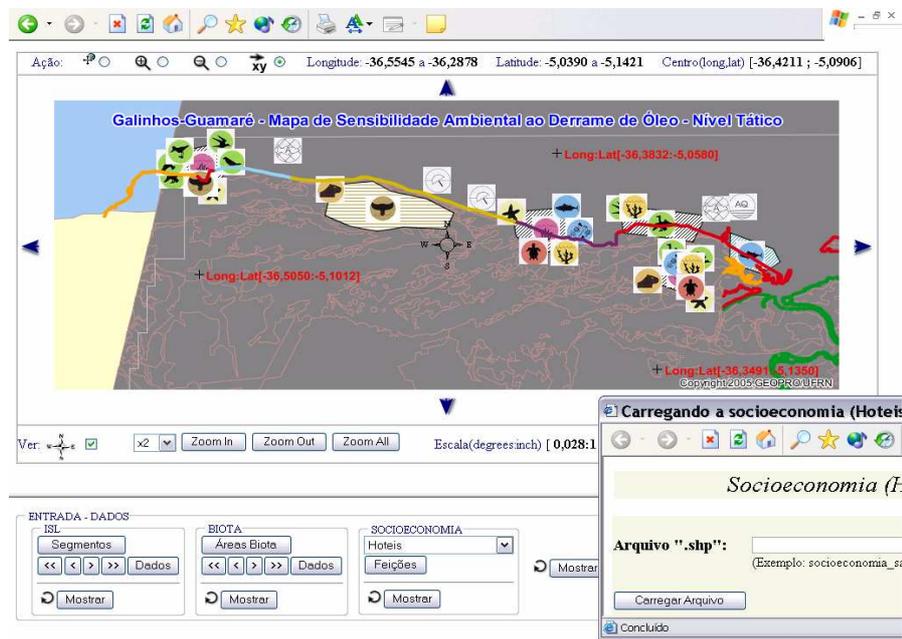


Figura 4.19 – Tela do *AutoMSA on-line*, mostrando ISL e biologia e requisitando a entrada de dados para a sócio-economia.

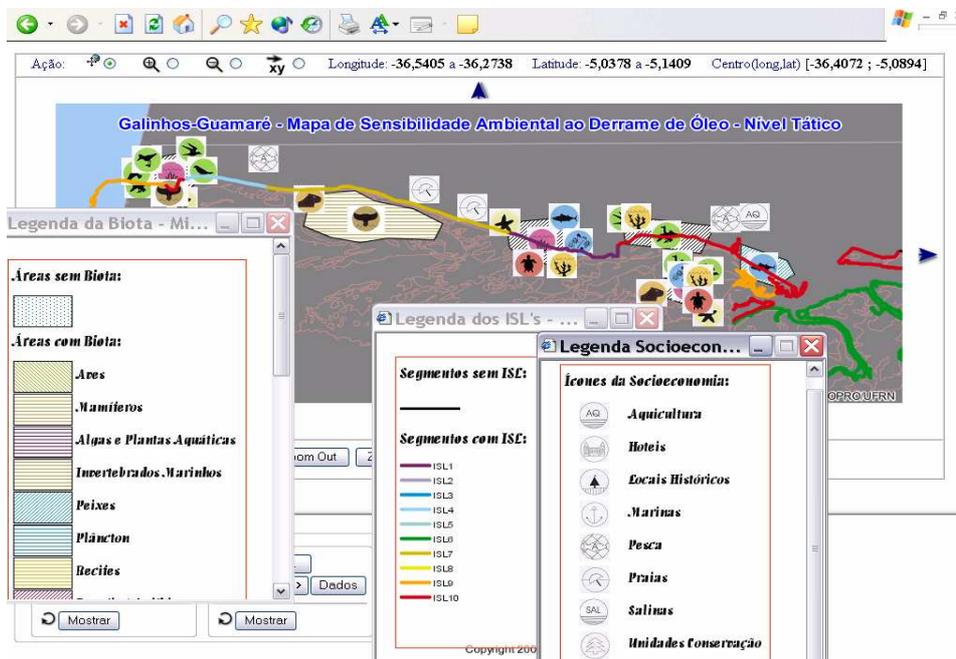


Figura 4.20 - Tela do *AutoMSA on-line*, mostrando a saída de dados (ISL, Biota e Sócio-economia).

5. Sistema Computacional Espaço – Temporal para Tomada de Decisão

5.1. ENGENHARIA DE SOFTWARE E PROJETO DE INTERFACE COM O USUÁRIO

Engenharia de “Software” é o campo das ciências da computação que objetiva o desenvolvimento de sistemas de “software” simples ou complexos por uma pessoa ou por uma equipe de engenheiros. Usualmente, esses programas existem em múltiplas versões e são usados por muitos anos. Durante seu tempo de vida, eles sofrem muitas mudanças – para ajustar defeitos, realçar aspectos, adicionar novas características, remover velhas características ou ser adaptado para rodar em diferentes ambientes.

Para desenvolver qualquer tipo de projeto de “software”, é necessário seguir um “ciclo de vida” composto por diversas fases. Cada uma dessas fases resulta no desenvolvimento de uma parte do sistema ou de algum assunto associado ao sistema, como um plano de teste ou um manual do usuário. No ciclo de vida tradicional, cada fase tem bem definido o ponto inicial e o ponto final, que indica claramente o início da próxima fase. As principais etapas são (Ghezzi et al 1991):

- a) Análise de Requisitos e Especificações: Nesta primeira fase, deve-se identificar e documentar os requerimentos exatos do sistema, além de definir quais são os objetivos finais que o “software” deve atingir.
- b) Desenvolvimento: Definição de como os requisitos serão implementados, qual o paradigma de programação e as ferramentas computacionais que serão utilizados. É o momento de avaliar “qual é o problema e como resolvê-lo”.
- c) Codificação: Implementação do sistema na linguagem de programação escolhida.
- d) Integração e teste do sistema: Tudo o que foi desenvolvido até então deve ser testado individualmente e depois integrado com os outros módulos do sistema.
- e) Manutenção: Uma vez que o sistema encontra-se concluído, testado e instalado;

deve-se realizar uma manutenção periódica a fim de que sejam realizadas modificações, se estas forem realmente necessárias.

Atualmente, umas das grandes preocupações dos desenvolvedores de software, são as interfaces, as telas do sistema que são exibidas e manipuladas pelo usuário. O termo interface é aplicado normalmente àquilo que interliga dois sistemas. Tradicionalmente, considera-se que uma interface homem-máquina é parte de um artefato que permite a um usuário controlar e avaliar o funcionamento deste artefato através de dispositivos sensíveis às suas ações e capazes de estimular sua percepção (Souza et al. 1999). A interface de uma aplicação computacional envolve todos os aspectos de um sistema com o qual se mantém o contato (Moran 1981).

Dessa maneira, a Engenharia de “Software” e a interface Homem-Máquina foram levadas em consideração no desenvolvimento do software no presente trabalho.

5.2.O SISTEMA WEB DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA GESTÃO AMBIENTAL - SWIGG

O sistema computacional SWIGG – Sistema Web de Informação Geográfica para Gestão Ambiental – foi desenvolvido por Souza (2004) nas dependências do Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO/UFRN). Trata-se de um sistema disponível na Web onde é possível acessar os dados geográficos da zona petrolífera de Guamaré/RN, na região do estuário Galinhos – Guamaré, como cumprimento de parte das atividades do Projeto Cooperativo de Pesquisa em “Monitoramento Ambiental de Áreas de Risco a Derramamentos de Petróleo e seus Derivados” (Projeto PETRORISCO, Rede 05-PETROMAR, CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq).

No desenvolvimento do SWIGG foram usadas as mesmas tecnologias usadas no AutoMSA, que deram suporte às consultas espaciais: o sistema gerenciador de banco de dados Oracle 9i, o “container” Web OC4J, o módulo Web MapViewer, o driver JDBC para Oracle e a máquina virtual Java. Todo o código-fonte foi desenvolvido no ambiente JDeveloper.

Mesmo tudo funcionando corretamente, percebeu-se que o SGBD Oracle se trata de uma plataforma pesada, de suporte empresarial. A manutenção do Oracle e, conseqüentemente do SWIGG e do AutoMSA, tornou-se complicada e com a necessidade de mão-de-obra especializada. Dessa maneira, optou-se por realizar uma reengenharia no SWIGG de forma a adaptá-lo para uma plataforma computacional mais leve, que utilizasse uma linguagem de consulta mais simples. Também optou-se pelo uso de “software” livres, visto que em determinados casos, para se usar o Oracle - um “software” proprietário - é necessário comprar licenças.

Sendo assim, foi escolhido o sistema de “software” livre POSTGRESQL, que se trata de um SGBD mais leve, com mais facilidade de aprendizagem, manipulação e manutenção

Essa reengenharia, a utilização de novas tecnologias e a inserção de algo totalmente novo - a possibilidade de se realizar consultas espaço-temporais; deu origem ao Sistema Web Espaço-Temporal (SWeET) - um dos principais objetivos desta Tese. Esse sistema tem como base um Banco de Dados Espaço – Temporais e um aplicativo de acesso a esse banco, onde as consultas realizadas fornecem apoio à tomada de decisões. Trata-se de um sistema computacional de apoio à decisão, baseado numa rica e confiável base de dados.

5.3. MODELAGEM CONCEITUAL DO BANCO DE DADOS USANDO O FRAMEWORK GEOFRAME-T

Pelo fato de se tratar de um Banco de Dados Espaço-Temporal, onde são importantes tanto as informações espaciais quanto as temporais, o modelo conceitual escolhido nesse trabalho foi o framework GeoFrame-T desenvolvido por Rocha (2001).

Os dados escolhidos de cada área de estudo para serem inseridos nesse BDET foram:

- a) Área de estudo de São Bento de Norte: dados de evolução de dunas, dados hidrodinâmicos e dados sobre ventos. Todos eles coletados e medidos por Tabosa (2002) e Tabosa (2006). Na área de sensoriamento remoto, algumas imagens de satélite foram armazenadas.

- b) Área de estudo de Galinhos: dados hidrodinâmicos, dados meteorológicos, algumas fotografias da área, mapas temáticos de geologia e geomorfologia. Estes coletados e registrados por Lima (2004).
- c) Área de estudo de Guamaré: mapas temáticos de uso do solo variando temporalmente ao longo dos anos, mapas de geologia, geomorfologia e vulnerabilidade ambiental; além de plataformas petrolíferas existentes em Guamaré. Dados obtidos por Grigio 2003.
- d) Área de estudo Macau: Basicamente mapas temáticos, tais como: geologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo, vulnerabilidade ambiental e natural, vegetação e variação da linha de costa. Toda essa informação coletada e tratada por Souto (2004) durante seu curso de Mestrado por Chaves (2005) durante o seu Doutorado.

Dessa maneira, todos os dados listados acima foram modelados no formato do GeoFrame-T.

Foi criada uma tabela-principal com informações de todas as outras tabelas existentes no banco. Essa tabela serviu pra gerenciar as demais (Tabela 5.1).

Tabela 5.1. Tabela-principal do SWeET

Tabela Principal
ID: NUMBER PRIMARY KEY
Regiao: VARCHAR
Tipo_dado: VARCHAR
Data: DATE
Descricao: VARCHAR
Nome_link: VARCHAR
Formato_dado: VARCHAR
Consulta_et: VARCHAR

A partir dela, é possível acessar os dados de cada estuário, nas suas respectivas datas, com uma breve descrição e o “link” para a tabela requisitada. Por exemplo, suponha-se que se queira acessar os dados de geologia da área de Guamaré. O primeiro acesso será via tabela-principal que tem os seguintes dados:

ID: 3
Região: "Galinhos"
Tipo_Dado: "Geologia"
Data: "2001-10-06"
Descrição: "Mapa de geologia da área de Galinhos"
Nome_link: "galinhos_geologia"
Formato_dado: "Multipolygon"
Consulta_et: 0

O nome_link acessa a tabela “galinhos_geologia”, o formato_dado informa como esse dado se apresenta, nesse caso, em forma de Multipolygon e a consulta_et exibe que não existe uma consulta espaço-temporal.

As Figuras de 5.1. a 5.5 exibem o modelo conceitual completo do banco de dados.

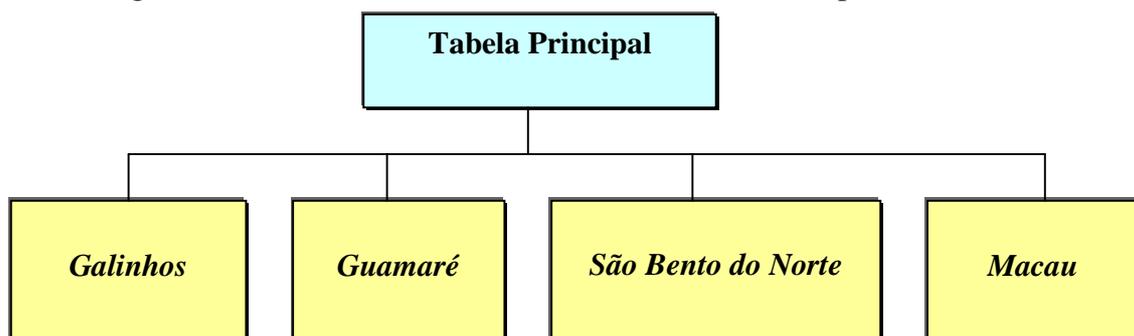


Figura 5.1 - Início da modelagem conceitual, onde a Tabela Principal armazena e gerencia os dados-chaves das tabelas dos municípios.

Após essa etapa, foram detalhados os dados de cada município que seriam inseridos nessa primeira versão do banco. Para a área de Galinhos, foram selecionados dados de Sensoriamento Remoto (as fotografias aéreas), Dados Meteorológicos (ventos), Dados Hidrodinâmicos (ondas e correntes) e Mapas Temáticos (geologia e geomorfologia), conforme detalhamento mostrado na Figura 5.2. Pode-se perceber que, através dos esteriótipos do GeoFrame e do GeoFrame-T, é possível saber como o dado será armazenado – por exemplo, a categoria *Fotografias* será no formato “raster” por causa do esteriótipo  e os mapas temáticos *Geologia* e *Geomorfologia* serão armazenados em formato vetorial,

como polígonos adjacentes. Essa informação é conhecida por causa do esteriótipo  do GeoFrame. O esteriótipo  - esse já oriundo do GeoFrame-T – demonstra que os dados são válidos na realidade modelada, ou seja, eles foram verdadeiros no momento em que foram coletados e/ou medidos. Por exemplo, se um dado tem o esteriótipo temporal acima e no campo data, existe a informação “15-10-2004”, isso quer dizer que ele era verdadeiro exatamente naquele dia 15-10-2004.

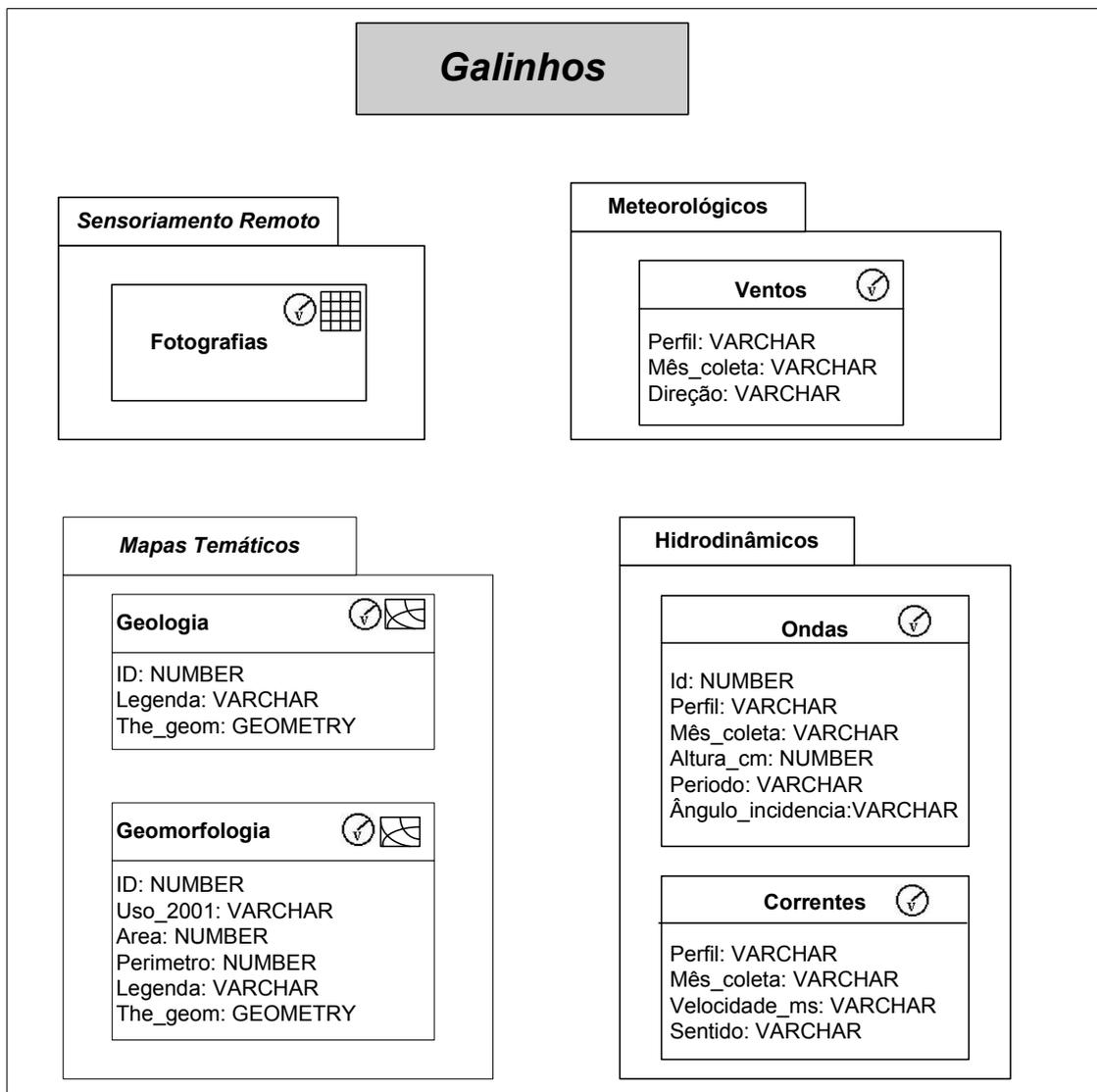


Figura 5.2 - Modelagem conceitual da área de Galinhos, utilizando o GeoFrame-T.

A segunda área foi a de São Bento do Norte. Esta área possui dados semelhantes aos de Galinhos, logo a modelagem espaço-temporal dos dados foi relativamente parecida

(Figura 5.3). Na categoria Sensoriamento Remoto, são armazenadas as imagens de satélite dessa região e acrescentou-se a categoria *Dados de Dunas*. Não foram armazenados Mapas Temáticos dessa área.

