



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO DE OCEANOLOGIA



# DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SANGRADOUROS NA SENSIBILIDADE AO ÓLEO DAS PRAIAS ARENOSAS DO RS

ELAINE BARONI DE OLIVEIRA

Orientador: Dr. João Luis Nicolodi  
Co-Orientador: Dr. Lauro Júlio Calliari



2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO DE OCEANOLOGIA



# DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SANGRADOUROS NA SENSIBILIDADE AO ÓLEO DAS PRAIAS ARENOSAS DO RS

ELAINE BARONI DE OLIVEIRA

Monografia apresentada ao Curso de Graduação de Oceanologia da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito para a obtenção do grau de Oceanólogo.

Orientador: Dr. João Luis Nicolodi  
Co-Orientador: Dr. Lauro Julio Calliari



**MCTI** Ministério da Ciência,  
Tecnologia e Inovação

**prh** Programa de  
Recursos Humanos  
da ANP



**FINEP**

**PETROBRAS**



RIO GRANDE  
Fevereiro de 2014



## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	11
1.1.	O Petróleo e o Meio Ambiente .....	11
1.2.	Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo.....	16
1.3.	Índice de Sensibilidade do Litoral .....	17
1.4.	Sangradouros .....	21
2.	OBJETIVOS .....	22
2.1.	Objetivo Geral.....	22
2.2.	Objetivos Específicos: .....	22
3.	ÁREA DE ESTUDO .....	23
3.1.	Aspectos geológicos .....	24
3.2.	Aspectos climáticos e oceanográficos .....	27
3.3.	Sangradouros.....	29
4.	METODOLOGIA.....	31
4.1.	Distribuição e Densidade dos Sangradouros.....	31
4.2.	Marés Meteorológicas .....	32
4.2.1.	Mapa de Inundação.....	32
4.3.	Mapeamento dos ambientes afetados .....	33
4.4.	Hierarquização da Sensibilidade (ISL).....	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
5.1.	Sangradouros.....	34
5.2.	Marés Meteorológicas .....	39
5.2.1.	Área de Inundação .....	40
5.3.	Ambientes .....	43
5.4.	ISL.....	51
6.	CONCLUSÕES .....	56
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	56
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
9.	Anexo 1 .....	63
10.	Anexo 2 .....	64
11.	Anexo 3 .....	65

## Metamorfose oceânica

*“Sentei-me diante do mar infinito  
A tocar suavemente o chão,  
Arrasando cada centímetro dele.  
Eu observei e quis deslizar-me  
Ser cada contorno seu,  
Misturar-me em seus abismos,  
Ser o mistério que invade, observa, infiltra  
Em cada vida,  
Em cada minúscula ou maiúscula vida.  
E dormi observando teu perfume  
Teu sal a purificar cada centímetro meu  
E não acordei ou acordei  
Flutuando  
Eu ia e vinha  
Pois eu era ainda ínfima,  
Mas uma parte de ti  
E dormi eu.  
E acordei onda”*

Mariana Yoshida

## AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço aos meus pais, que não só me apoiaram, mas investiram em mim nestes cinco (ou melhor 24) anos. Às minhas irmãs, Glau e Grazy e a toda a minha família por todo o apoio. **Este trabalho eu dedico a vocês!**

Ao Renato, por estar ao meu lado estes cinco anos, compartilhando suas risadas, sonhos e medos, por ter me emprestado sua família e por ter me aceito do jeito estranho que sou.

A todos os amigos que me acompanharam, criticaram, apoiaram e ajudaram em todas as minhas escolhas.

Obrigada ao João Nicolodi, pela orientação, ajuda e paciência na confecção deste trabalho, pela oportunidade de trabalhar no projeto “Cartas SAO Bacia de Pelotas” (projeto no qual este trabalho está inserido) e por todas as oportunidades fornecidas nestes últimos dois anos.

Ao Lauro Calliari, primeiramente pela indicação, segundo pelo direcionamento do trabalho e por fim pela coorientação.