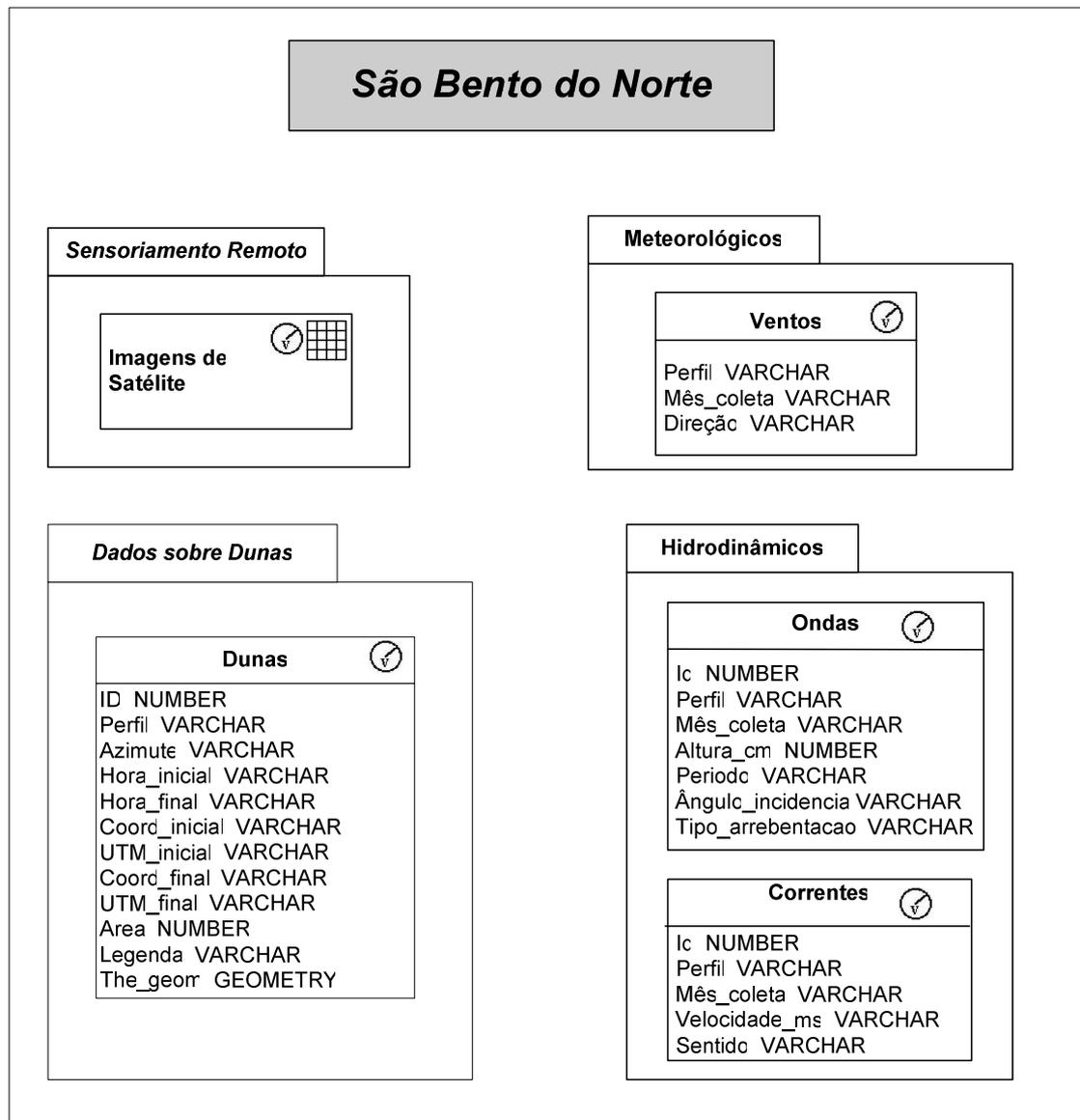


Figura 5.3 - Modelagem conceitual da área de São Bento do Norte.

Seguiu-se a modelagem com a cidade de Guamaré. Essa de suma importância devido à presença do Pólo Petrolífero de Guamaré, maior produtor terrestre de petróleo no Brasil. Os dados de Guamaré são basicamente Mapas Temáticos, confeccionados após

viagens e trabalhos de campo. Todos os mapas são dados vetoriais e também válidos no instante da coleta (Figura 5.4).

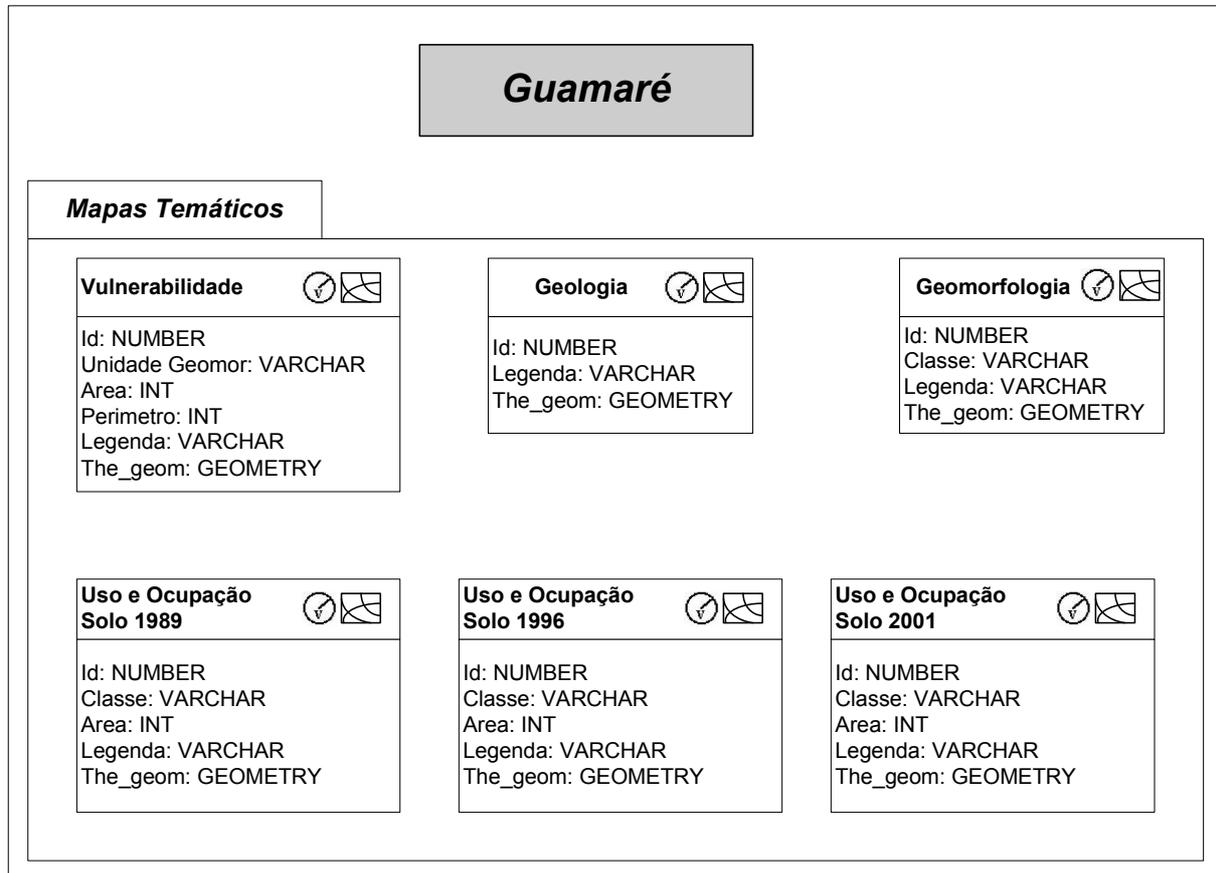


Figura 5.4 - Modelagem conceitual da área de Guamaré.

Por fim, a área de Macau que também se caracteriza pela grande quantidade de mapas temáticos. Os dados de Macau e Guamaré são bem similares (Figura 5.5).

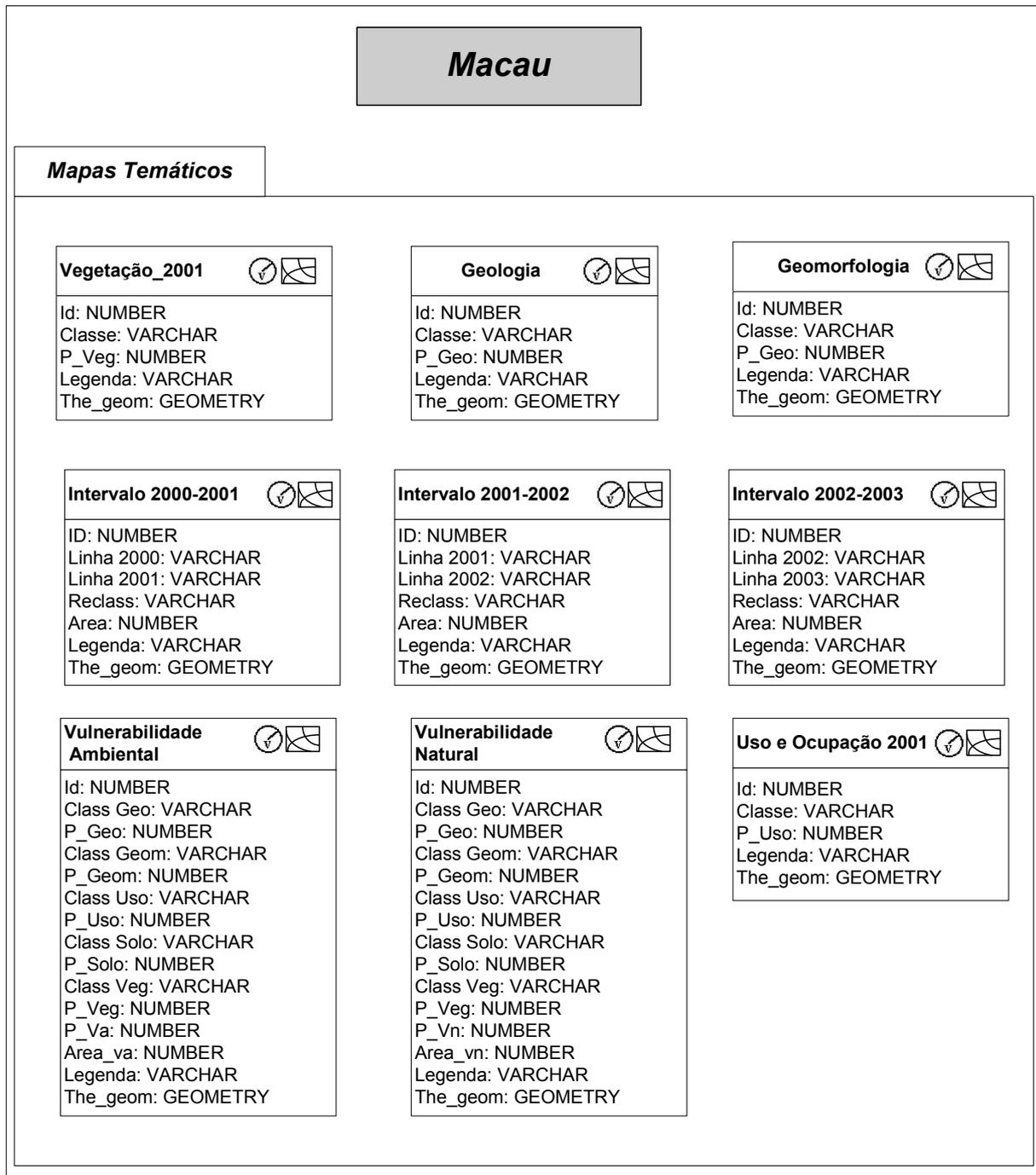


Figura 5.5 - Modelagem conceitual da área de Macau.

5.4. MODELO LÓGICO DO BDET

No Capítulo 2 foi discutido que é no modelo lógico que se define *como* os dados serão armazenados no BD. Por se tratar de um BDET, é necessário definir os tipos

alternativos de armazenamento de dados. Além das convencionais tabelas que armazenam dados textuais, deve haver uma preocupação em armazenar dados geográficos (vetoriais do tipo pontos, linhas, polígonos ou raster) e também os dados temporais. Estes podem ser armazenados nas tabelas em forma de texto, desde que existam atributos específicos para tratar desse fator *tempo*.

O banco de dados utilizado nesse trabalho foi o POSTGRESQL e sua extensão espacial POSTGIS. Essas ferramentas permitem armazenar os atributos alfanuméricos e a representação geométrica como colunas de uma mesma tabela, visto que o POSTGIS permite esse tipo de armazenamento. Logo, essa transformação conceitual-lógica pode ser analisada abaixo:

5.4.1. Transformação Conceitual – Lógica dos Mapas Temáticos

Todos os mapas temáticos foram armazenados da mesma maneira: as devidas colunas com dados coletados e a última coluna é a *the_geom* que armazena a representação geométrica da informação (Tabela 5.2).

Tabela 5.2. Forma de armazenamento de dados no sistemas POSTGRESQL/POSTGIS.

<i>Coluna1</i>	<i>Coluna2</i>	<i>Coluna3</i>	<i>Coluna4</i>	<i>The_geom</i>
Atributos	Atributos	Atributos	Atributos	Coordenadas da informação espacial

O tipo de dado da coluna *the_geom* também é textual, só que se refere às coordenadas do “layer”. Por exemplo, em um mapa temático de vegetação, o layer que se refere à vegetação rala pode ter a seguinte informação: “010600000001000000010300000001000000860100002A9C5E2E88A72841CA68DF”.

Isso é o que é armazenado na tabela do POSTGIS, mas na visualização, é possível ver a representação geográfica dessa vegetação rala (Figura 5.6).

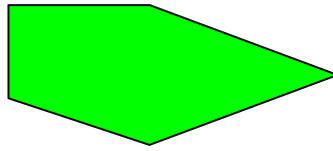


Figura 5.6 - Visualização espacial da vegetação rala.

Logo, transformando o modelo conceitual em lógico, chega-se a Figura 5.7:

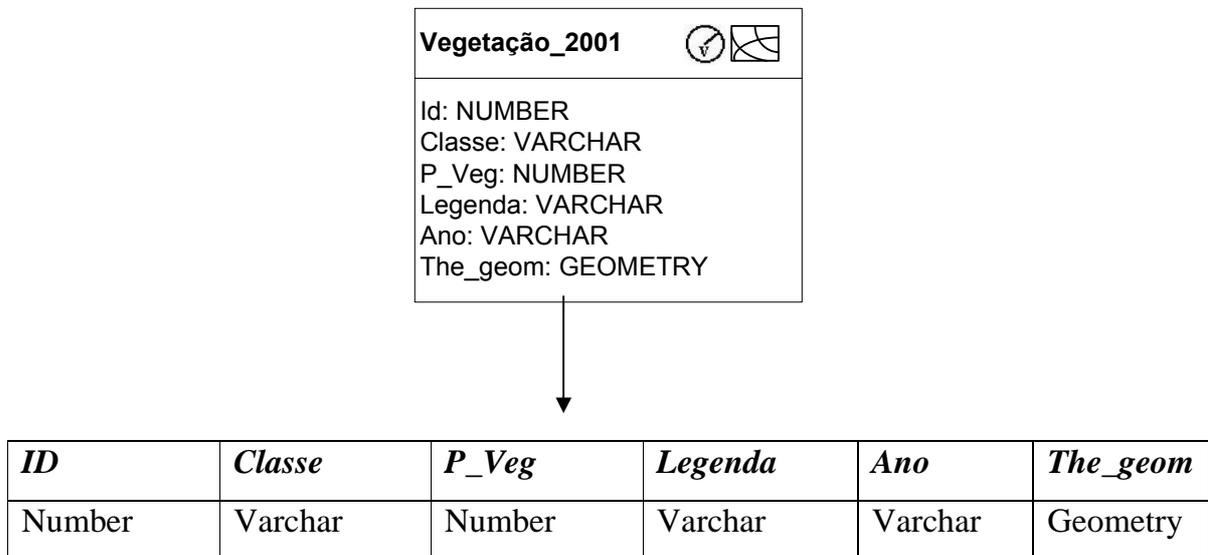


Figura 5.7 - Transformação Conceitual-Lógica do mapa temático Vegetação_2001.

Sendo assim, todos os mapas temáticos do referido banco foram modelados da mesma maneira.

5.4.2. Transformação Conceitual – Lógica dos dados de Sensoriamento Remoto

As imagens de satélite e as fotografias das áreas de estudo são armazenadas em forma de arquivos e acessadas na tabela através de *links*. Todos esses arquivos devem ser guardados em um único diretório do servidor Apache, por exemplo: *C:\ms4w\Apache\htdocs\tese\fotos*; e é justamente essa informação que deve ser inserida na tabela, na coluna “link” para que as imagens sejam devidamente relacionadas com as tabelas do banco.

Tome como exemplo *Imagens de Satélite* da área de estudo de São Bento do Norte. Ao modelar logicamente, a estrutura fica da seguinte maneira (Figura 5.8):

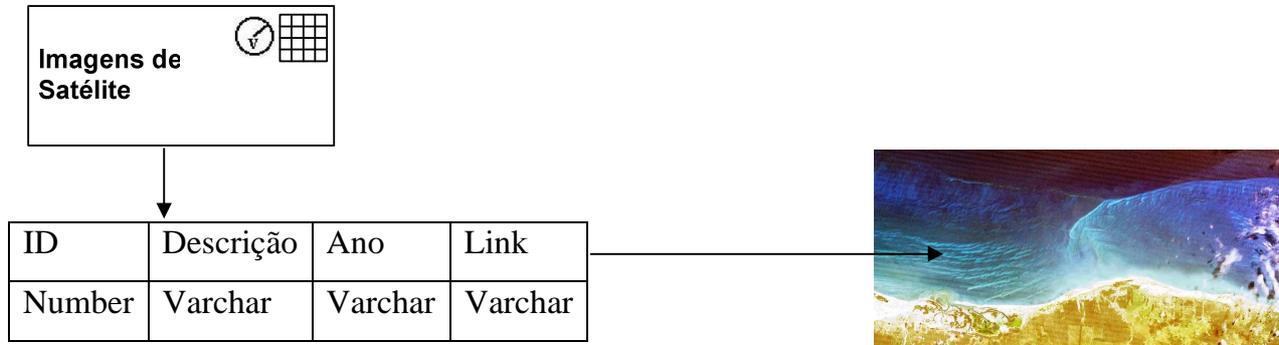


Figura 5.8 - Transformação Conceitual-Lógica dos dados de Sensoriamento Remoto

As fotografias foram estruturadas de maneira análoga.

5.4.3. Transformação Conceitual – Lógica dos dados sem representação espacial

Dados como ondas, ventos, correntes e dunas não apresentam representação espacial. Sendo assim, eles são inseridos no banco de dados somente como forma de tabelas, onde todos os seus campos são textuais, sem nenhuma representação vetorial (como no caso dos mapas temáticos) ou “link” para um dado no formato “raster” (como as fotografias e imagens de satélite).

Dessa forma, os atributos descritos no modelo conceitual são exatamente transcritos para o modelo lógico em forma de uma tabela normal (Figura 5.9).

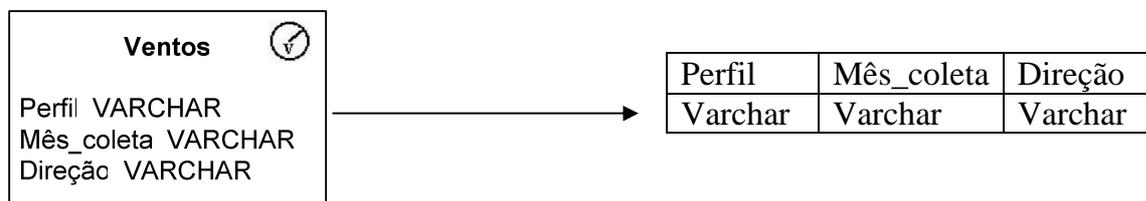


Figura 5.9 - Transformação Conceitual-Lógica dos dados sem representação espacial.

5.5. MODELO FÍSICO - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Após os modelos conceitual e lógico finalizados, é necessário realizar o modelo físico, que se trata da implementação propriamente dita do sistema.

As tecnologias utilizadas no desenvolvimento desse sistema são “software” livres. Os “software” livres são programas de computador que oferecem ao usuário a liberdade de executar, copiar, estudar, distribuir e aperfeiçoar o “software” (FSFeurope 2002). Atualmente existem vários tipos de “software” livres para fins específicos. Entre eles estão bancos de dados, servidores de mapas para internet, bancos de dados geográficos, linguagens de programação, sistemas operacionais, entre outros.

Para atingir o objetivo de readaptar o SWIGG e desenvolver um Banco de Dados Espaço-Temporal no presente trabalho, as tecnologias usadas auxiliaram no desenvolvimento, manipulação e consulta do banco de dados:

5.5.1. Tecnologias Utilizadas

a) Sistema Gerenciador de Banco de Dados POSTGRESQL e sua extensão POSTGIS

O PostgreSQL é um sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional (SGBDOR), com código fonte aberto, com suporte ao padrão SQL, além de oferecer muitas funcionalidades modernas, como: comandos complexos, chaves estrangeiras, gatilhos, visões, integridade transacional e controle de simultaneidade multiversão

Devido à sua licença liberal, o PostgreSQL pode ser utilizado, modificado e distribuído por qualquer pessoa para qualquer finalidade, seja privada, comercial ou acadêmica, livre de encargos. Atualmente, é comparável à SGBDs comerciais em termos de características, desempenho e confiança. Apoiar um número grande de vias de programação, como ODBC, Java (JDBC), TCL/TK, PHP, Perl e Python, entre outros. POSTGRESQL continua avançando via Internet, graças a um grupo de desenvolvedores espalhados pelo globo (PostgreSQL Global Development Group 2005).

O POSTGIS é uma extensão espacial do POSTGRESQL. Pode ser definido como um

banco de dados geográficos que armazena os dados espaciais, estando integrado com o POSTGRESQL. Sua arquitetura é compatível com a especificação do OGC (Open GIS Consortium) - um grupo que define uma arquitetura padrão para construir Sistemas de Informações Geográficas (Buehler & Mckee 1998).

No POSTGIS se inclui (POSTGIS 2002):

- Tipos de Geometria para pontos, linhas, polígonos, multipontos, multilinhas, multipolígonos e coleção de geometrias;
- Operadores espaciais para determinar medições geo-espaciais, como área, distância, tamanho e perímetro;
- Operadores espaciais para determinar conjuntos de operações geo-espaciais, como união, diferença, diferença simétrica e “buffers”;

Sendo assim, o POSTGIS consegue suprir todas as necessidades quando se pretende realizar operações espaciais com dados geográficos.

b) Servidor Apache

Ao acessar qualquer “site”, há um servidor por trás daquele endereço responsável por disponibilizar as páginas e todos os demais recursos que se pode acessar. Assim, quando se envia um “e-mail” através de um formulário, quando se coloca uma mensagem em um fórum de discussão ou se faz uma compra “on-line”, um servidor Web (ou um conjunto de servidores) é responsável por processar todas essas informações.

Um servidor Web é um programa que processa solicitações HTTP (Hyper-Text Transfer Protocol), o protocolo padrão da Web. Quando se usa um navegador (browser) para acessar um “site”, este faz as solicitações devidas ao servidor Web através de mensagens HTTP e então recebe o conteúdo correspondente. No caso do Apache, ele não só executa o HTTP, como outros protocolos, tais como o HTTPS (O HTTP combinado com a camada de segurança SSL - Secure Socket Layer), o FTP (File Transfer Protocol), entre outros.

O servidor Apache é capaz de executar código em PHP, Perl, Shell Script e ASP. Sua utilização mais conhecida é a que combina o Apache com a linguagem PHP e o banco de dados MySQL (Alecrim 2006).

c) Linguagem de Programação PHP

PHP, atualmente, é a sigla para Hypertext Preprocessor, mas originalmente significou Personal Home Page. Trata-se de uma linguagem de fácil aprendizado, pois permite a conexão direta com uma grande quantidade de bancos de dados relacionais, enquanto outras ferramentas precisam de “drivers” ODBC para realizar a mesma tarefa. Entre os bancos de dados com conexão direta pode-se citar: Oracle, Sybase, Informix, Postgresql, MySQL, mSQL, entre outros. Para outros bancos de dados, o PHP disponibiliza acesso via ODBC.

A linguagem PHP, a grosso modo, é uma combinação de linguagem de programação e servidor de aplicações. É possível programar em PHP como em qualquer outra linguagem, definindo variáveis, criando funções, realizando loops, entre outros métodos usados no mundo da programação. O PHP consome poucos recursos do servidor, permitindo que programas complexos sejam desenvolvidos, sem que isto implique em grande demora na sua execução. Além disso, o PHP pode criar imagens dinamicamente e enviá-las ao “browser” do usuário.

d) Visualizador MAPSERVER

MapServer é um “software” livre de desenvolvimento de código aberto para construção de aplicativos espaciais na Internet. MapServer não é considerado um SIG, mas se sobressai na apresentação de dados espaciais (mapas, imagens e dados vetoriais) na Web. Além de permitir visualizar dados de SIGs, o MapServer permite que sejam criadas imagens de mapas geográficos, mapas que podem direcionar usuários a outros conteúdos.

O MapServer pode ser utilizado basicamente de três modos (WebMapIt 2007):

CGI

Quando se utiliza o MapServer em modo CGI, o seu arquivo executável deve ser colocado no diretório apropriado do servidor Web. Este executável irá receber parâmetros de inicialização da aplicação webmapping, processar as requisições solicitadas e retornar ao aplicativo cliente (navegador) o resultado esperado (imagens do mapa, legenda, barra de escala, mapa de referência, ou mesmo códigos HTML).

MapScript

O MapScript é a disponibilização dos recursos do MapServer para linguagens de programação. Dessa forma, pode-se combinar os recursos do MapServer com recursos da linguagem de programação preferida, visando a criação de aplicações com um grau de customização maior, eventualmente não atingido com aplicações do MapServer em modo CGI. O MapServer MapScript está disponível para as seguintes linguagens de programação: PHP, Python, Perl, Ruby, TCL, Java e C++.

WebServices

O MapServer implementa algumas especificações do Open Geospatial Consortium, que permitem o desenvolvimento de aplicações que fazem o MapServer operar como um serviço de mapas via Web. Dessa forma, pode-se utilizar o MapServer para disponibilizar dados via Web que serão acessados através de aplicações “desktop” como ArcView, ArcExplorer, ArcGIS, Quantum GIS, JUMP, uDig ou mesmo por aplicações Web.

No presente trabalho, a forma utilizada foi o modo de exibição PHP/ MapScript.

e) Exibição PHP / MAPSCRIPT

Uma das características mais interessantes do MapServer é a possibilidade de poder utilizar sua API em linguagens de programação. Na prática, isso quer dizer que é possível expandir a quantidade de recursos de sua aplicação, misturando recursos do MapServer com recursos da linguagem de programação escolhida.

Tudo se inicia na Web. Um “browser” requisita um recurso, um dos campos desse recurso é a URL através do HTTP. A requisição chega ao servidor Web, que retorna um arquivo ou executa um programa e devolve a resposta ao “browser”.

No caso do MapScript, o usuário executa um determinado “script”, que contenha a funcionalidade da linguagem padrão, isto é, a mesma funcionalidade que se teria com a linguagem sem o uso do MapScript, mais o acesso às funções do MapServer. Estas funções, expostas em uma linguagem de “script” através do módulo MapScript, permitem que se realizem muitas operações com dados espaciais, incluindo o acesso de leitura/gravação aos “shapefiles”, a reprojeção dos dados, dentre outros.

f) Linguagem de Consulta SQL e SQL Spatial

As linguagens de banco de dados consistem na interface do usuário para interagir com o SGBD. A linguagem SQL (Structured Query Language) é adotada pela maioria dos SGBD's, relacionais ou objeto-relacionais. Ela fornece funções de recuperação e atualização de dados, além de criação, manutenção da estrutura de dados e controle do ambiente do BD.

A linguagem Spatial SQL, desenvolvida por Egenhofer (1994), representa um exemplo de linguagem de consulta espacial baseada em SQL. Spatial SQL divide-se em duas sub-linguagens, uma para consulta e outra para apresentação de objetos espaciais, buscando aproximar-se da forma como os seres humanos conceitualizam o espaço geográfico. A sub-linguagem de consulta estende o SQL com operadores e relacionamentos espaciais. Distingue-se de outras extensões por preservar os conceitos de SQL e por conseguir um tratamento de alto nível dos objetos espaciais.

Alguns exemplos de operações disponíveis no Spatial SQL são:

- Operadores unários: fornecem, por exemplo, dados de limite, interior, comprimento, área e volume de objetos.
- Operadores binários: fornecem, por exemplo, distância e direção

- Funções de agregação: operam sobre conjuntos de objetos, como as funções de mínimo e média.

Logo, as expressões em SQL Spatial determinam os relacionamentos espaciais (como distância e adjacência) e operações espaciais (área, tamanho, intersecção, união e “buffer”). A Figura 5.10 mostra exemplos de duas operações espaciais (união e intersecção) entre dois objetos geográficos.

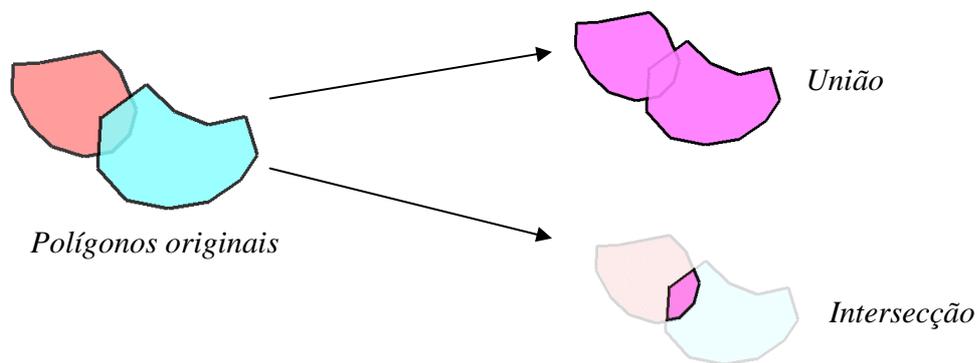


Figura 5.10 - Exemplo de operações espaciais com objetos geográficos.

5.5.2. Aspectos de Implementação

Sendo assim, com a unificação e a interoperabilidade de todas essas tecnologias citadas anteriormente, foi possível desenvolver o SWeET. O banco de dados foi desenvolvido no PostgreSQL utilizando também sua extensão espacial PostGis. Os dados inseridos e as consultas realizadas foram feitos usando comandos SQL e SQL Spatial. Para visualizar os dados geográficos armazenados no banco, utilizou-se o MapServer e como o objetivo sempre foi disponibilizar na Web, usou-se o servidor Apache. Toda a programação envolvida, que vai desde a inserção dos dados no banco até a visualização por parte do usuário, foi feita em SQL, SQL Spatial, PHP e MapScript.

Um esboço generalizado do funcionamento desse sistema pode ser visualizado na Figura 5.11.

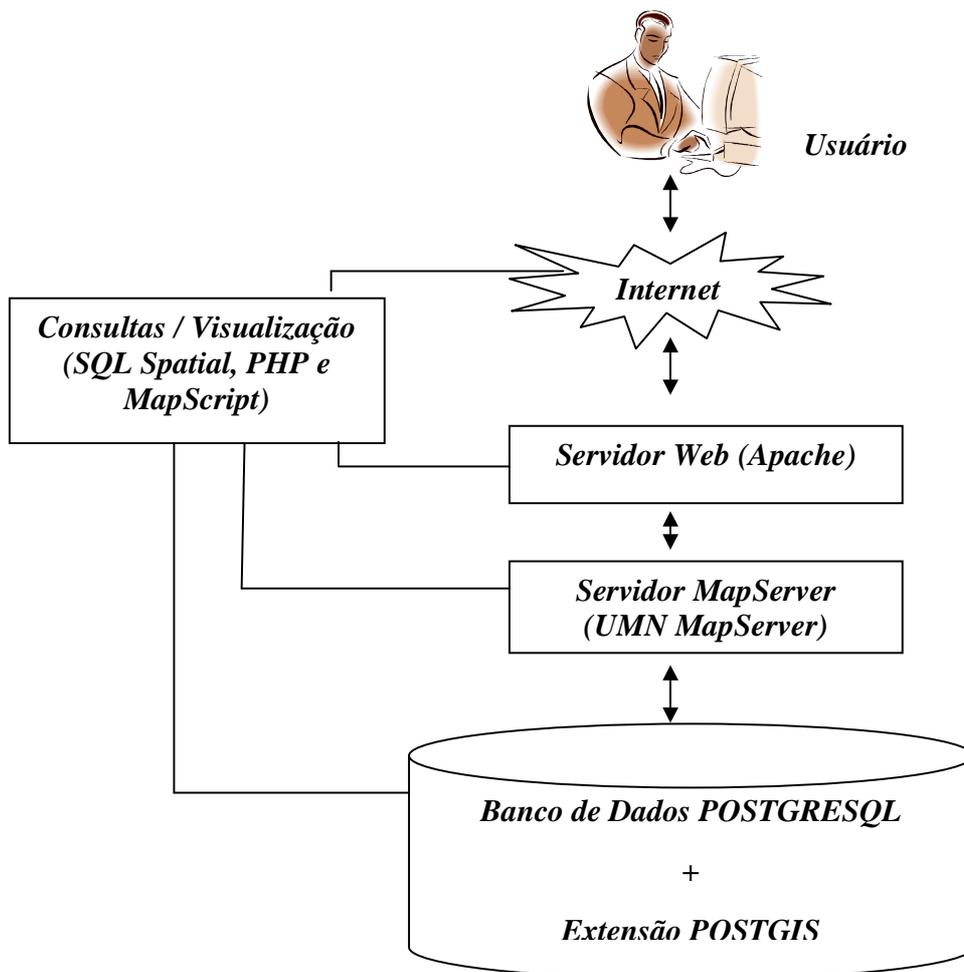


Figura 5.11 - Arquitetura do SweET.

O primeiro passo na implementação desse sistema foi inserir os dados escolhidos de cada área de estudo no banco de dados POSTGRESQL, utilizando também sua extensão espacial POSTGIS.

Os dados meteorológicos (ventos), hidrodinâmicos (ondas e correntes) e de dunas foram armazenados em forma de tabelas textuais, somente com campos alfanuméricos, sem nenhuma representação espacial. Para inserir essa espécie de informação no POSTGRESQL, usaram-se comandos SQL normais de criação e inserção de dados, como ocorre em qualquer banco de dados convencional. O “software” utilizado para inserção e manipulação dos dados desse BD foi o pgAdmin III, desenvolvido pela *pgAdmin Development Team*. Sendo assim, para criar a tabela de *correntes litorâneas* de Galinhos, foram usados comandos SQL dentro desse “software”. A criação de tabela em SQL é feita da seguinte maneira:

```
create table galinhos_correntes (  
  perfil varchar(6),  
  mes_coleta varchar (20),  
  velocidade_ms varchar(10),  
  sentido varchar(7))
```

Uma tabela chamada *galinhos_correntes* foi criada e seus campos são: *perfil*, *mês_coleta*, *velocidade_ms* e *sentido*. Para preencher essa tabela, também foram usados comandos SQL, onde se informa qual o nome da tabela que se deseja manipular, em quais campos se deseja inserir dados e o valores atribuídos para cada campo.

A tabela *galinhos_correntes* e todas as outras tabelas do banco de dados foram preenchidas usando o comando *insert* da linguagem SQL. Esse comando tem a seguinte sintaxe:

```
insert      into      <nome_tabela>      (<campos_tabela>)      values  
(<valores_que_serao_inseridos>);
```

Sendo assim, foram usados vários comandos *insert* para preencher as tabelas desse banco de dados. Exemplos de como o *insert* foi usado na tabela *galinhos_correntes* podem ser visualizados abaixo:

```
insert into galinhos_correntes (perfil, mes_coleta, velocidade_ms, sentido) values ('Perfil',  
  'Mes de Coleta', 'Velocidade', 'Sentido');
```

```
insert into galinhos_correntes (perfil, mes_coleta, velocidade_ms, sentido) values ('A/B',  
  'Junho/2000', 0.24, '223°');
```

```
insert into galinhos_correntes (perfil, mes_coleta, velocidade_ms, sentido) values ('A/B',  
  'Julho/2000', 0.37, '280°');
```

E assim sucessivamente.

Os dados referentes às Imagens de Satélite e Fotografias Aéreas foram tratados como arquivos e armazenados em locais que possam ser acessados pelo SWeET. Sendo assim, sempre que o usuário requisitar a visualização de uma fotografia e/ou de uma imagem, o

próprio sistema exibirá o que foi requisitado. Para que isso ocorra, foram criadas tabelas normais via SQL, e existe uma coluna que faz o link para o local onde essa foto ou imagem está armazenada. Por exemplo, criou-se primeiramente a tabela *galinhos_fotos*:

```
CREATE TABLE galinhos_fotos (  
  ID integer PRIMARY KEY,  
  link_foto varchar(30),  
  descricao text);
```

E após isso, é feito o povoamento dos dados:

```
insert into galinhos_fotos (id, link, descricao) values ('1', 'galinhos01.jpg', 'Foto1');  
insert into galinhos_fotos (id, link, descricao) values ('2', 'galinhos02.jpg', 'Foto2');  
insert into galinhos_fotos (id, link, descricao) values ('3', 'galinhos03.jpg', 'Foto3');  
insert into galinhos_fotos (id, link, descricao) values ('4', 'galinhos04.jpg', 'Foto4');  
insert into galinhos_fotos (id, link, descricao) values ('5', 'galinhos05.jpg', 'Foto5');  
insert into galinhos_fotos (id, link, descricao) values ('6', 'galinhos06.jpg', 'Foto6');
```

O campo *link* armazena o nome do arquivo da foto que se deseja visualizar (por exemplo, *galinhos01.jpg*). Todas as fotos e imagens ficam localizadas num único local (dentro de um diretório ou de um servidor), para que possam ser acessadas sem problemas.

Para armazenar os mapas temáticos foi necessário usar o POSTGIS, pois este é apto para manipular dados espaciais. Os mapas temáticos existentes da área de estudo foram confeccionados no “software” ArcView 3.2 da ESRI Corporation e por causa disso cada mapa possui três arquivos: *<nome_do_mapa>.shp*, *<nome_do_mapa>.shx* e *<nome_do_mapa>.dbf*. O arquivo com extensão .SHP refere-se à representação espacial do mapa. Logo, esse é o arquivo mais importante quando se deseja visualizar o mapa desejado.

Para migrar esses dados do formato ESRI para o formato do POSTGIS, é necessário a utilização de um conversor que realize essa função. Para carregar os dados no POSTGIS, deve-se possuir os dados no formato *shp* (também conhecido como *shapefile*) e utilizar uma ferramenta (o conversor) chamada *shp2pgsql*. Também existe a ferramenta inversa, que transforma os dados do POSTGIS para “shapefile”, o *pgsql2shp*.

Dessa maneira, suponha que se deseja converter o mapa de geologia de Guamaré que se encontra no ArcView, para ser armazenado no SWeET. Deve-se, então, usar o conversor para que esse mapa seja reconhecido pelo referido sistema. O comando de conversão é o seguinte:

```
shp2pgsql geologia geologia_guamare bd_tese > guamare_geologia.sql
```

Após essa conversão, será gerado um arquivo chamado *guamare_geologia.sql*, composto por comandos que criará a tabela *guamare_geologia* (através do comando *create table*) e que também povoará os campos dessa tabela (comandos *insert*).