Agradeço também ao Humberto pela disponibilização dos arquivos LIDAR, pela ajuda nos programas e na criação do MDT. Ao Natan Maia pelos pacientes emails e por toda a explicação sobre a metodologia do mapa de inundação. Ao Christian por ter me direcionado nos dados de elevação do nível do mar.

Ao Guga (Mapsmut) pelos ensinamentos de geoprocessamento, pela ajuda no Arc e nos mapas finais.

A todo mundo do LOG, pela estrutura e recursos, pelas conversas de corredor e por todo o auxílio.

Ao PRH-27, pelo apoio financeiro para a execução deste trabalho, assim como à PV Isabel e ao coordenador Griep por todas as dicas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Transporte marítimo de petróleo (em milhões de toneladas). Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2012 .....	13
Figura 2: Comportamento do Óleo no ambiente. Fonte: Szewczyk, 2006 .....	17
Figura 3: Sangradouro. Fonte: www.praia.log.furg.br .....	21
Figura 4: Área de estudo – localizada entre Tramandaí e Mostardas no Rio Grande do Sul. ...	23
Figura 5: Províncias geomorfológicas do RS e mapa geológico simplificado da Planície Costeira. Fonte: Carraro et al., 1974; Tomazelli & Villwock, 2000. ....	25
Figura 6: Perfil esquemático transversal dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do RS. As barreiras são correlacionadas aos últimos maiores picos na curva isotópica de oxigênio. Fonte: Tomazelli & Villwock, 1998.....	26
Figura 7: Precipitação Trimestral (mm). Fonte: Atlas Eólico do RS.....	28
Figura 8: Áreas alagadas e orientação do campo de dunas transversais nas proximidades do Farol de Mostardas. Fonte: Figueiredo & Calliari (2005).....	29
Figura 9: Variação Sazonal da densidade de sangradouros. Fonte: Figueiredo & Calliari (2005). ....	29
Figura 10: Organograma da metodologia .....	31
Figura 11: Sangradouro fotografado durante saída de campo.....	32
Figura 12: Saída de Campo - validação da posição de microlagoa .....	33
Figura 13: Distribuição dos sangradouros para a área de estudo.....	34
Figura 14: Sangradouros artificiais formados pela drenagem das ruas em Cidreira, RS .....	35
Figura 15: Sangradouros em Dunas Altas - Palmares do Sul/RS.....	36
Figura 16: Canais rasos e largos conectados a lagoas de bolso .....	37
Figura 17: Sangradouro erodindo duna frontal .....	38
Figura 18: Duna frontal escarpada por sangradouro .....	38
Figura 19: Sensoriamento laser scanner LIDAR.....	40
Figura 20: Mapa de Inundação para Quintão/RS.....	41
Figura 21: Mapa de Inundação para Tramandaí/RS.....	42
Figura 22: Microlagoa costeira .....	44
Figura 23: Casas localizadas próximo a microlagoa costeira.....	44
Figura 24: Vilarejo localizado em Quintão/RS .....	45

Figura 25: Área vegetada .....	45
Figura 26: Ambientes do município de Tramandaí .....	46
Figura 27: Ambientes do município de Cidreira .....	47
Figura 28: Ambientes do município de Balneário Pinhal.....	48
Figura 29: Ambientes do município de Palmares do Sul.....	49
Figura 30: Ambientes do município de Mostardas .....	50
Figura 31: Sensibilidade ao Óleo do litoral. Os trechos em vermelho representam as áreas mais sensíveis. ....	51
Figura 32: Sensibilidade ao óleo do litoral. Trechos em vermelho representam áreas mais sensíveis. ....	52
Figura 33: Mapas comparando a sensibilidade ao óleo para a área de estudo. (a) ISL de acordo com a metodologia padrão do MMA. (b) Sensibilidade considerando sangradouros.....	53
Figura 34: Ícone representando áreas sensíveis pela presença de sangradouros.....	54
Figura 35: Carta SAO Pelotas com os ícones de sangradouros posicionados nos trechos sensíveis .....	54
Figura 36: Ícones de sangradouro no litoral de Palmares do Sul.....	55



## LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

Gráfico 1: Preço do Petróleo - 1961 a 2011. Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2012 .....	12
Gráfico 2: Gráficos de Consumo e Produção de Petróleo em 2011. Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2012.....	12
Gráfico 3: Causas de acidentes (>700 toneladas). Fonte: Statistics ITOPF 2012.....	14
Gráfico 4: Transporte de óleo por embarcações (azul) e número de derramamentos de óleo (verde) de 1970 a 2011. Fonte: Statistics ITOPF 2012.....	15
Gráfico 5: Densidade de sangradouros/ 5 km.....	35
Tabela 1: Causas, probabilidades e riscos de acidentes durante o transporte marítimo de petróleo. Fonte: Silva (2004) .....	14
Tabela 2: Índice de Sensibilidade do Litoral. Fonte: Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, MMA 2007 .....	19
Tabela 3: Índice de Sensibilidade Fluvial da Região Amazônica a Derrames de Óleo. Fonte: Petrobrás, 2007.....	20
Tabela 4: Histórico de Elevação Máxima do Nível do Mar .....	39
Tabela 5: Inundação para diferentes valores de elevação do mar no Balneário Hermenegildo/RS. Fonte: Maia (2011) .....	43

## RESUMO

As Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (Carta SAO) são mapas que direcionam os esforços de contenção e limpeza em casos de acidentes com óleo, a fim de priorizar as regiões de maior sensibilidade. Um dos constituintes da Carta SAO é o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL). O ISL classifica a sensibilidade da costa ao óleo baseado nas características geomorfológicas do litoral, segundo o grau de exposição da costa à energia de ondas e marés, declividade do litoral e tipo de substrato. No entanto, para costas arenosas, como a do Rio Grande do Sul (RS), o ISL não se demonstra totalmente eficaz, já que ele classifica longos trechos com o mesmo valor de sensibilidade – o que dificulta a definição de áreas prioritárias e zonas de sacrifício. Se os sangradouros, que são cursos de água que conectam diferentes ambientes posicionados atrás das dunas frontais à praia, fossem considerados, a definição de áreas prioritárias seria mais realística. O objetivo deste trabalho, portanto, é determinar a influência do sangradouro na sensibilidade ao óleo das praias arenosas entre Tramandaí e Mostardas, no Rio Grande do Sul, com a posterior inserção desta variável no ISL. A metodologia envolveu a digitalização dos sangradouros e ambientes da área de estudo, com posterior validação da posição através de levantamento de campo; a criação do mapa de inundação (pela comparação das cotas altimétricas do modelo digital de superfície à uma elevação do nível do mar) e, por fim, a sobreposição de todos os dados a fim de verificar os trechos mais sensíveis. Os resultados referentes aos sangradouros mostraram que, 40% do total contabilizado (foram contatos mais de 300 sangradouros para a área de estudo) estavam associados à drenagem de água em ambientes urbanizados. Como as áreas urbanizadas ocupam um terço do total da área de estudo, podemos confirmar o efeito da urbanização na impermeabilização dos solos e, conseqüentemente, na criação de sangradouros. Quanto à influência dos mesmos na Sensibilidade ao Óleo, vimos que, durante elevações do nível do mar provocadas por marés meteorológicas, áreas naturais sujeitas a sangradouros sofreram inundação de até 300 metros para dentro do continente. Já áreas urbanizadas, como Tramandaí, sofreram inundação de até 500 metros devido à ausência de um cordão de dunas frontais estabilizado. Dentro da área inundada são encontrados diferentes ambientes mais sensíveis, como microlagoas, pequenos vilarejos e áreas vegetadas. Durante um derramamento de óleo associado à elevação do nível do mar, estes ambientes estariam expostos não só à ação do mar, mas também ao óleo derramado. Os trechos onde estas condições ocorrem (alta densidade de sangradouros associados e presença de ambientes sensíveis) foram considerados de prioridade de proteção e demarcados na Carta SAO através da sobreposição de um ícone de sangradouro no mapa. Concluimos, por fim, que os sangradouros são feições importantes para o refinamento da sensibilidade ao óleo, já que os mesmos possuem o potencial de aumentar a sensibilidade de determinados trechos. Para a costa do RS, estas feições podem ser consideradas o diferencial para a definição de áreas prioritárias de proteção e zonas de sacrifício, já que o Índice de sensibilidade do litoral (ISL), que é o responsável por estas definições, não consegue direcionar a resposta ao classificar longos trechos com a mesma sensibilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