O arquivo cria uma tabela chamada “guamare_geologia” com os campos *gid*, *geologia* e *id*. Em seguida, adiciona uma coluna geométrica ao usar o comando abaixo:

```
SELECT AddGeometryColumn('galinhos_geologia','the_geom','-1','MULTIPOLYGON',2)
```

Essa sintaxe *AddGeometryColumn* acrescenta na tabela *guamare_geologia* criada, uma coluna a mais chamada *'the_geom'*, com sistema de referência -1, com dado geográfico do tipo *'MULTIPOLYGON'* e dimensão 2.

Em seguida, o próprio arquivo insere os dados nesses campos criados. O comando

```
INSERT INTO "guamare_geologia" ("geologia", "id", the_geom) VALUES ('Qpm - Depositos de Paleoplanicie de Mare', '1', 'SRID=-1; 0106000000010000000103000000050000005E00000061A77646E83E294174D7006241D0710E74F33E294137982E51D700624159D47DF7F53E29419CFFB7B5D70062410925F1DF12472941BA8965148244294146F5F2D5AD00624182C768E0414429411F78DAE2BD006241');
```

significa que será inserido na tabela “guamare_geologia” as seguintes informações: no campo *geologia* a informação *'Qpm - Depositos de Paleoplanicie de Mare'*, no campo *id* o valor *1* e no campo *the_geom*, o resultado da conversão da representação geográfica, anteriormente visualizada no Arcview, em dados alfanuméricos para que possam ser compreendidos pelo POSTGIS.

Ao usar essa ferramenta, todos os mapas temáticos existentes das áreas de estudo foram convertidos para o formato SQL e então inseridos no banco de dados criado no POSTGRESQL e POSTGIS.

Uma vez inseridas todas as informações das quatro áreas de estudo no banco de dados espaço-temporal do SWeET, passou-se, então, a desenvolver um sistema Web de acesso a esses dados armazenados, sendo possível a visualização geográfica, bem como a realização de consultas espaço-temporais em cima desses dados.

5.6. VALIDAÇÃO DO SWeET NAS ÁREAS DE ESTUDO

O SWeET é um sistema fácil de ser manipulado com uma interface gráfica amigável e simples de entender. As operações implementadas no SWeET são realizadas via “browser” Web. A primeira tela do sistema mostra o título do sistema, exibe o mapa do Rio Grande do Norte, com legenda, mapa-índice, ações de “zoom”, deslocamento e atualização do mapa, tamanho de visualização do mapa, pontos de coordenadas e UTM, além de informações descritivas da área selecionada pelo usuário (Figura 5.12). Existe ainda um “link” intitulado *Realizar Consultas Espaço-Temporais* que liga a tela principal à outra página do sistema, onde é possível realizar tais tipos de consultas. Essa funcionalidade é detalhada na seção 5.7.

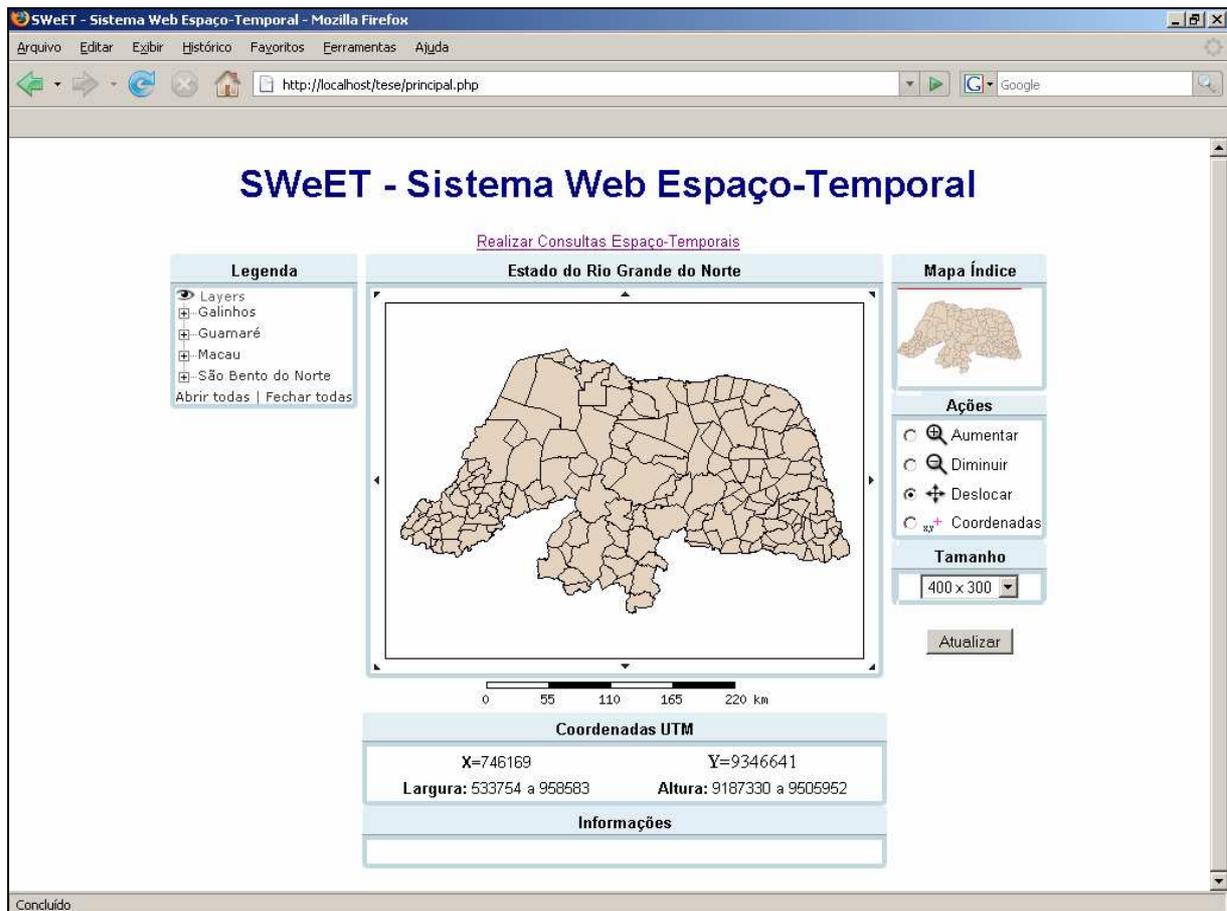


Figura 5.12 – Tela inicial do sistema SWeET.

Supondo que o usuário queira visualizar os dados de Galinhos. Para isso, ele deve selecionar essa cidade no *layer* encontrado na legenda. Conforme definido no modelo conceitual, os dados escolhidos e armazenados desse município são listados. Logo, o SWeET exibe ao usuário quais os dados de Galinhos existentes no banco de dados e que ele pode escolher para analisar. Atualmente, a legenda de Galinhos se apresenta conforme mostrado na Figura 5.13.

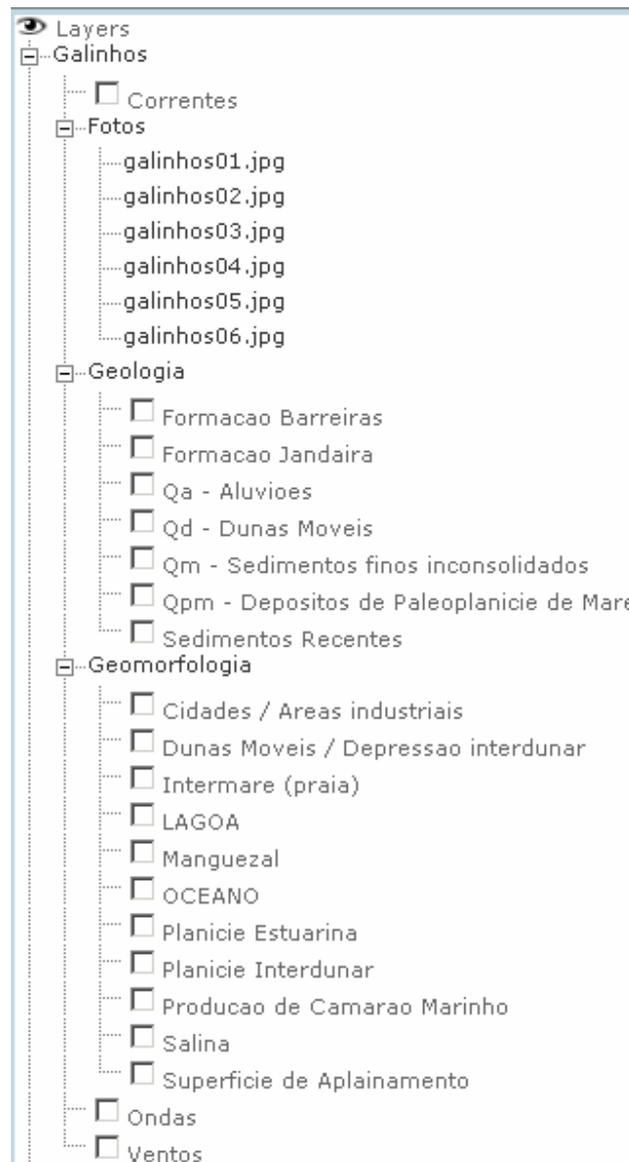


Figura 5.13 – Dados possíveis de serem acessados no SWEET da área de Galinhos.

Cabe ao usuário selecionar o que ele deseja visualizar / analisar para que os dados possam ser plotados no mapa. Se os dados meteorológicos (ventos) e/ou hidrodinâmicos (ondas e correntes) forem selecionados, será exibido no mapa o ponto de coleta dos mesmos além de uma tabela de dados com suas principais informações. A Figura 5.14 exibe a seleção de *Ventos*.

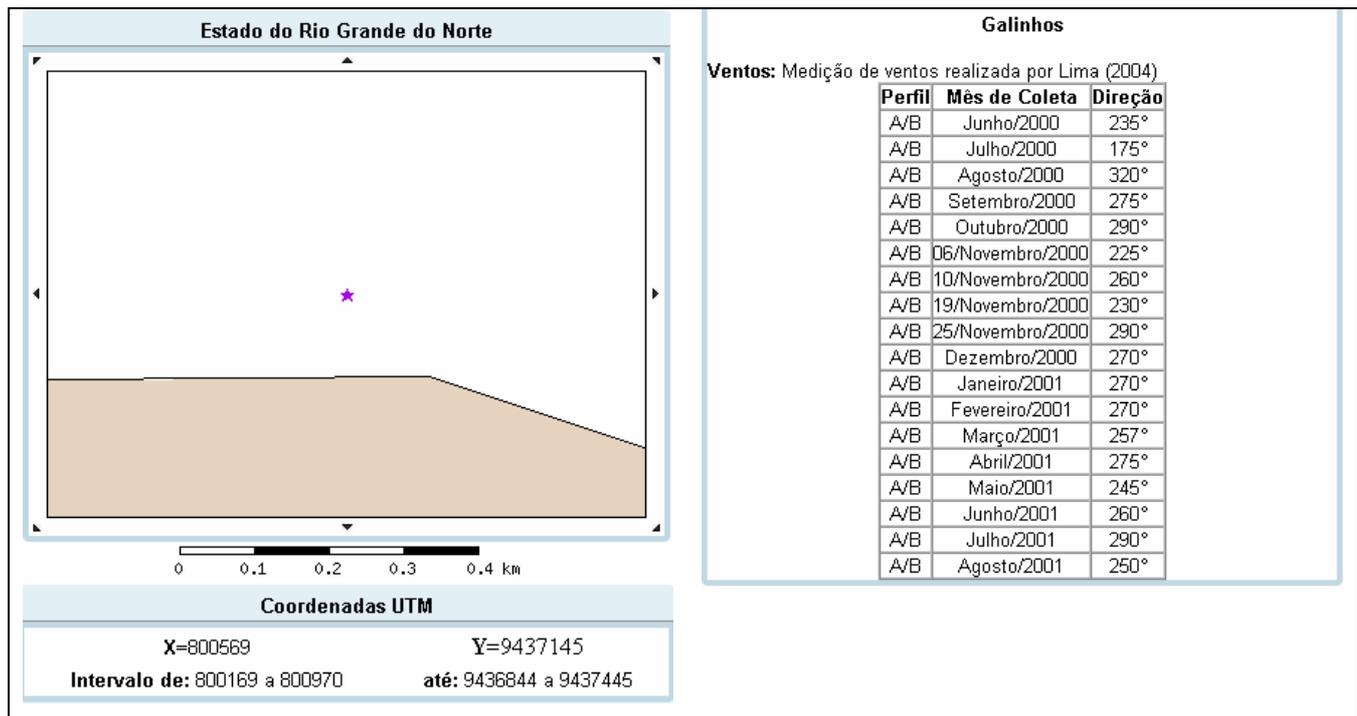


Figura 5.14 – Visualização do ponto de coleta de medição dos ventos na área de Galinhos, com suas coordenadas UTM e sua tabela de dados.

Caso se queira visualizar alguma foto da área, basta clicar na foto desejada que esta é exibida em uma nova janela. Na Figura 5.15 é possível ver a foto *galinhos01.jpg*.

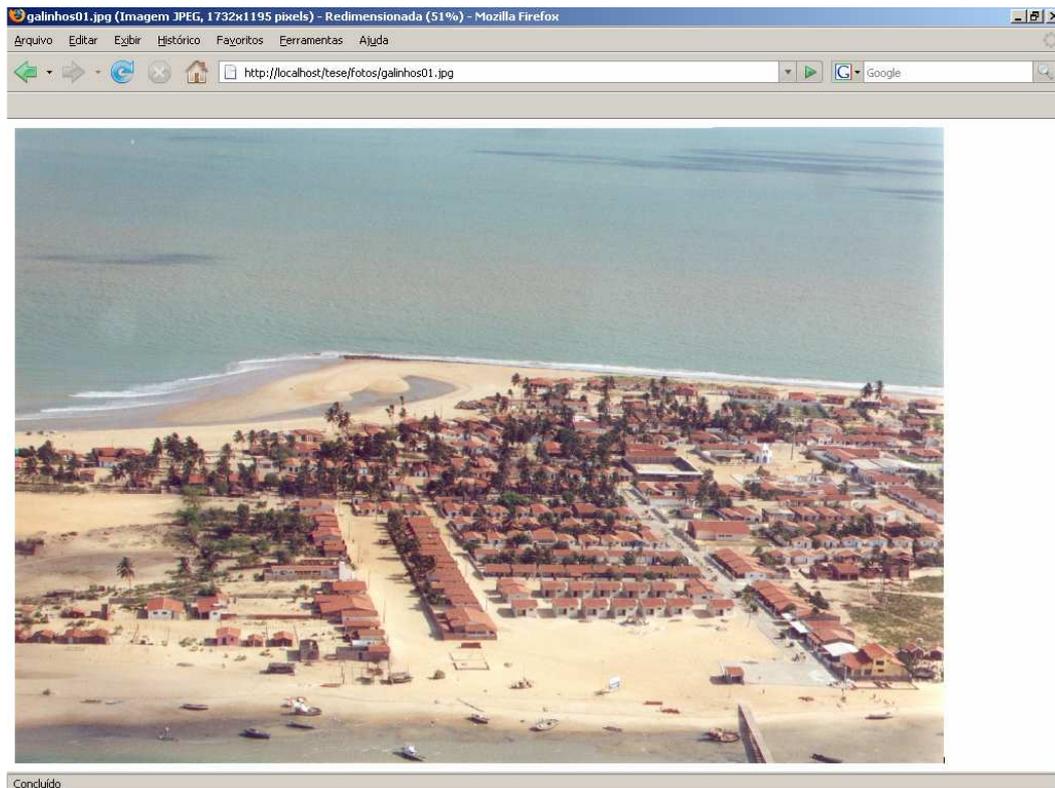


Figura 5.15 – Visualização da foto selecionada *galinhos01.jpg*.

Se o usuário optar por visualizar os mapas de Geologia ou Geomorfologia de Galinhos, estes serão exibidos no próprio mapa do RN, de maneira colorida, com sua localização exata e com a legenda auto-explicativa. Além disso, no quadro de *Informações* aparecem os cálculos das áreas (em Km²) selecionadas na legenda (Figura 5.16).

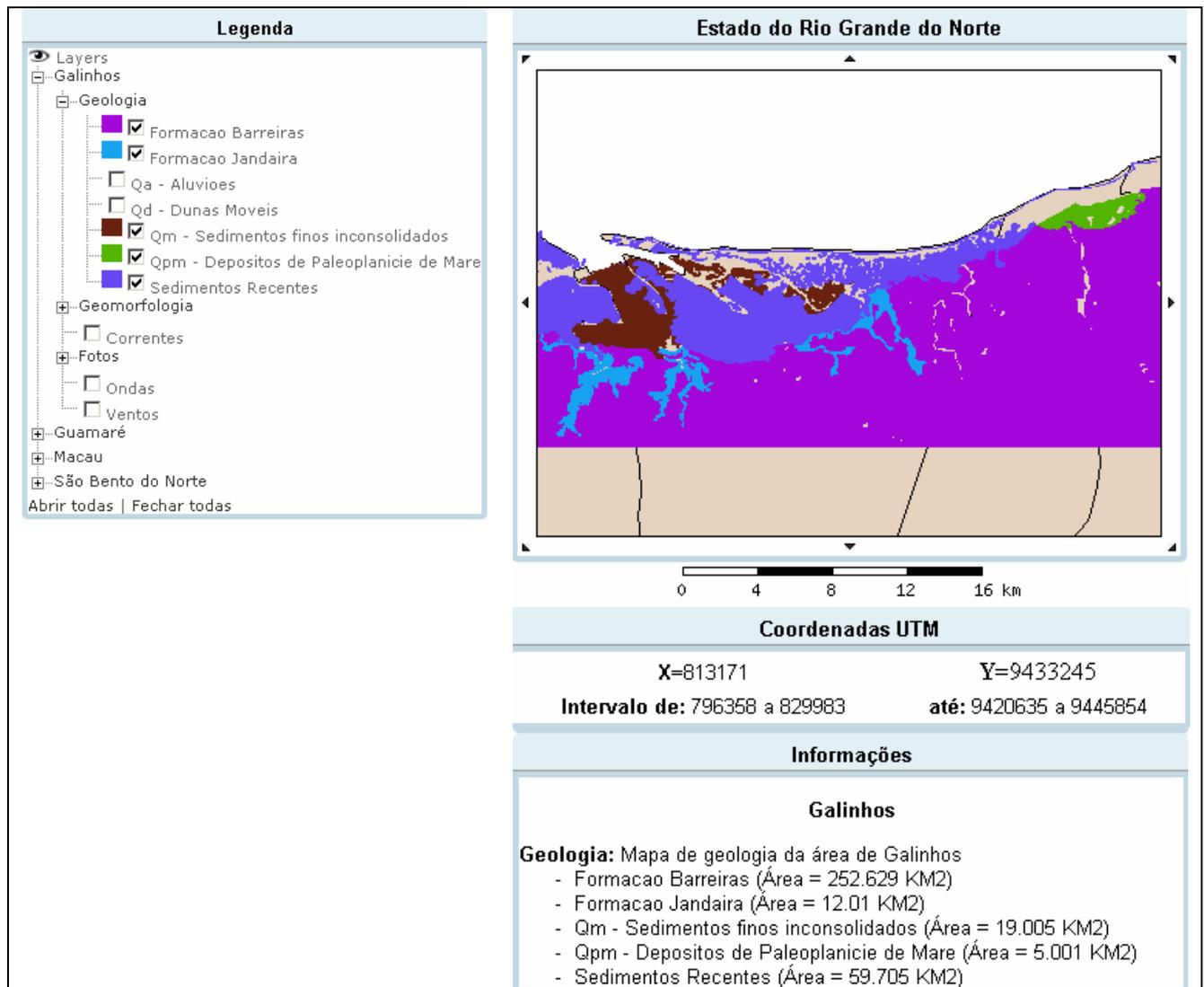


Figura 5.16 – Visualização do mapa de Geologia de Galinhos com legenda auto-explicativa e informações sobre a geologia selecionada.

As áreas de Guamaré e Macau possuem mapas temáticos armazenados na base de dados do SWeET. A consulta é realizada de maneira análoga à área de Galinhos: basta que o usuário selecione o mapa que deseja visualizar, que o sistema exibe esse resultado sobre o mapa do RN (Figura 5.17).

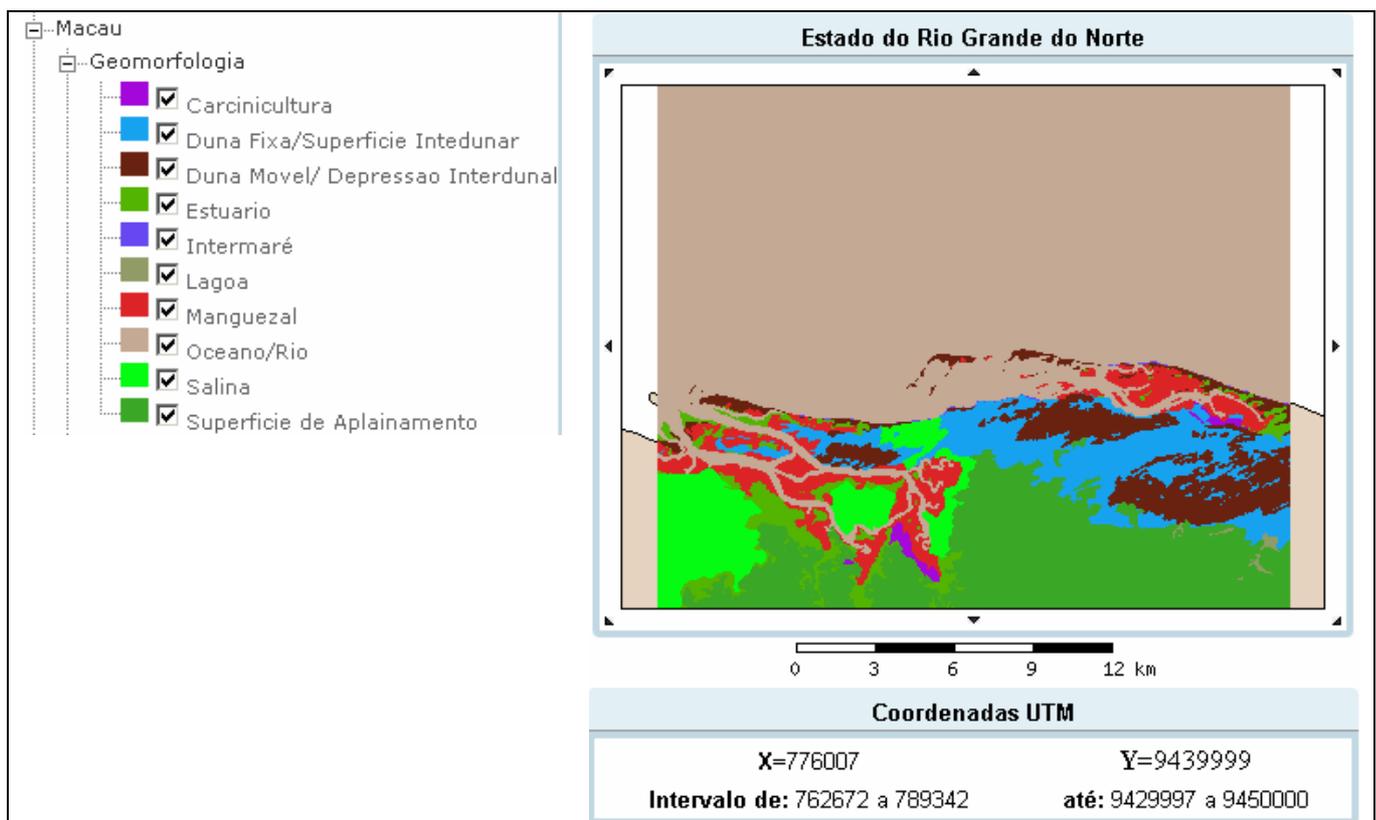


Figura 5.17 - Visualização do mapa de Geomorfologia da área de Macau no SWeET.

Na área de São Bento do Norte, é possível acessar dados de correntes e ondas (hidrodinâmicos), ventos (meteorológicos), dunas e imagens de satélite. Com exceção das imagens de satélite, todos os outros dados são visualizados de maneira semelhante aos dos Ventos de Galinhos explicado anteriormente: uma vez selecionado o que se deseja, aparece no mapa do RN o local de coleta e uma tabela de informações (Figura 5.18).

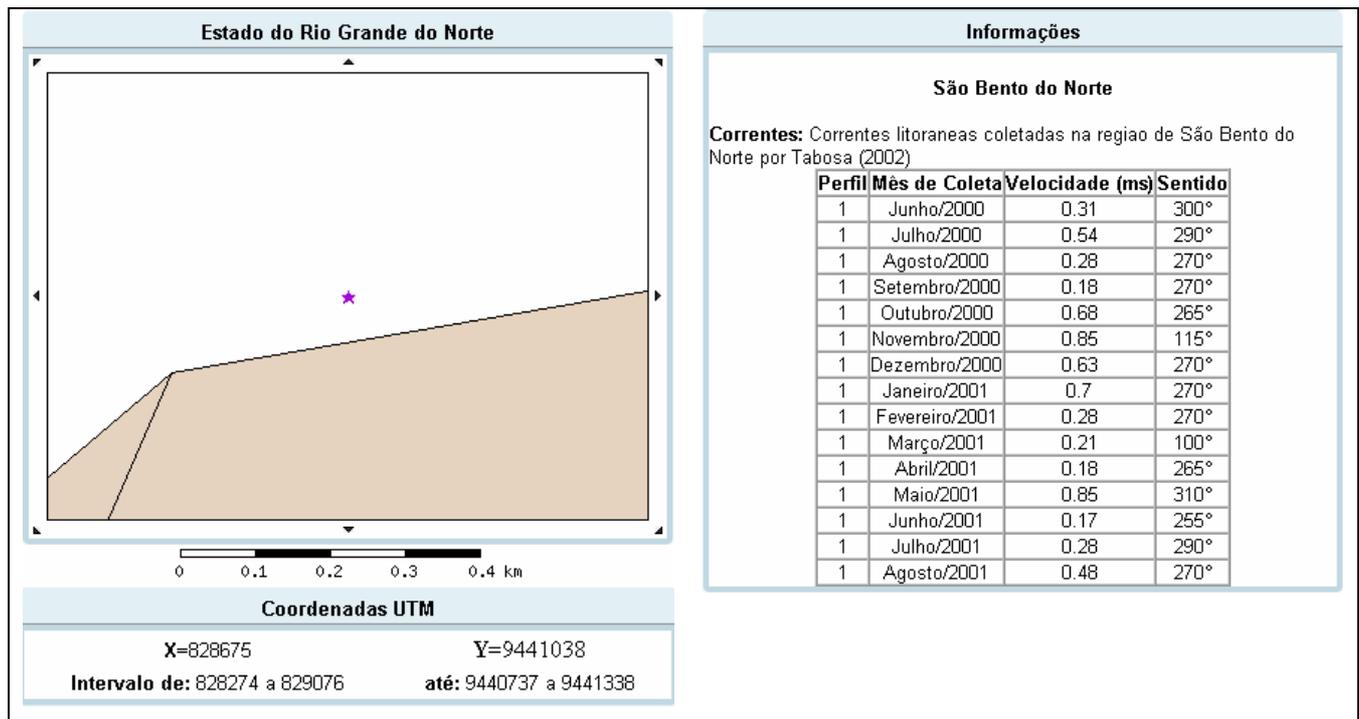


Figura 5.18 - Visualização do ponto de coleta de medição de correntes da área de São Bento do Norte, com suas coordenadas UTM e sua tabela de dados.

Quanto às imagens de satélite, estas podem ser visualizadas após serem selecionadas pelo usuário (Figura 5.19).

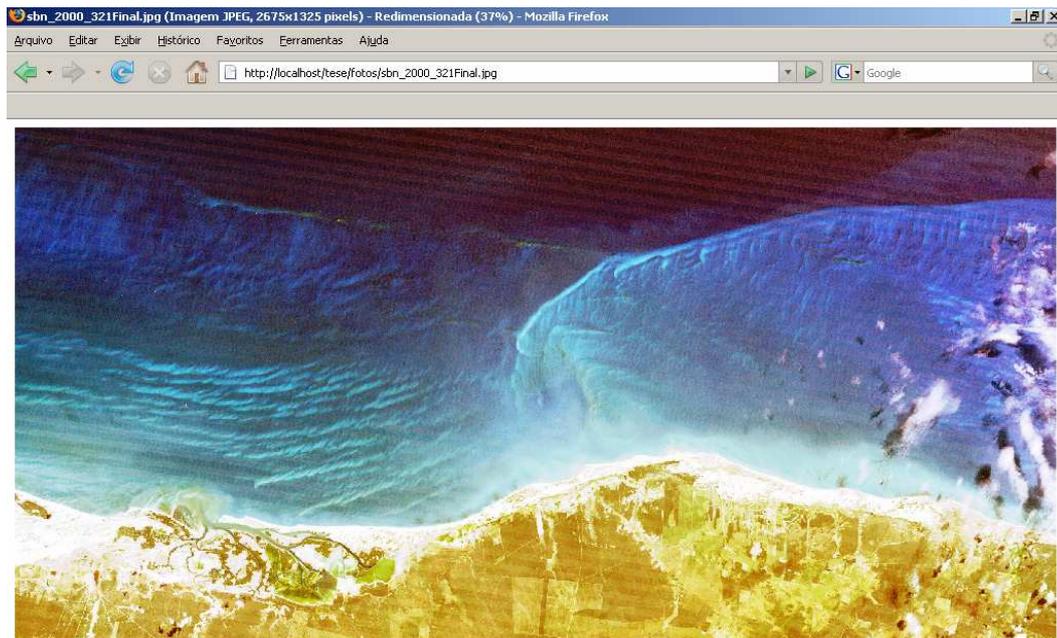


Figura 5.19 – Visualização da imagem *sbn_2000_321Final.jpg* escolhida pelo usuário.

5.7. CONSULTAS ESPAÇO-TEMPORAIS POSSÍVEIS NO SWeET

A seção anterior ressaltou que existe um “link” na primeira página de visualização do SWeET que ao ser selecionado leva para outra página, onde é possível a realização de consultas espaço-temporais. Essa página também possui um “link” que remete de volta para a página inicial (Figura 5.20).

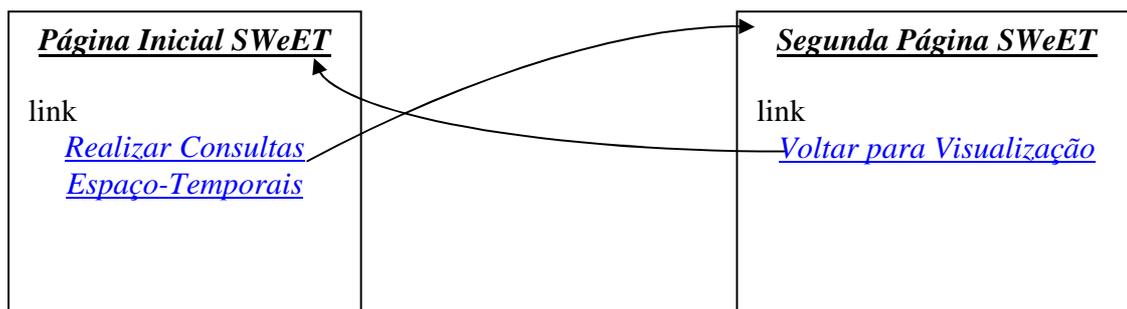


Figura 5.20 – “Links” existentes entre as principais páginas do sistema SWeET.

Uma das vantagens do SWeET é a possibilidade de acessar os dados em tempo real o banco de dados e visualizá-los em seu formato geográfico. Outro grande diferencial desse sistema é a possibilidade de realizar as consultas espaço-temporais de alguns dados armazenados no banco. As áreas que permitem realizar esse tipo de consulta são as de Galinhos, Guamaré e São Bento do Norte. Os dados de Macau coletados por Souto (2004) já são exibidos de maneira espaço-temporal, por exemplo, quanto a linha de costa de Macau cresceu e/ou erodiu entre os anos de 2002 e 2003. Logo, não foi mais necessário que o SWeET fizesse essa análise, visto que os dados recebidos de Souto (2004) já estavam no formato desejado (Figura 5.21).

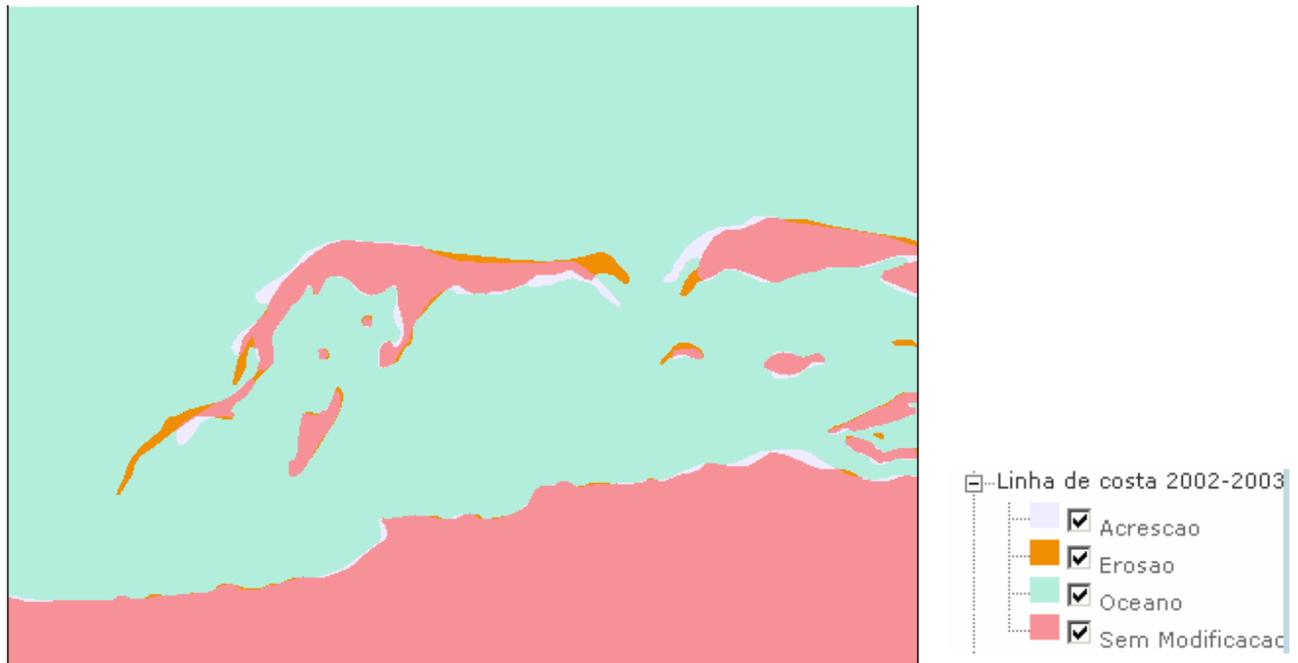


Figura 5.21 - Visualização da linha de costa de Macau entre os anos de 2002 e 2003 no sistema SWeET.

Para escolher uma das outras três áreas nessa tela de consulta do SWeET, o usuário deve abrir as opções da área desejada e selecionar qual tipo de dado ele almeja realizar a consulta espaço-temporal (Figura 5.22).

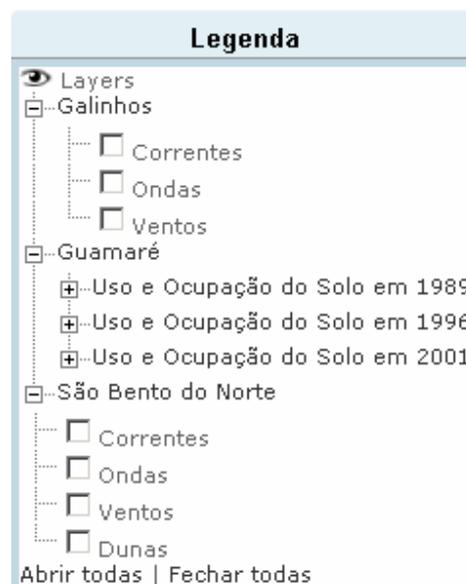


Figura 5.22 – Exibição das áreas e quais os tipos de dados possíveis de realizar consulta espaço-temporal.

Na área de Galinhos, é possível acessar os dados de ventos, correntes litorâneas e ondas. Supondo que o usuário escolheu *Ondas* e *Correntes*, o SWeET exibirá o local de coleta e as tabelas dos dados (Figura 5.23).

Galinhos			
Correntes: Correntes litoraneas coletadas na regioe de Galinhos por Lima (2004)			
Perfil	Mês de coleta	Velocidade (ms)	Sentido
A/B	Junho/2000	0.24	223°
A/B	Junho/2000	0.24	223°
A/B	Julho/2000	0.37	280°
A/B	Agosto/2000	0.44	295°
A/B	Setembro/2000	0.73	300°
A/B	Outubro/2000	0.45	290°
A/B	06/Novembro/2000	0.43	210°
A/B	10/Novembro/2000	0.38	295°
A/B	19/Novembro/2000	1.61	315°
A/B	25/Novembro/2000	0.43	278°
A/B	Dezembro/2000	0.68	290°
A/B	Janeiro/2001	1.02	290°
A/B	Fevereiro/2001	0.79	285°
A/B	Março/2001	0.19	287°
A/B	Abril/2001	0.39	284°
A/B	Maio/2001	0.68	288°
A/B	Junho/2001	0.66	289°
A/B	Julho/2001	0.46	295°
A/B	Agosto/2001	0.09	315°

Ondas: Medição de ondas realizada por Lima (2004)				
Perfil	Mês de Coleta	Altura (cm)	Período	Ângulo de Incidência
A/B	Junho/2000	43.7	1:11,12	10°
A/B	Julho/2000	42.2	01:05,29	5°
A/B	Agosto/2000	34	01:09,59	10°
A/B	Setembro/2000	14.8	01:13,69	10°
A/B	Outubro/2000	43.55	01:01,72	15°
A/B	06/Novembro/2000	13.5	01:01,87	15°
A/B	10/Novembro/2000	14.25	00:58,45	25°
A/B	19/Novembro/2000	34.8	01:10,54	15°
A/B	25/Novembro/2000	12.7	00:55,55	27°
A/B	Dezembro/2000	17.2	01:06,94	20°
A/B	Janeiro/2001	15.4	01:07,54	30°
A/B	Fevereiro/2001	62	00:57,28	10°
A/B	Março/2001	34.7	01:20,07	0°
A/B	Abril/2001	10	01:20,75	25°
A/B	Maio/2001	32.2	01:00,55	26°
A/B	Junho/2001	11.35	00:51,52	
A/B	Julho/2001	9.4	01:02,45	30°
A/B	Agosto/2001	8.4	01:02,21	15°

Figura 5.23 – Tabelas de dados de *Correntes* e *Ondas* da área de Galinhos.

Como esses dados foram coletados apenas de maneira temporal, as tabelas não exibem representação geográfica, mostrando apenas a variação das *ondas* e *correntes* ao longo do tempo. A tabela de *Ventos* é exibida da mesma maneira.