Sangradouros são cursos de água os quais dão escoamento às águas pluviais acumuladas atrás das dunas frontais. Áreas com alta densidade de sangradouros estão mais sujeitas à inundação durante os eventos de maré meteorológica devido a conexão destas feições com o oceano. Esta conexão causa a descontinuidade do cordão de dunas frontais, retirando assim a proteção natural que as mesmas oferecem ao avanço do nível do mar. Um derramamento de óleo que ocorra neste cenário terá seus impactos amplificados, já que o sangradouro pode transportar o óleo para dentro do continente, contaminando áreas mais sensíveis, como micro-lagoas costeiras e pequenos vilarejos. Para a costa do Rio Grande do Sul (RS), estas feições podem ser consideradas o diferencial para a definição de áreas prioritárias de proteção e zonas de sacrifício, já que o Índice de sensibilidade do litoral (ISL), que é o responsável por estas definições, não consegue direcionar a resposta ao classificar longos trechos com a mesma sensibilidade.

O ISL é uma metodologia oficial do Ministério do Meio Ambiente que classifica a sensibilidade da costa ao óleo baseado nas características geomorfológicas do litoral, segundo o grau de exposição da costa à energia de ondas e marés, declividade do litoral e tipo de substrato. Para a classificação da sensibilidade da costa é fundamental o entendimento das inter-relações entre os processos físicos, geológicos e biológicos, assim como padrões previsíveis do comportamento do óleo e do transporte de sedimentos (MMA, 2007).

Apesar da iminente importância dos sangradouros na contingência ao óleo, estes não integram o ISL por serem feições típicas do RS.

### *1.1. O Petróleo e o Meio Ambiente*

O petróleo é um óleo de origem fóssil, formado nas rochas sedimentares, que se tornou a principal fonte de energia do mundo moderno. Além de gerar os combustíveis mais difundidos (gasolina, óleo diesel e querosene), o petróleo é ainda matéria prima para diversos produtos embutidos em nosso cotidiano como os plásticos, tecidos, impermeabilizantes para papéis, pneus, etc. Tanto a dependência, quanto o aumento do preço do barril nos últimos anos (que pode ser visualizado no gráfico 1) geram esforços para a exploração e, conseqüentemente, impulsionam o aumento da produção e consumo do mesmo.