O mesmo acontece com os dados de São Bento do Norte: é possível visualizar as tabelas de correntes, ondas, ventos e dunas dessa região que estão armazenadas no banco de dados.

É na área de Guamaré que o SWeET se destaca. Selecionando essa área, é possível visualizar e analisar a variação espaço-temporal do uso e ocupação do solo entre os anos de 1989, 1996 e 2001, dados estes coletados por Griggio (2003).

Dessa maneira suponha que o usuário escolha Guamaré e depois deseje avaliar a as alterações espaço-temporais entre os anos de 1989 e 1996. Uma vez selecionadas as épocas, aparecem em seguida quais as feições existentes em cada ano (Figura 5.24).

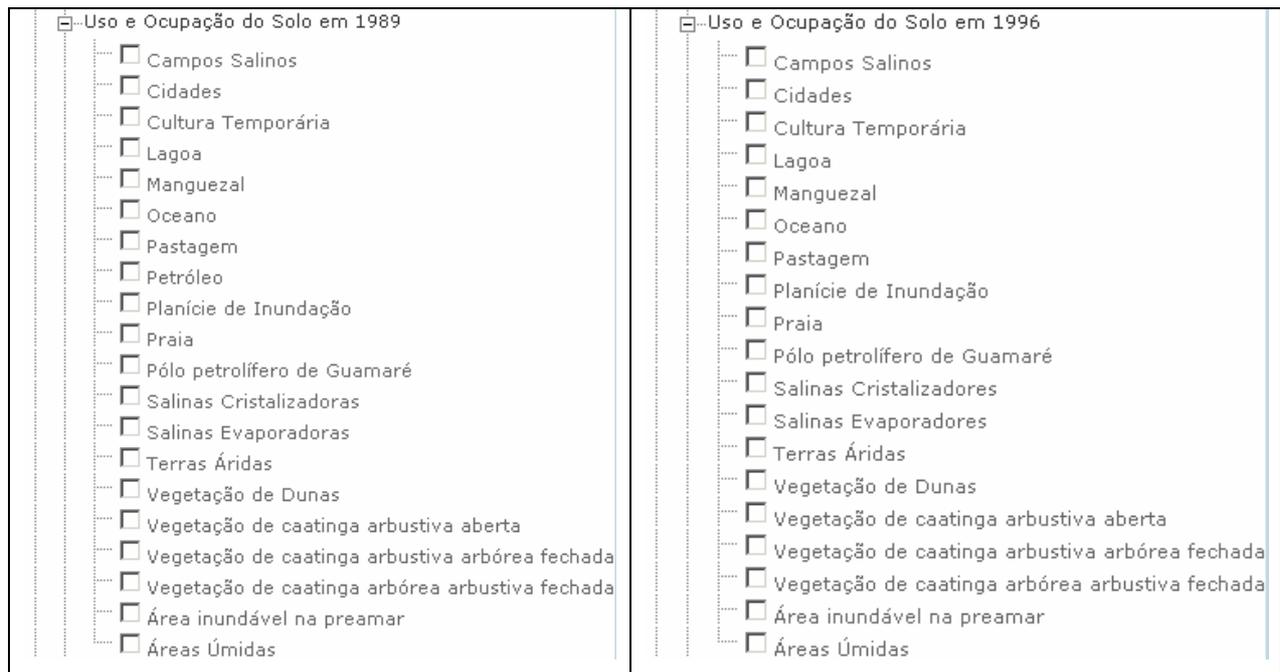


Figura 5.24 – Exibição das feições que podem ser comparadas área de Guamaré entre os anos de 1989 e 1996.

Cabe ao usuário selecionar agora a(s) feição(ções) sobre a(s) qual(is) ele deseja realizar a consulta espaço-temporal. Supondo que *Manguezal* foi o item selecionado para ser avaliado e analisado nos anos de 1989 e 1996. O resultado dessa consulta aparece na Figura 5.25.

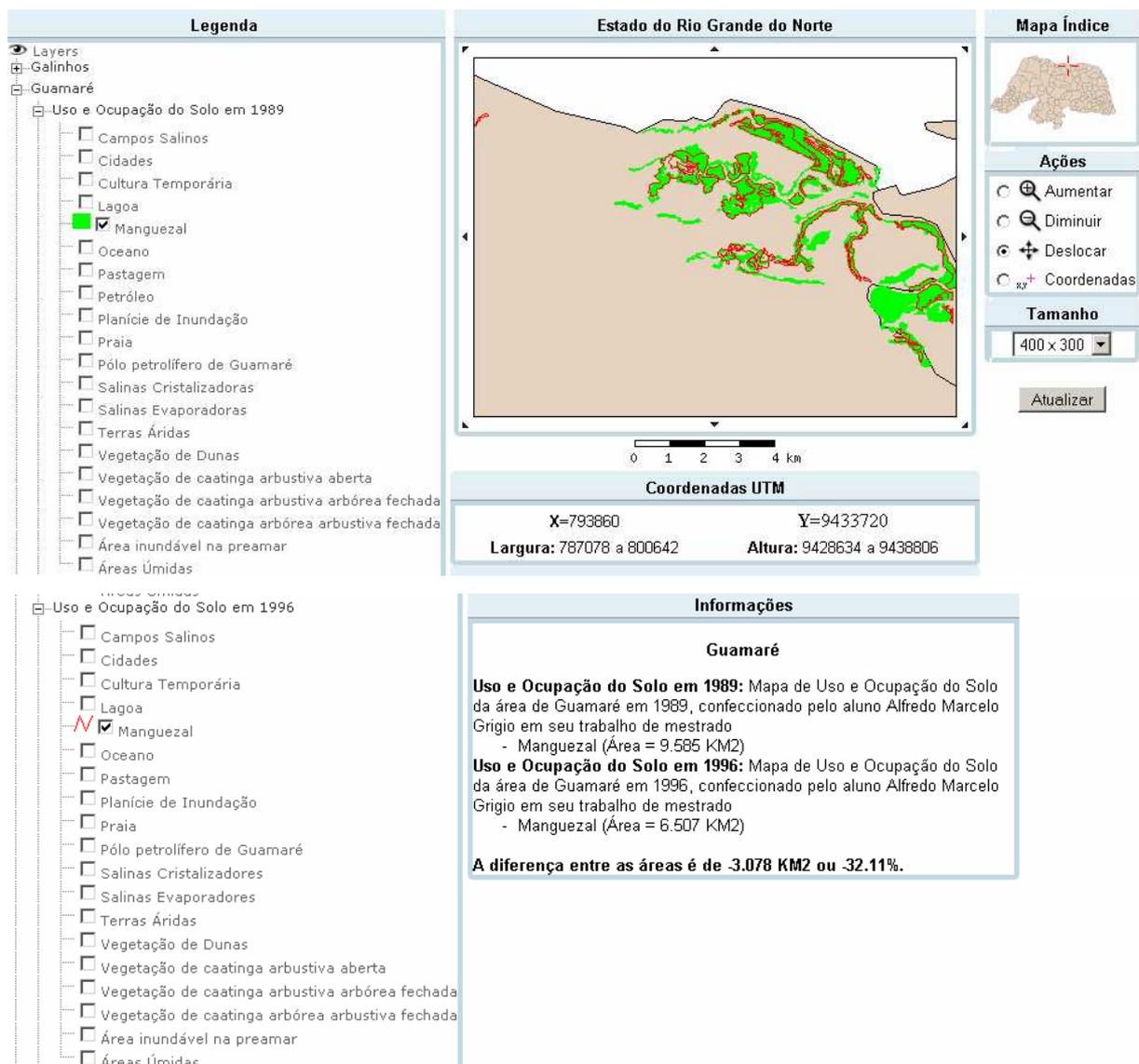


Figura 5.25 – Resultado da consulta sobre o manguezal da área de Guararé entre os anos de 1989 e 1996.

A legenda do lado esquerdo do mapa-resultado auxilia na compreensão do mesmo. Através dessa consulta e visualização, o ano de 1989 é representado pelas áreas em verde e o ano de 1996 é representado pela linha vermelha. Tomou-se esse padrão para melhorar a projeção de um ano sobre o outro e avaliar as mudanças ocorridas ou não. Nesse caso do manguezal, é visível que este sofreu modificações de 1989 a 1996. A área dessa feição diminuiu em sete anos e, através da visualização do resultado com o SWeET, chega-se a conclusão que essa área de Guararé foi muito devastada ao longo desse período (mais de

3.000 Km²), o que deve ter acarretado um impacto ambiental considerável nessa região. Cabe aos profissionais da área ambiental, após consultarem o SWeET e conferirem tais mudanças em campo, tomarem providências para que essa área não continue a ser tão fortemente devastada pelas salinas e pela carcinicultura presentes na região.

Realizando outra consulta ao SWeET, pretende-se agora avaliar as mudanças ocorridas nas feições de Guamaré entre 1996 e 2001. Suponha que se pretende avaliar a área de *Pastagem* entre esses dois anos. O resultado desta consulta aparece na Figura 5.26.

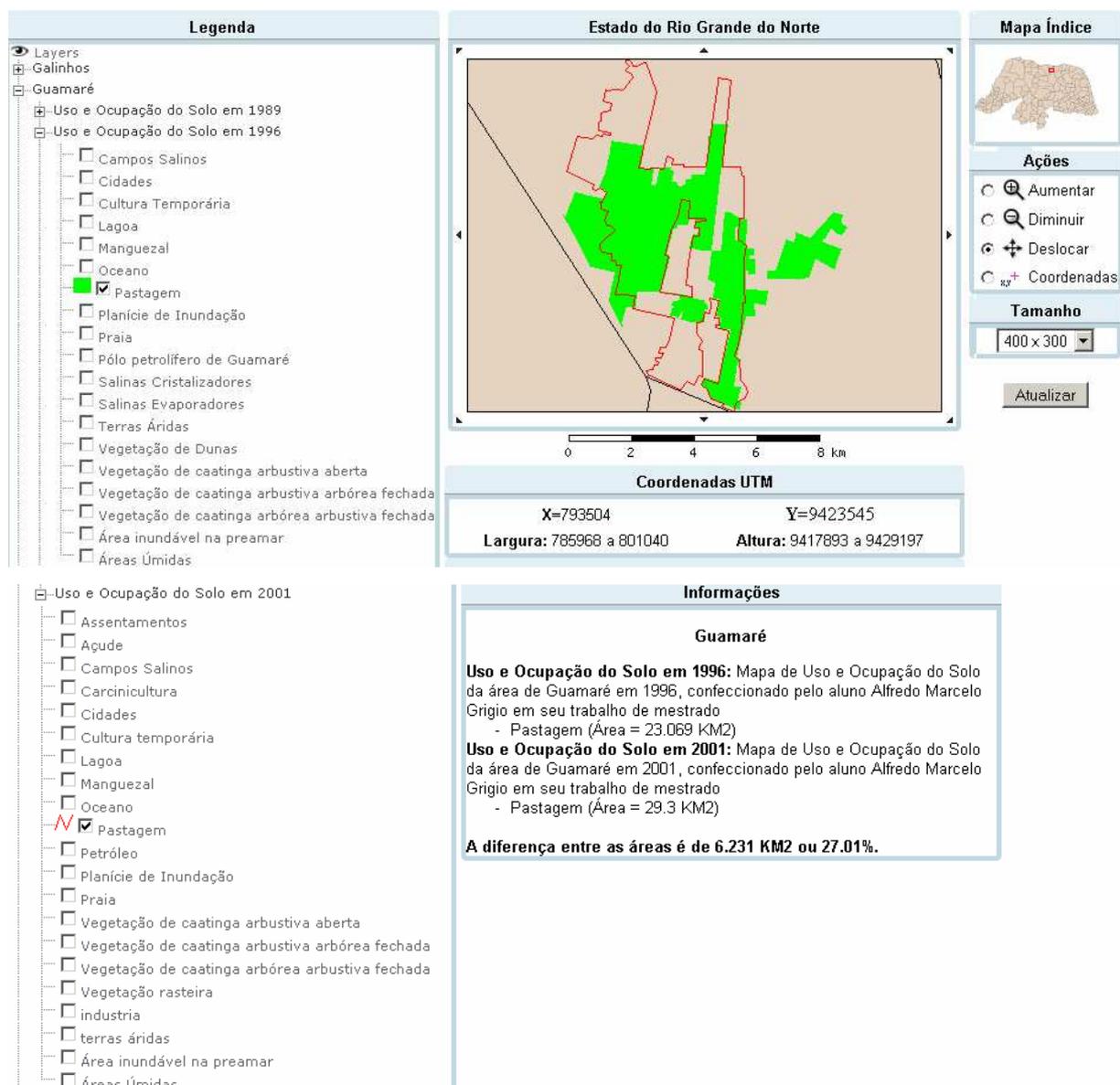


Figura 5.26 – Resultado da consulta espaço-temporal da área de Pastagem em Guamaré, entre os anos de 1996 e 2001.

Ao analisar a tela-resultado dessa consulta, percebe-se que a área de *Pastagem* aumentou ao longo desses cinco anos, o que significa que locais foram devastados para que isso acontecesse. Houve um aumento de 6.000 Km² de pastagem, equivalente a um aumento de 27% de área.

5.7.1. Implementação das funções espaciais

As funções espaciais, baseadas em SQL Spatial, no POSTGIS foram imprescindíveis para implementar as consultas espaço-temporais desse sistema. O fato de o POSTGIS usar o SQL Spatial permite as operações de *união*, *intersecção* e *diferença* entre duas geometrias ou mais, e possibilita a comparação de duas feições em épocas diferentes.

Um exemplo dessas operações encontra-se no código-fonte abaixo. São comandos em PHP e em SQL Spatial. Em um primeiro momento, cria-se uma tabela *união* que realiza a união da geometria g1 com a geometria g2. Depois se executa a *intersecção* entre essas mesmas geometrias. Por fim, a *diferença* entre a *união* e a *intersecção*.

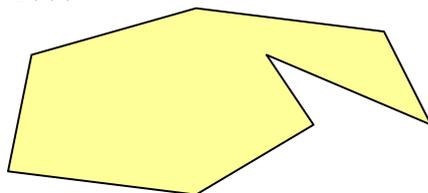
```
$query1="CREATE TABLE uniao as SELECT geomunion(g1.geometria,g2.geometria) FROM teste_geometrias as g1,
teste_geometrias2 as g2";

$query2="CREATE TABLE inter as SELECT intersection(g1.geometria,g2.geometria) FROM teste_geometrias as g1,
teste_geometrias2 as g2";

$query3="CREATE TABLE diferenca as SELECT Difference(u.geomunion, i.intersection) FROM uniao AS u, inter AS
i";
```

Essa operação é útil quando se pretende saber o que existia em um ano e não existe mais em outro ano. Tome o exemplo na Figura 5.27 abaixo:

(a) - Ano 2000



(b) - Ano 2004

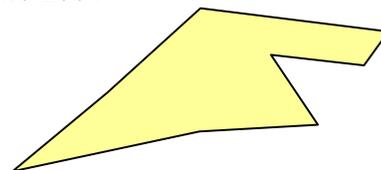


Figura 5.27 – Modificação de uma feição espacial ao longo do tempo:

(a) ano de 2000 e (b) ano de 2004.

Suponha que se deseja saber o quanto um espaço físico foi degradado do ano de 2000 até o ano de 2004. Uma das maneiras de se calcular isso é usando a diferença da união menos a intersecção ($U - I$), do jeito que foi implementado no código acima. O resultado seria o que existia em 2000 e que já não existe mais em 2004. A resposta está representada na Figura 5.28.

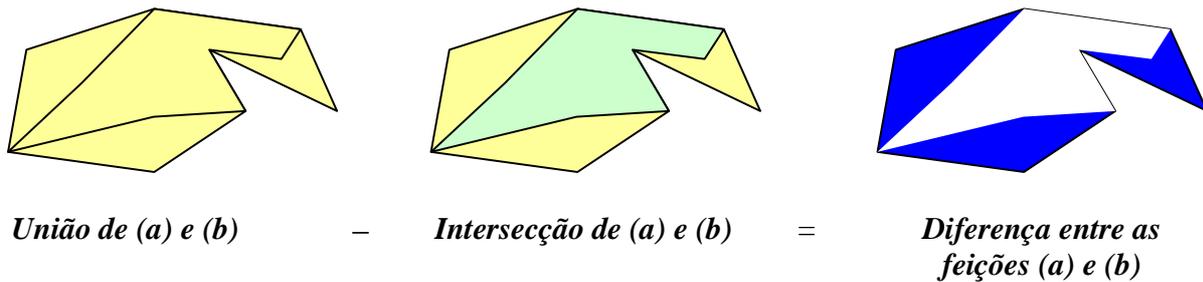


Figura 5.28 – Diferença espacial de uma mesma feição em épocas diferentes.

Sendo assim, é possível perceber o quanto de um manguezal, por exemplo, foi devastado ao longo dos anos, através de uma consulta ao SWeET.

5.8. CONCLUSÕES SOBRE OS DOIS SISTEMAS DESENVOLVIDOS

O SWeET e o AutoMSA encontram-se atualmente funcionando em plataformas e tecnologias diferentes. Enquanto o AutoMSA é executado no container OC4J, visualizado em Servlets Java e páginas JSP, com a base de dados armazenada no Oracle 9i; o SWeET funciona via PHP/MapServer e uma base de dados confeccionada no PostgreSQL/Postgis.

Em teoria, esses dois sistemas são também interoperáveis, pois os bancos de dados são projetados para reconhecerem uns aos outros, desde que sigam alguns “padrões de conversão de dados”, possibilitando assim, a comunicação entre eles. Sistemas Web funcionam da mesma maneira: uma página desenvolvida em Java ou em PHP pode acessar dados armazenados no Oracle e/ou PostgreSQL, desde que seja desenvolvida de maneira apropriada para acessar o SGBD desejado.

Atualmente, não existe uma “comunicação” entre o AutoMSA e o SWeET. É realmente necessário um estudo de caso que providencie essa interligação e proporcione ao

AutoMSA a possibilidade de acesso aos dados do SWeET, da mesma maneira que ele acessa o dados do SWIGG. Também seria válido para o SWeET essa interação, visto que ele poderia analisar as diferenças das sensibilidades de um ano pra outro, a partir de mapas SAO gerados pelo AutoMSA e armazenados em sua base de dados. Pela sua própria estrutura de apoio à tomada de decisões em questões ambientais, seria possível ao SWeET fazer um estudo espaço-temporal desses mapas de sensibilidade providenciados pelo AutoMSA.

Quanto ao SWeET, este pode ser considerado um sistema de apoio à tomada de decisão no que se refere à área de Guamaré, visto que permite exibir de forma automatizada todas as modificações espaço-temporais sofridas ou não pelas principais feições da área (manguezal, caatinga, salinas, pólo petrolífero, entre outros). Para os profissionais da área de monitoramento ambiental, esse é um sistema de extrema valia. Consultando-se o SWeET e analisando seus resultados, é possível se tomar providências de preservação ambiental, monitoramento e/ou remediação. Por exemplo, um manguezal muito deteriorado ao longo dos anos requer uma maior cautela em futuras atividades de carcinicultura e de campos salinos, pois estas já se caracterizam por degradar fortemente as regiões de mangue.

6. Considerações Finais

6.1. CONCLUSÕES

No presente trabalho, dois sistemas computacionais (*software*) foram desenvolvidos com objetivos específicos e baseados em tecnologias de ponta. Estes sistemas lidam principalmente com informações espaço-temporais, com o intuito principal, mas não exclusivo, de subsidiar o monitoramento de áreas ambientais costeiras sensíveis e sob o impacto de atividades industriais como a exploração/transporte de petróleo e a carcinicultura, e da expansão agrícola e urbana. A esses sistemas foram dados os nomes de:

AutoMSA - **Auto**m**ação de **M**apas de **S**ensibilidade **A**mbiental ao Derramamento de Óleo.**

SWeET – **S**istema **W**eb **E**spaço-**T**emporal.

O AutoMSA tem como principal objetivo desenvolver mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo de forma automática. A partir de dados inseridos pelo usuário ou do banco de dados ambientais georreferenciados e resgatados do sistema SWIGG, este desenvolvido por Souza (2004), cabe ao AutoMSA confeccionar o mapa SAO desejado pelo usuário com base nos dados inseridos. A principal vantagem do AutoMSA está na indicação atualizada da sensibilidade de um determinado trecho do litoral, especialmente quando dentro ou próximo de área de exploração petrolífera, servindo como indicador, por meio dos índices de sensibilidade do litoral, dos possíveis danos ambientais em caso de acidente com petróleo e seus derivados. O AutoMSA identifica todas as regiões afetadas caso ocorra algum derramamento de óleo.

O SWeET possui uma maior abrangência operacional. Enquanto o AutoMSA é voltado explicitamente ao monitoramento de áreas costeiras relacionadas às atividades da indústria do petróleo, pelo fato dos próprios mapas que ele confecciona, o SWeET pode ser utilizado para qualquer tipo de pesquisa que envolva o monitoramento ambiental e avaliação das modificações temporais ocorridas em determinados setores geográficos. O SWeET tem a

característica de armazenar todos os dados geográficos da área estudada. Nesse trabalho, foram armazenados dados do setor entre os municípios de São Bento do Norte e Macau, localizados na porção setentrional do Estado do Rio Grande do Norte. O SWeET possui um banco de dados espaço-temporal: é capaz de armazenar tabelas textuais (dados não-espaciais), mapas temáticos (de maneira espacial e temporal) e dados de sensoriamento remoto (fotografias digitais e imagens de satélite). É um banco eficiente de dados geográficos, no sentido de dar suporte aos que pretendem consultar e avaliar as informações coletadas da área de estudo. Ele foi projetado de tal maneira que a partir do local desejado (Galinhos, Guamaré, São Bento do Norte ou Macau), o sistema mostra ao usuário os dados que estão armazenados no BD. Sendo assim, o usuário pode visualizar tudo o que está armazenado, como tabelas, fotos, imagens de satélites, mapas temáticos, entre outros.

Contudo, a maior funcionalidade e talvez o principal diferencial do SWeET consiste no fato de que esse sistema realiza consultas espaço-temporais nos dados armazenados (sobretudo dos mapas temáticos). Este fato auxilia sobremaneira o processo de apoio à decisão quando se pretende avaliar/atuar na área de estudo. Por exemplo, caso se considere a quantificação da degradação em uma área de manguezal ao longo de 10 anos. Uma vez possuindo os mapas *endmembers* armazenados no banco de dados, o SWeET realiza essa operação e exhibe ao usuário um mapa-resultante da mudança do manguezal ao longo das datas requeridas e, além disso, calcula quanto de área já foi devastada nesse período. Logo, o usuário consegue visualizar a situação do manguezal em forma de mapa e ainda toma conhecimento de quanto foi perdido ambientalmente. Ele apresenta um resultado qualitativo e quantitativo. Esse sistema auxilia aos profissionais da área de meio ambiente e aos tomadores de decisão a avaliar a situação do local desejado, para que providências sejam tomadas. Pode ser considerado um sistema de apoio à decisão pelo fato de subsidiar medidas operacionais em determinada área de estudo, após consulta e avaliação do seu desempenho.

Sendo assim, no desenvolvimento desses dois sistemas foi possível chegar a algumas relevantes conclusões:

MAPAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO

➤ Os dados primordiais na elaboração dos Mapas SAO, e que servem como parâmetros de inclusão no BDET, são: geomorfologia da área, grau de exposição à energia de ondas e marés, parâmetro esse definido através da altura de ondas e amplitude de maré; declividade do litoral, ressaltando principalmente a largura e inclinação do estirâncio e o tipo do substrato existente no local, enfatizando principalmente a mobilidade do sedimento, a penetração do óleo e a trafegabilidade do local.

➤ Os dados listados no item anterior, após espacializados, permitiram confeccionar os mapas de sensibilidade para a área de Galinhos, nas épocas de Junho/2000 e Dezembro/2000 e na área de Guamaré, nos meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro/2001. Este fato, o de confeccionar os mapas em meses diferentes (conforme a sazonalidade), teve o propósito de caracterizar a mudança no índice de sensibilidade do litoral nessas épocas.

➤ Na área de Galinhos, houve uma sutil variação de sensibilidade: Em junho / 2000 a sensibilidade variou de 2 a 3, tendo como valor máximo o índice 10 em zonas de manguezais e planícies estuarinas e em Dezembro/2000 o índice de sensibilidade foi 4, também tendo como valor 10 as áreas de mangues e planícies estuarinas; para a área de Guamaré foram confeccionados quatro mapas ao longo do ano de 2001, algumas considerações podem ser feitas: o mês de março apresentou ISL 2, 3 e 10; em Junho foi possível identificar a vida biológica existente e devido a isso o ISL foi mais detalhado, apresentando valores como 2, 3, 6, 7 e 10. O mês de setembro mostrou-se semelhante ao mês de junho, apenas acrescentando o ISL 4 e o mês de dezembro mostrou índices de sensibilidade 2, 3, 4 e 10.

➤ Em linhas gerais, a linha de costa de Galinhos mostrou-se bem mais sensível durante o mês de dezembro do que durante o mês de junho. Isso pode ser explicado porque em junho os dados hidrodinâmicos (altura de ondas e direção de correntes), apresentaram-se mais propícios para uma limpeza natural e afastamento do óleo da costa. Enquanto que, em Guamaré, o fato de se obter dados biológicos somente a partir de junho/2001, explica porque junho e setembro se mostraram mais sensíveis do que março. Além disso, o tamanho das ondas em março apresenta-se em alta escala (variando de 45 a 70 cm de altura). Quanto mais

alta a onda, mais rápida é a remoção natural do óleo. Comparando Dezembro com Junho e Setembro, o mês natalino se mostrou menos sensível também pelo fato do tamanho de suas ondas terem aumentado.

➤ Estes fatos demonstram que as áreas costeiras na região Nordeste do Brasil, sob condições de mesomarés, com a atuação dos ventos alísios, faixas litorâneas constituídas por praias arenosas e planícies de marés, com formação de canais de marés, esporões arenosos e lagunas, freqüentemente recobertas por manguezais, têm suas condições ambientais de sensibilidade ao óleo alteradas conforme as variações sazonais, o que explica a necessidade de monitoramento contínuo desses setores e a preocupação na elaboração de Mapas SAO que incorporem as alterações contínuas das forçantes (ondas, marés, ventos e correntes).

➤ Acontece um aumento da sensibilidade em direção ao norte, devido a uma amplitude de macromaré, onde ocorre uma variação de maré entre 6 e 12 metros.

AUTOMATIZADOR DE MAPAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO - AutoMSA

➤ O AutoMSA foi desenvolvido com padrões estratégicos similares ao SWIGG, utilizando-se como sistema gerenciador de banco de dados o Oracle 9i e sua extensão Oracle Spatial, que opera com dados espaciais.

➤ Além disso, foram utilizadas as tecnologias do container Oracle OC4J, uma arquitetura apropriada ao desenvolvimento de sistemas computacionais; do visualizador Web MapViewer, próprio para exibir dados geográficos, e da tecnologia Oracle Intermedia, que trabalha com outros tipos de dados, como imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas e documentos.

➤ O desenvolvimento do AutoMSA também abrange as três fases da modelagem: conceitual, lógico e físico; esta abordagem auxiliou na compreensão dos dados e como eles seriam representados na máquina.

➤ A automação do processo de confecção dos Mapas SAO no AutoMSA objetiva diminuir as tarefas manuais do usuário e deixar que o sistema processe as informações de entrada, gerando como resultado mapas indexados da linha de costa, que auxiliam na

contenção de limpeza e planejamento de contingência em caso de derramamento de óleo na faixa litorânea. Essa automação tende a produzir os mapas digitais com mais rapidez, confiança e precisão nos dados.

➤ O AutoMSA também pode ser considerado um sistema de apoio à decisão, pois uma vez que se analisa seus resultados, é possível a tomada de providências no sentido de preservar as áreas mais sensíveis e proteger os recursos naturais que possam ser mais prejudicados em curto espaço de tempo.

MODELOS DE BANCOS DE DADOS ESPAÇO-TEMPORAIS

➤ Após um estudo sobre os modelos conceituais existentes na atualidade, foi escolhido o modelo GeoFrame-T para ser utilizado nessa Tese de Doutorado. Este modelo se caracteriza por organizar os dados em categorias e classes e “espacializar e temporalizar” esses dados através do uso de esteriótipos, que auxiliaram na representação espaço-temporal das informações.

➤ No modelo conceitual usando o GeoFrame-T, os dados foram organizados por setores: para São Bento do Norte foram modelados dados hidrodinâmicos, meteorológicos, dunas e imagens de satélite; em Galinhos os dados inseridos foram os hidrodinâmicos, meteorológicos, fotografias aéreas e os mapas temáticos de *Geologia e Geomorfologia*. Nas áreas de Guamaré e Macau foram armazenados vários mapas temáticos, englobando *Uso e ocupação do solo, Vulnerabilidade Ambiental e Natural, Variação da linha de costa*, entre outros.

➤ A transformação do modelo conceitual em lógico definiu como os dados deveriam ser inseridos no banco de dados: os dados de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens de satélite) foram armazenados na forma de arquivos e acessados através de *links*; os mapas temáticos foram representados de maneira espacial e relacionados a uma tabela de informações; além dos dados que não tiveram nenhuma representação espacial, como *ondas, ventos, correntes e dunas*, que foram modelados somente na forma de tabelas.

➤ No nível físico – a implementação do banco de dados – foi utilizado o sistema gerenciador de banco de dados POSTGRESQL e sua extensão espacial POSTGIS. O

principal motivo de ter escolhido essas tecnologias foi o fato de serem *software* livres, de código aberto, de fácil compreensão e manipulação. Sendo assim, a própria manutenção do sistema será facilitada, por se tratar de uma tecnologia aberta. Além disso, as arquiteturas do POSTGRESQL e do POSTGIS são compatíveis com a especificação do *Open Gis Consortium*. Ambos foram satisfatórios no desenvolvimento de um banco de dados espacial e temporal.

SISTEMA WEB ESPACO-TEMPORAL - SWeET

➤ O SWeET foi desenvolvido a partir de tecnologias de *software* livre: O SGBD PostgreSQL, com sua extensão espacial POSTGIS e o visualizador MapServer. O fato de ter usado *software* livres nesse sistema tornou o projeto altamente viável, visto que não foi necessário adquirir licenças comerciais (como acontece com o SGBD Oracle) e/ou contratar profissionais especializados para realizar a implementação. O uso de *software* não-proprietários permitiu uma liberdade maior no estágio de desenvolvimento atual, como também facilitará modificações futuras.

➤ A utilização do servidor Apache, da união do PHP com Mapscript e das linguagens de consulta SQL e SQL Spatial possibilitou o desenvolvimento de um sistema enxuto, simples, de fácil manipulação e rápida compreensão. O SWeET tem todo o aparato tecnológico necessário para atender às demandas de projetos de monitoramento ambiental e ser disponível via Web.

➤ O SWeET pode ser considerado uma adaptação mais amigável do SWIGG, com tecnologias mais simples e igualmente eficientes (o SGBD Oracle no SWIGG foi substituído pelo SGBD PostgreSQL/Postgis no SWeET) e uma manutenção e adaptações mais simplificadas, visto que é totalmente baseado em *software* livre, onde o acesso e aprendizado tornam-se mais acessíveis ao usuário e ao desenvolvedor.

➤ Trata-se de um sistema capaz de acessar dados espaciais disponíveis em seu banco de dados, que permite a análise desses dados para épocas distintas e apresenta a evolução qualitativa e quantitativa de setores com a passagem do tempo. O resultado comparativo se apresenta na forma de mapa e também numérica, sobre o quanto foi perdido ou resgatado em

área em determinado setor. Essa simulação de situações que analisam o passado permite entender o presente e subsidia nas projeções de eventos futuros.

➤ Essa estratégia de abordagem na modelagem do mundo real permitiu o desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de auxiliar nas tomadas de decisões operacionais em questões cruciais que necessitam de informações confiáveis e válidas. O monitoramento ambiental de áreas sob risco decorrente das atividades da indústria do petróleo é um dos campos de pesquisa que pode se valer muito desses tipos de sistema.

6.2. RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados obtidos, algumas recomendações são sugeridas a fim de estabelecer melhorias futuras ao trabalho, além de aprimorar e expandir o desempenho dos sistemas computacionais implementados:

➤ Continuidade no monitoramento ambiental de áreas costeiras, em particular as áreas entre São Bento do Norte e Macau, com o objetivo de avaliar as modificações ocorridas no meio ambiente decorrente da atuação dos elementos do meio físico e antrópico, acompanhando as alterações sazonais regionais e globais, como a influência do El Niño e La Niña. Este monitoramento deve ser acompanhado da elaboração no AutoMSA de mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo das áreas de estudo, para avaliação do local e para tomadas de decisão relacionadas ao plano de contingência de limpeza do óleo.

➤ Continuidade no armazenamento de dados coletados no banco de dados do SWeET, de forma que essa ferramenta computacional seja a base para futuras consultas, atualizações, inserções e análises dos dados armazenados.

➤ Possibilidade de criar uma tabela única no banco de dados com o aspecto temporal armazenado em tuplas (linhas).

➤ Introdução da temporalidade como extensão do Postgis.

➤ Desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam simulações sobre as condicionantes hidrodinâmicas e de movimentação da mancha de óleo e transporte de

sedimentos nas áreas costeiras, integradas aos sistemas computacionais elaborados. As informações geradas pelo AutoMSA e pelo SWEET poderiam auxiliar esses modelos.

- Adaptação do AutoMSA de modo que ele se torne um sistema temporal
- Padronização da base de dados do SWeET, para que este sistema possa atender a outras necessidades e não somente a problemas de monitoramento ambiental.
- Interação entre o SWeET e o AutoMSA, de modo que eles possam compartilhar seus dados e serviços.
- Disponibilidade do SWeET e do AutoMSA via Web, em portal vinculado ao Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO).

7. Referências Bibliográficas

.....A.....

- Alecrim E. 2006. Conhecendo o servidor Apache (HTTP Server Project). Disponível em: <<http://www.infowester.com/servapach.php>>. Acesso em: 09 fev. 2007.
- Almeida A.C.de & Cordenozzi W.H. 2001. Aspectos Temporais em Sistemas de Informação.
- Alves A.L., Amaro V.E., Vital H. 2003. Application of Remote Sensing for Monitoring and Evaluation of Coastal Morphodynamic on the Northeastern Coast of Brazil: The Açú River Mouth Example. *Journal of Coastal Research*. Special Issue: *Brazilian sandy beaches*. n. 35.
- Amaro V.E., Souza F.E.S.de, Souto M.V.S., Araújo A.B., Nóbrega L.C., Lima F.B., Souza A.S., Melo B.S. & Silva D. R.V. 2002. *Relatório Técnico Final do Estuário Açú-Piranhas*. Projeto Zoneamento Ecológico-Econômico dos Estuários do Estado do Rio Grande do Norte. IDEMA.
- AMSA - Australian Maritime Safety Authority. 1999. *Marine Oil Spill Contingency Plan*. Austrália.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2006. *Anuário Estatístico 2006*. Site oficial. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2006.asp#secao_2>. Acesso em: 12 jul. 2007.
- Antunes D.C., Heuser C.A. & Edelweiss N. 1997. TempER: uma abordagem para modelagem temporal de banco de dados. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*. **4**: 49-85.
- API - American Petroleum Institute. 1985. *Oil spill cleanup: Options for minimizing adverse ecological impacts*. Health and Environmental Science Department. API - American Petroleum Institute. nº 4435. 580p.
- Asmus M. & Kitzman D. 2004. *Gestão Costeira no Brasil – Estado Atual e Perspectivas. Preprint – Versão Preliminar*. Relatório Técnico. Laboratório de Gerenciamento Costeiro, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 63 p.

-----**B**-----

- Barnes R. D. 1984. *Zoologia dos vertebrados*. Ed. Roca. São Paulo, 1179p.
- Batini C., Ceri S. & Navathe S.B. 1992. *Conceptual Database Design: An Entity Relationship Approach*. Redwood, CA: Benjamin Cummings.
- Bertani R.T., Neto A.F.A., Matos R.M.D. 1987. *O Habitat do Petróleo da Bacia Potiguar Emersa*. Boletim de Geociências da PETROBRAS, 1(1):41-49.
- Borges K. & Davis C. 2001. Modelagem de dados geográficos. In: Câmara G., Davis C. e Monteiro A.M.V. (eds.) *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap4-modelos.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2007.
- Borges K.A.V., Davis Jr. C.A. & Laender A.H.F. 2005. Modelagem conceitual de dados geográficos. In: Casanova M.A., Câmara G., Davis Jr. C.A., Vinhas L. & Queiroz G.R. (eds.) *Bancos de Dados Geográficos*. Curitiba, PR, 93-146
- Brookshear J.G. 2005. *Ciência da Computação: Uma Visão Abrangente*. 7 ed. Editora Bookman, Porto Alegre, 512p.
- Buehler, K. & Mckee, L. 1998. *The OpenGIS Guide*. Massachusetts, USA. Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org/>>. Acesso em: 13 mai. 2007

-----**C**-----

- Câmara G. & Monteiro A.M.V. 2001. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. In: Câmara G., Davis C. e Monteiro A.M.V. (eds.) *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2007.
- Câmara G., Medeiros J.S. 1998. Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: Assad E.D. e Sano E.E. (eds.) *Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura*. Brasília, DF, 3-11.
- Câmara G., Casanova M., Hemerly A., Magalhães G., Medeiros C. 1996. *Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas*. In: Escola de Computação, IX. Campinas, SP.
- Câmara G. 1995. *Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos*. Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.

- Caron C. & Bédard Y. 1993. *Extending the individual formalism for a more complete modeling of urban spatially referenced data*. Computers, Environment and Urban Systems, [S.l.], v.17, p.337-346.
- Castro, A. F. 2002. *Modelagem e desenvolvimento de um banco de dados geográficos: Aplicação à elaboração de mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na área costeira entre Galinhos e São Bento do Norte – RN*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 80p.
- Castro A.F., Souto M.V.S., Amaro V.E. & Vital H. 2003. Desenvolvimento e aplicação de um banco de dados geográficos na elaboração de mapas da morfodinâmica costeira e sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo em áreas costeiras localizadas n estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileiro de Geociências*, **33**: 53-64.
- Castro A.F., Grigio A.M., Souto M.V.S., Amaro V.E. & Vital H. 2004a. Modeling and Development of a Geographic Database: Application to the elaboration of oil-spill environmental sensitivity maps in coastal areas of the Rio Grande do Norte State. *Journal of Coastal Research*, **39**.
- Castro A.F., Grigio A.M., Vital H. & Amaro V. E. 2004. Importance and development Geographic Database for analysis of dispersion of flow in the case of oil spill. *In: International Geological Congress, 32, Itália, Proceedings*.
- Castro A.F., Amaro V.E. & Souza C. F. 2005a. A Computational System to Generate Automatic Environmental Sensitivity Maps for Oil Spill and its Application to the Oil Exploration Scenery on the Northeast Brazil. *In: IAMG'05: GIS and Spatial Analysis, 1, Proceedings, Canadá*, p. 161-166.
- Castro A.F., Amaro V.E., Souza C. F. & Vital H. 2005b. Modelagem e implementação de um sistema de automação de mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo. *In: 3º P&D, Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 3, Salvador, Resumos*, p. 89.
- CETESB 2006. *Aspectos Físicos e Químicos*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/oleo/a_fisicos.asp>. Acesso em: 19 dez. 2006.
- Chaves M.S. 2005. *Dinâmica costeira dos campos petrolíferos Macau / Serra, litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte*. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Tese de Doutorado, 102 p.
- Chen P.P.S. 1976. *The entity-relationship model: Towards a unified view of data*. ACM Trans. Database System, New York, n.1.