### Preço do Petróleo Bruto 1861 - 2011

Dólar EUA por barril

Eventos do mundo

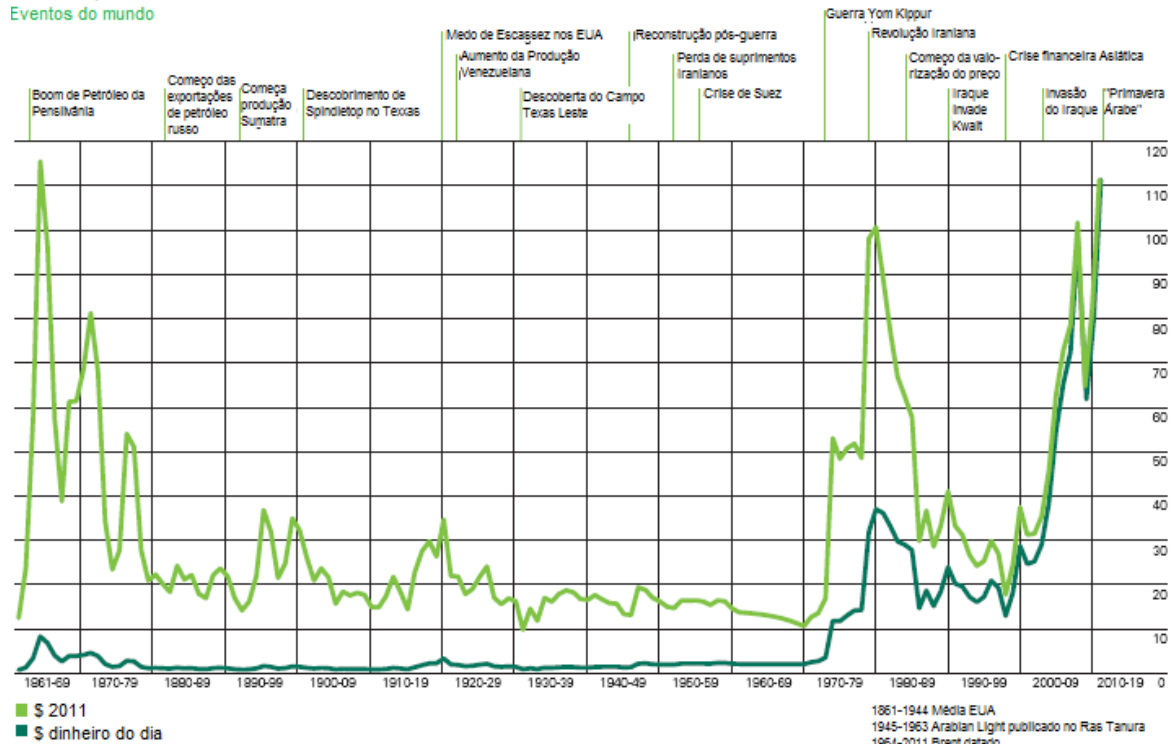
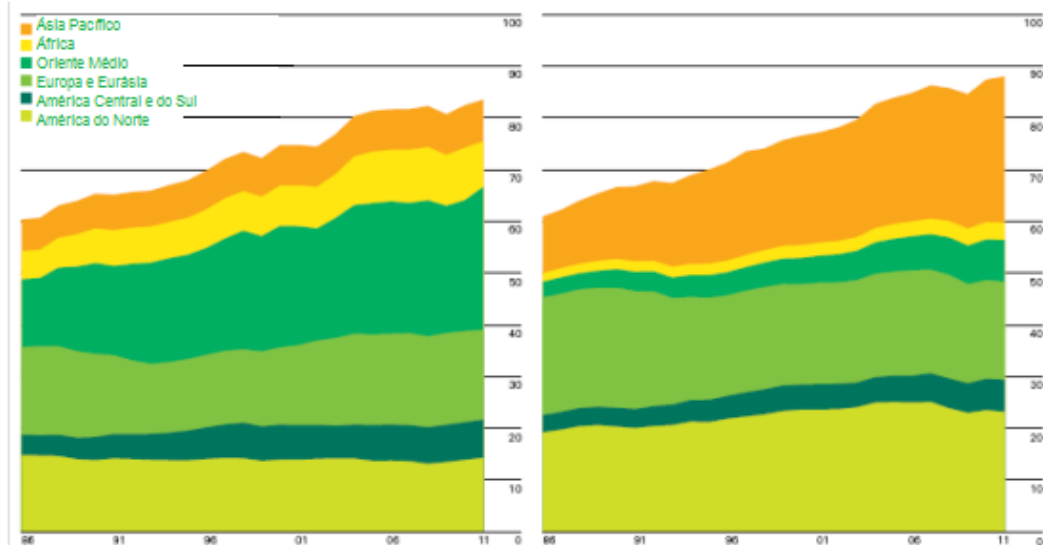


Gráfico 1: Preço do Petróleo - 1961 a 2011. Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2012

De acordo com a Revisão Estatística Mundial de Energia da British Petroleum de 2012 (BP, 2012), a produção anual global aumentou 1,1 milhão de barris/dia, ou 1,3% em 2011, enquanto o consumo mundial foi de 88,03 milhões de barris por dia, um aumento de 0,7% comparado a 2010. A Arábia Saudita, como maior produtor mundial, é responsável por 13,4% da produção, enquanto o Brasil ocupa a 13ª posição com 2,6%. Em relação ao consumo, a Ásia-Pacífico liderou o ranking em 2011 com 32,1% do total, seguida pela América do Norte com 26,3% (ANP, 2012). O gráfico 2 mostra o consumo e produção de petróleo no mundo em 2011.

### Produção por Região

Milhões de Barris por dia



### Consumo por Região

Milhões de Barris por dia

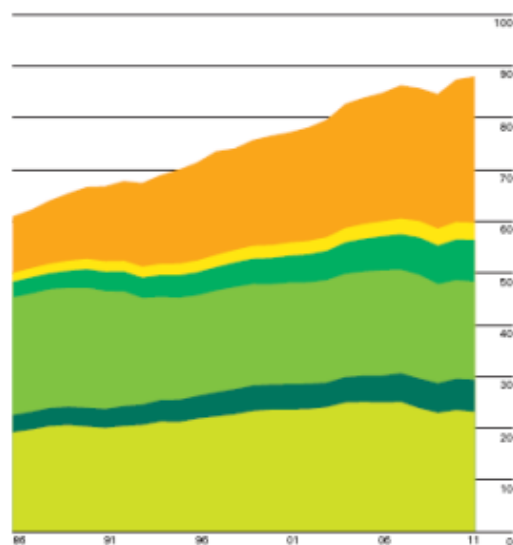


Gráfico 2: Gráficos de Consumo e Produção de Petróleo em 2011. Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2012

No gráfico acima podemos visualizar que os maiores consumidores de petróleo (Ásia-Pacífico e América do Norte) não produzem o suficiente para suprir suas demandas, sendo necessário, portanto, importar petróleo dos países nos quais a produção é superior ao consumo, principalmente do Oriente Médio. Como os campos de oferta não estão, necessariamente, próximos aos locais de procura, tem-se a necessidade de transportar este óleo ao longo do mundo. Este transporte pode ser realizado por caminhões, tubulações (oleodutos e gasodutos) e, em casos de longas distâncias, embarcações. A figura 1 ilustra as principais rotas de transporte marítimo com seus respectivos fluxos (em milhões de toneladas).