- Chistofolletti A. 1999. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. 1 ed. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 236p.
- Clark R. B. 1997. *Marine Pollution*, Fourth Edition, Clarendon Press, Oxford
- Coad P. & Yourdon E. 1991. *Object-Oriented Analysis*, 2 ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Correia A.H., Piromal R.A.S., Queiroz G.R. & Souza, R.C.M. 2005. Modelagem de um banco de dados espaço-temporal para desmatamentos e queimadas. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII, Anais*, p. 2619-2627.
- Costa M. 1999. *Evolução de hidrocarbonetos derramados nas zonas costeiras e estuarinas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Cremonini O., Goulart J.P.M., Soares U.M. 1996. O Rifte Potiguar: Novos Dados e Implicações Tectônicas. *In: Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil., 4, São Paulo/SP, Boletim*, p. 89-93.
- Cunha J. de A. da. 2001. *A Gestão Municipal através de tecnologias de Geoprocessamento e Cadastro Urbano – Gerenciamento de Dados Físicos e Sócio-Econômicos do Município de Serra Negra do Norte – RN*. Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 107 p.

.....
D
.....

- Date C. J. 2003. *Introdução a Sistemas de Bancos de Dados*. 3 ed. Editora Campus, Rio de Janeiro, 865p.
- Dias T.L., Câmara G. & Davis Jr. C.A. 2005. Modelos espaço-temporais. *In: Casanova M.A., Câmara G., Davis Jr. C.A., Vinhas L. & Queiroz G.R. (eds.) Bancos de Dados Geográficos*. Curitiba, PR, 147-179.

.....
E
.....

- Edelweiss N. 2003. *Modelos Temporais*. Seminário “Modelos de Dados Temporais” apresentado na disciplina Tópicos Avançados em Modelos de Bancos de Dados, Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do

Sul. Disponível em:
<<http://www.inf.ufrgs.br/~clesio/cmp151/cmp15120031/ModelosTemporais.pdf>>.
Acesso em: 25 abr. 2006.

- Edelweiss N. 1998. Bancos de Dados Temporais: Teoria e Prática. *In: Congresso Nacional da SBC, 18; Jornada de Atualização em Informática, 17, Anais, 57p.*
- Edelweiss N. 1994. Modelagem de Aspectos Temporais de Sistemas de Informação. *In: Escola de Computação, 9, Resumos, 163 p.*
- Egenhofer M. 1994. Spatial SQL: A Query and Presentation Language. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v. 6, n. 1, p. 86-95.
- Egenhofer M. & Frank A. 1988. Towards a Spatial Query Language: User Interface Considerations. *In: International Conference on Very Large Databases, 14th, p. 124-133.*
- Elmasri R. & Navathe S.B. 1994. *Fundamentals of Database Systems*, 2.ed. Menlo Park, CA: Addison-Wesley, 873 p.
- Eriksson J. 1997. Real-Time and Active Databases: A Survey. *In: Andler S.F. & Hansson J. (eds.) Active, Real-Time, and Temporal Database Systems, International Workshop, 2nd, Como, Italy: Springer-Verlag. LNCS1553. Proceedings, p. 1-19.*
- Etzion O., Jajodia S. & Sripada E. (Eds.) 1998. *Temporal Databases: Research and Practice*. Berlin: Springer-Verlag. LNCS1399.
- EUR 1996. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Geographic Information – Data Description – Conceptual Schema Language. Bruxelas: CEN, 1996. (Report CR 287005).

F

- Farias P.R.C. 1997. *Geologia de Superfície da Área de Detalhe de Macau-RN*. Relatório Final. PETROBRAS/GEXP/GELAB, Relatório Interno, 76 p.
- Fernandes R. 2001. *Modelação de Derrames de Hidrocarbonetos*. Trabalho Final de Curso, Licenciatura em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, 124 p.
- Figueiredo F.J.V, Higasi H. & Muraoka Junior L.M. 2003. *XML e Bancos de dados*. Relatório de Graduação, Faculdade de Computação e Informática, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 93 p.
- Freire L.B. 2001. *Modelagem UML de sites de Leilão Virtual*. Departamento de Informática

e Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, 72 p.

FSFeurope – Free Software Foundation. 2002. *O que é Software Livre?* Disponível em: <<http://fsfeurope.org/documents/freesoftware.pt.html>>. Acesso em: 14 fev. 2007.



GESAMP - Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution. 2003. *Impact of Oil and Related Chemicals and Wastes on the Marine Environment*. GESAMP Reports and Studies, N° 50.

Ghezzi C., Jazayeri M. & Mandrioli D. 1991. *Fundamentals of Software Engineering*. 1 ed. New Jersey, Editora Prentice-Hall International, 538 p.

Gomes M.K.N.F. 1997. *Sistemas de Informações Geográficas como Base da Interface do Sistema SAGRI - Sistema Inteligente de Apoio à Atividade Agrícola*. Departamento de Informática e Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, 52 p.

Gomes A. N., Gomes M. N., Marques Junior S. & Ramos R. E. 2001. *Sistema de Gestão Integrada: Uma estratégia competitiva para o setor do petróleo*. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 1º. Natal. **Anais...** Resumos. Natal / RN, v. 1, p. 254.

Grigio A.M., Castro A.F, Souto M.V.S., Amaro V.E., Vital H. 2001. *Análise e integração de imagens óticas na caracterização multitemporal do uso do solo como apoio para confecção do mapa de susceptibilidade ambiental do município de Guamaré-RN*. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 1º. Natal. **Anais...** Resumos. Natal / RN, v. 1, p. 241.

Grigio A. M. 2003. *Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): Simulação de risco às atividades da indústria petrolífera*. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 222p.

Guedes I.M.G. 2002. *Mapeamento da área de influência dos dutos de gás e óleo do Pólo de Guamaré (RN)*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, 78 p.

H

Heuser C.A. 2001. *Projeto de Banco de Dados*. 4 ed. Porto Alegre, Editora Sagra Luzzato, 204 p.

Heuser C.A. 1999. *Transparências para uso com o livro Projeto de Banco de Dados*, Ed. Sagra&Luzzatto, Porto Alegre. Disponível em: <<http://lab.etfto.gov.br/~simone/banco%20de%20dados/cap1.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2006.

Hübler P.N. & Edelweiss N. 1999. Implementação de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Temporal para o Modelo TF-ORM. *In: Semana Acadêmica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul*.

I

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do RN 1999. *Informativo Municipal – Macau*. Natal/RN. v. 05. p. 1-14.

J

Jardim de Sá E.F. 1984. A Evolução Proterozóica da Província Borborema. *In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste*, 11, Recife/PE, *Atas*, p. 297-271.

Jardim de Sá E.F. 1994. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e seu Significado Geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana*. Tese de Doutorado Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 803 p.

K

Kosters G., Pagel B., Six H. 1997. GIS – *Application Development with GeOOA*. *In: International Journal of Geographical Information Science*, I. Londres. v. 11, nº 4.

L

Langran G. 1995. *Time in geographical information systems*. Taylor Francis. Bristol,

Pensilvania, USA.

- Lima Z. M.C. 2004. *Caracterização da dinâmica ambiental da região costeira do município de Galinhos, litoral setentrional do Rio Grande do Norte*. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Tese de Doutorado, 144p.
- Lima Z.M.C., Amaro V.E., Vital H. 2001. Monitoramento da Variação da Linha de Costa de Galinhos / RN Utilizando Fotografias Aéreas e Imagens Landsat5 TM e Landsat 7 ETM+. In: Congresso da Abequa, VIII. Imbé, *Anais*. Resumos. Imbé/RS, v. 1, p. 551-552.
- Lisboa Filho J. 2001. Estruturação e Modelagem de Bancos de Dados para GIS. In: Gis Brasil 2001. Curso ministrado.
- Lisboa Filho J. 2000. *Projeto Conceitual de Banco de Dados Geográficos através da reutilização de Esquemas, utilizando Padrões de Análises e um Framework Conceitual*. Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 212 p.
- Lisboa Filho J. 2000(a). *Modelagem de Bancos de Dados Geográficos*. In: Ladeira M. & Nascimento M.E.M. (eds.). III Escola Regional de Informática do Centro-Oeste. Brasília-DF: SBC - Sociedade Brasileira de Computação. pp.137-171
- Lisboa Filho J. & Iochpe C. 1999. *Specifying analysis patterns for geographic databases on the basis of a conceptual framework*. In: ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems, 7th, Kansas City, USA, *Proceedings*.
- Lisboa Filho J. 1997. *Modelos Conceituais de Dados para Sistemas de Informações Geográficas*. Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Exame de Qualificação, 121 p.
- Lisboa Filho J., Iochpe C. & Garaffa I.M. 1997. *Modelos conceituais de dados para aplicações geográficas: uma experiencia com um SIG interinstitucional*. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, IV, São Paulo, *Anais...*
- Loucopoulos P., Wangler B. & Theodouldis C. I. 1991. The Entity-Relationship Time Model and the Conceptual Rule Language. In: International Conference on Entity-Relationship Approach, 10th, *Proceedings*, p. 181-204.

M

- Matos R.M.D. 1992. *Deep Seismic Profiling, Basin Geometry and Tectonic Evolution of Intracontinental Rift Basins in Brazil*. Cornell University, United States, Doctor Philosophy Theses, 276 p.
- Medeiros C. B. & Jomier G. 1993. Managing alternatives and data evolution in GIS. In: ACM/ISCA Workshop on advances in geographic information systems, Baltimore, USA, November.
- Medeiros C.B. & Pires F. 1998. Bancos de Dados e Sistemas de Informações Geográficas. In: Assad E.D. e Sano E.E. (eds.) *Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura*. Brasília, DF, 31-45.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2002. *Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo*. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, Programa de Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental, Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho.
- Moran T. 1981. The Command Language Grammars: a representation for the user interface of interactive computer systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, **15**: 3-50.

N

- NATRONTEC/ECOPLAN 1995. *Estudo de Impacto Ambiental da Fábrica de Barrilha da ALCANORTE e Implantação de Emissário Submarino no Município de Macau-RN*. Diagnóstico, Análise de Impactos e Programa de Gestão Ambiental, Relatório Final. Rio de Janeiro/Natal.
- Navathe S.B. 1992. *Evolution of Data Modeling for Databases*. Communications of the ACM, New York, v.35, n.9, p. 112-123.
- Neves C.A.O. 1987. *Análise Regional do Trinômio Geração-Migração-Acumulação de Hidrocarbonetos na Sequência Continental Eocretácica da Bacia Potiguar Emersa, NE do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, 71 p.

O

-
- Oliveira J.L., Pires F. & Medeiros C.B. 1997. *An environment for integrated modelling and analysis for geographic information*. In: Geoinformatica, Boston, n.1, p.29-58.
- Oracle 2001. *Oracle9i: Spatial – Student Guide – Volume 1*. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technology/index.html>> . Acesso em: 27 jun. 2007.
- Oracle 2002a. *Oracle9i Database Summary*. Site oficial da Oracle. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technology/index.html>> Acesso em: 27 jun. 2007
- Oracle Spatial 2002. *Oracle Spatial – An Oracle Technical White Paper*. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technology/index.html>> . Acesso em: 27 jun. 2007.
- Oracle Spatial 2002a. *Oracle Spatial – User’s Guide and Reference – Release 9.2*. Disponível em: <http://download.oracle.com/docs/html/A96630_01/toc.htm>. Acesso em: 30 jun. 2007.
- Oracle 2007. *Oracle Technology Network*. Site oficial da Oracle. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technology/index.html>> . Acesso em: 27 jun. 2007.
- Oracle 2007a. *Oracle JDeveloper Overview – An Oracle White Paper*. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technology/products/jdev/index.html>>. Acesso em: 15 fev. 2007.

P

-
- Paladino E.E. 2000. *Modelagem matemática e simulação numérica de trajetórias de derrames de petróleo no mar*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 126 p.
- Pedrosa B. M. 2004. *Ambiente Computacional para Modelagem Dinâmica Espacial*. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 113p.
- PETROMAR 2007. *Rede Cooperativa de Monitoramento Ambiental de Áreas sob Influência da Indústria Petrolífera – Rede 05*. Site oficial da Rede Petromar. Disponível em: <<http://www.petromar.geologia.ufrn.br/index.html>>. Acesso em: 23 jul. 2007.
- POSTGIS 2002. Site oficial do POSTGIS. Disponível em: <http://postgis.refractive.net/>. Acesso em: 14 fev. 2007.

PostgreSQL Global Development Group 2005. *Documentação do PostgreSQL 8.0.0 - Projeto de Tradução para o Português do Brasil.*

Pressman R.S. 1987. *Software Engineering: A practitioner's approach.* 2.ed. New York: McGraw-Hill.

Preto A.G., Tanaka A.K., Campos M.L.M. 1999. *MetaSIG: Ambiente de Metadados para Aplicações de Sistemas de Informações Geográficas.* In: Moura A.M.C. e Peixoto M.V. (eds.). Relatório Técnico N° 048/DE9/99. Departamento de Engenharia de Sistemas, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 22 p.

-----**Q**-----

Quintarelli E. 2004. *Model-Checking Based Data Retrieval: an application to semistructured and temporal data.* 1 ed. Editora Springer, 136 p.

-----**R**-----

Ramalho R. 2000 *Petróleo e Meio Ambiente.* Revista Ciência Hoje. Dezembro/2000.

Rational Software Corporation. 1997. *The Unified Modeling Language: notation guide,* version 1.1.

Rocha L.V. 2001. *GeoFrame-T: Um framework conceitual temporal para aplicações de Sistemas de Informações Geográficas.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 138p.

Rumbaugh J. 1996. *OMT insights: perspectives on modeling from the Journal of Object-Oriented Programming.* New York: SIGS Books, 390p.

-----**S**-----

Schiel U. 1996. *Aspectos Temporais em Sistemas de Informação.* Relatório Técnico N° DSC/001/96. Departamento de Sistemas e Computação, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 38p.

Sellis T. 1999. Research Issues in Spatio-temporal Database Systems. In: Güting R.H., Papadias D. & Lochovsky F. (eds.) *Advances in Spatial Databases,* International

- Symposium, 6th, Hong Kong, China: Springer-Verlag. LNCS1651. *Proceedings*, p. 5-11.
- Sellis T. 1999a. CHOROCHRONOS – Research on Spatial-temporal Database Systems. *In*: Agouris P. & Stefanidis A. (eds.). ISD'99, LNCS1737, pp. 308-316.
- SEPLAN 1997. *Plano de desenvolvimento sustentável do RN*. Natal, Secretaria de Planejamento e Finanças, Governo do Estado do Rio Grande do Norte.
- Shekhar S. 1997 *Data models in geographic information systems*. CACM, v.40, n.4.
- Silberschatz A., Korth H.F. & Sudarshan S. 1999. *Sistema de Banco de Dados*. 3 ed. Pearson Makron Books, São Paulo, 778 p.
- Silva C.G. 1991. *Holocene Stratigraphy and Evolution of the Açu River Delta, Rio Grande do Norte State, Northeastern Brazil*. Duke University, United States, Doctor Philosophy Theses, 359 p.
- Silva R.L.C. & Nogueira A.M.B. 1995. Estratigrafia da Porção Emersa da Costa do Rio Grande do Norte. *In*: Simpósio Sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira NE do Brasil, 1, *Anais*, p. 144-147.
- Silveira I.M. 2002. *Estudo evolutivo das condições ambientais da região costeira do município de Guamaré – RN*. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 172p.
- Snodgrass R. T. 1995. *The TSQL2 Temporal Query Language*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Soares V.G. 2005. *Bancos de Dados Não-Convencionais*. Aulas ministradas na disciplina “Bancos de dados não convencionais” do Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <<http://www.di.ufpb.br/valeria/BDNC/Aula1-BancosdeDadosnaoConvencionais.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2006.
- Souto M. V. S. 2004. *Análise Multitemporal dos elementos geoambientais da região da Ponta do Tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra, Município de Macau / RN*. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 112p.
- Souto M.V.S. 2002. *Análise multitemporal dos elementos geoambientais da dinâmica costeira da ponta do Tubarão, Macau-RN, com base em produtos de sensoriamento remoto e SIG*. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 67 p.

- Souza C. S. de, Leite J. C., Prates R.O. & Barbosa S.D.J. 1999. Projeto de Interfaces de Usuário: Perspectivas Cognitiva e Semiótica. *In: Jornada de Atualização em Informática, Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, XIX, Anais.*
- Souza C.F. 2004. *Sistema WEB de Informação Geográfica para Gestão Ambiental: Monitoramento da ação da indústria petrolífera nas áreas costeiras do litoral norte do RN.* Relatório de Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 45 p.
- Souza C.F. 2006. *Sistema integrado para tomada de decisão espacial em situações de derramamento de óleo no litoral norte do estado do RN.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 83 p.
- Souza C. R. B. 1998. *Um framework para editores de diagramas cooperativos baseados em anotações.* Dissertação de Mestrado, Campinas: Unicamp.
- SRHPE – Secretaria de Recursos Hídricos e Projetos Especiais. Programa de Ação para o Desenvolvimento do Turismo no Nordeste (PRODETUR). 2002. *Relatório dos Mapas Temáticos do Rio Grande do Norte.* VBA Consultores. Biblioteca do IDEMA/RN. Natal/RN, 131 p.

T

- Tabosa W.F. 2000. *Dinâmica costeira da região de São Bento do Norte e Caiçara do Norte – RN.* Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Monografia de Graduação, 76 p.
- Tabosa W.F. 2002. *Monitoramento costeiro das praias de São Bento do Norte e Caiçara do Norte – RN: Implicações para o Pólo Petrolífero de Gamaré.* Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 112 p.
- Tabosa W.F. 2006. *Morfologia e sedimentologia da plataforma continental brasileira adjacente a São Bento do Norte e Caiçara do Norte – RN / NE Brasil.* Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Tese de Doutorado, 112 p.
- Tansel A.U. 1993. *Temporal Databases: Theory, Design and Implementation.* Bridge Parkway: Benjamin/Cummings. p. 633.
- Therivel R. 1992. *Strategic Environmental Assesment.* 1 Ed. Earthscan Publications, Londres.

Thomas D.S.G & Alisson R.J. 1993. *Landscape Sensitivity*. Chichester, John Wiley & Sons.

Times V.C. & Salgado A.C. 1994. *Uma Modelagem Orientada a Objetos para Aplicações Geográficas*. In: Simpósio Brasileiro de Banco de Dados, 9, São Carlos -SP. *Anais...*

V

Van den Berg P. 1998. *Canada's Approach to Marine Spill Contingency Planning*. Brazilian National Contingency Plan Workshop, Rio de Janeiro, Brazil.

Z

Zern R.C. 2005. *O Oceano e a Sociedade – De onde viemos?* Trabalho premiado no Concurso Elisabeth Mann Borghese 2005, Centro Operacional SWAO do Instituto Internacional dos Oceanos, Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná.

W

WebMapIt 2007. *Introdução ao MapServer*. Disponível em:

<<http://www.webmapit.com.br/mapsver-intro/>>. Acesso em: 13 fev. 2007

Worboys M. F. 1998. *GIS - a computing perspective*. Bristol - PA: Taylor & Francis Inc, 376 p.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)