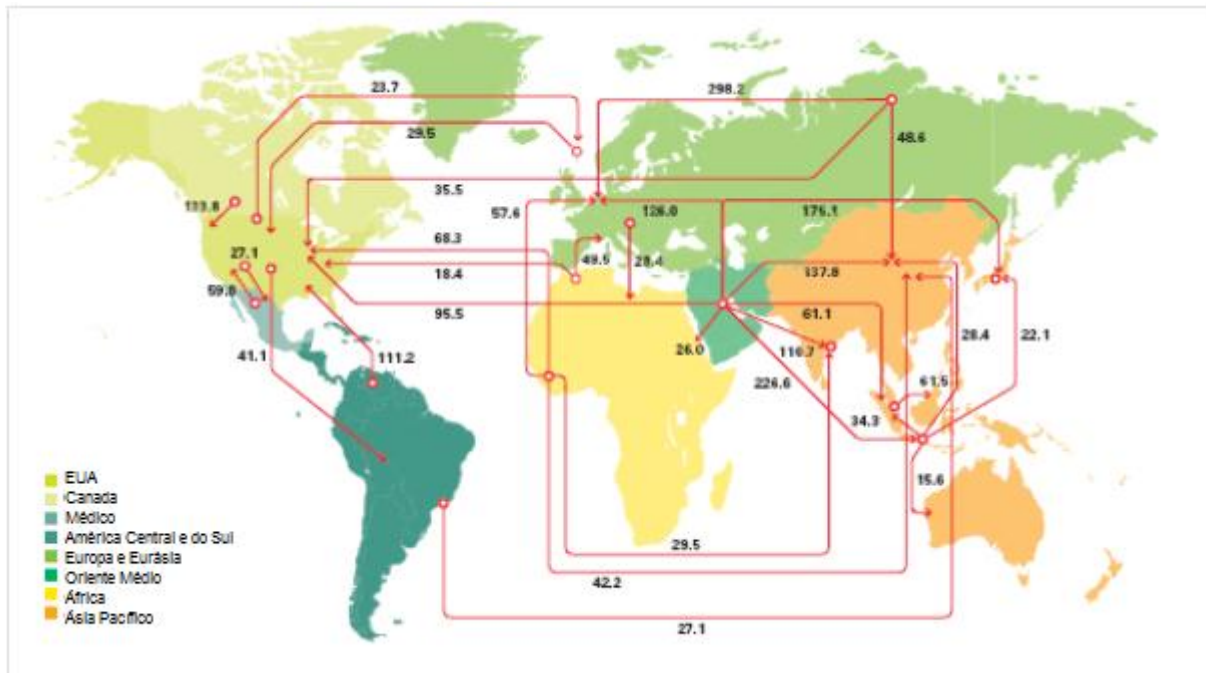


Figura 1: Transporte marítimo de petróleo (em milhões de toneladas). Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2012

Todo o transporte de óleo ao longo do mundo submetem os oceanos e as zonas costeiras a diversos riscos ambientais, já que acidentes são plausíveis de acontecer. A tabela 1 resume as principais causas de acidentes relacionadas ao transporte marítimo com suas respectivas probabilidade de ocorrência e nível de risco.

Tabela 1: Causas, probabilidades e riscos de acidentes durante o transporte marítimo de petróleo. Fonte: Silva (2004)

Causa	Probabilidade	Consequência	Níveis de Risco
Operações de carga de navios de alívio	Média	Muito reduzidas	Reduzido
Descargas ilícitas no mar	Reduzida	Muito reduzidas	Reduzido
Colisões entre navios em áreas próximas do litoral	Reduzida	Graves à muito graves	Médio a Elevado
Colisões entre navios em áreas afastadas do litoral	Reduzida	Graves	Médio
Encalhes de Navios	Reduzida	Graves à muito graves	Médio a Elevado
Falhas no casco	Reduzida	Reduzidas à muito graves	Reduzido à elevado
Incêndios ou Explosões	Reduzida	Média à muito graves	Médio a Elevado
Carga ou Descarga de navios em terminais	Média	Média	Médio
Operações de abastecimento	Reduzida	Reduzidas	Reduzido

Porém, o meio ambiente não está sujeito apenas aos acidentes provocados por embarcações. Diversas são as formas de inserção accidental de óleo no ambiente durante o processo de exploração, produção e refino de petróleo. O gráfico 3 representa as causas para acidentes de grande porte (>700 toneladas).

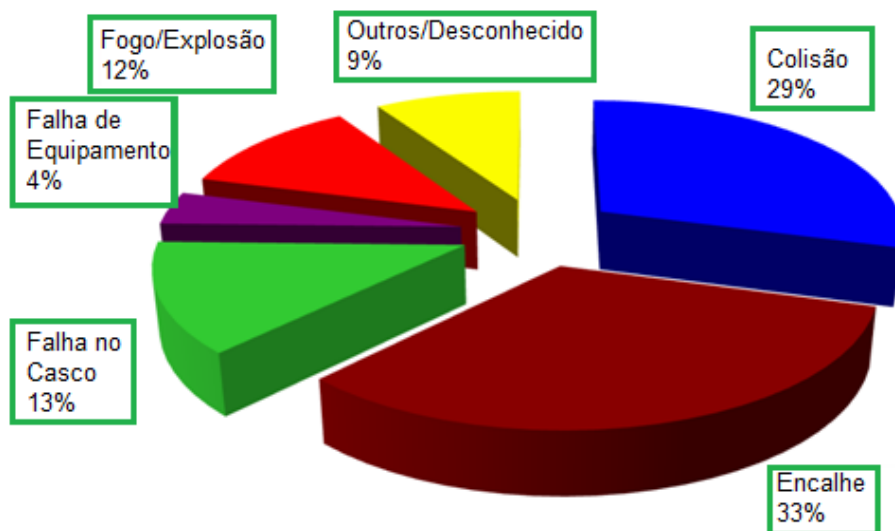


Gráfico 3: Causas de acidentes (>700 toneladas). Fonte: Statistics ITOPF 2012

Como dito anteriormente, todos os processos envolvendo o petróleo expõem o meio ambiente a diversos riscos ambientais. Risco Ambiental pode ser entendido como a possibilidade da ocorrência de dano ao meio ambiente, sendo que o dano, segundo Lyra (1997) representa toda e qualquer forma de degradação que afete o equilíbrio do meio ambiente.

Uma comprovação destes riscos são os diversos derramamentos de grandes (e pequenas) magnitudes que ocorreram ao longo da história e que causaram graves impactos no meio ambiente. Como exemplo podemos citar o acidente envolvendo o Exxon Valdez no Alasca em 1989, onde 37 mil toneladas de óleo foram perdidas, os derramamentos durante a Guerra do Golfo em 1991 onde cerca de 800 mil toneladas de óleo atingiram o mar, o rompimento de um oleoduto em 2000 na Baía de Guanabara que disponibilizou 1,3 milhão de litros de óleo em uma pequena área e o naufrágio do navio Prestige em 2002, onde 40 mil toneladas de óleo vazaram e atingiram as costas da Espanha, Portugal e França (Matos & Lima-Guimarães, 2012).

A fim de amenizar os impactos causados por possíveis danos ambientais, surge o princípio da prevenção, que, de acordo com Fortunato & Fortunato Neto (2011), é denominado como a antecipação à prática de ações que possam causar danos ambientais, adotando medidas gerenciais aptas a proteger o meio ambiente. De acordo com os mesmos autores, a prevenção atua com prévio conhecimento das implicações relativas às intervenções antrópicas quando previsível a ocorrência de impactos negativos ao meio ambiente. Assim, a prevenção aplica-se quando não há dúvida alguma de que os danos possam vir a ocorrer, ou seja, os riscos são previsíveis.

Dentro deste contexto surgem as convenções e as legislações específicas, como a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios (MARPOL 73/78), a Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos Causados por Poluição por Óleo (CLC/69) e a Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo (OPRC/90), para tentar reduzir os riscos de vazamentos das embarcações envolvidas em acidentes (CETESB, 2007). No gráfico 4 podemos visualizar que, mesmo com o transporte marítimo aumentando, ocorreu a diminuição do número de acidentes nas últimas décadas como reflexo das medidas preventivas adotadas.



Gráfico 4: Transporte de óleo por embarcações (azul) e número de derramamentos de óleo (verde) de 1970 a 2011. Fonte: Statistics ITOPIF 2012.

O Brasil, como signatário destas convenções mantém o compromisso de estabelecer uma estrutura nacional de combate à poluição por óleo, instituindo bases amplas (prevenção, controle e fiscalização) para a proteção do ambiente marinho. Neste sentido foram criadas a Lei 9966/2000, conhecida como “Lei do Óleo”, que estabelece os princípios básicos a serem obedecidos na movimentação de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em portos organizados, instalações portuárias, plataformas e navios em águas de jurisdição nacional, o Decreto 4.871/2003 que institui os Planos de Área para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional e a Resolução CONAMA 398/2008 que estabelece as diretrizes para elaboração do Plano de Emergência Individual (PEI) para incidentes de poluição por óleo.

Dentro do contexto da prevenção e contingência estabelecidas pela lei, encontram-se as Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) como instrumentos oficiais para orientação à resposta em caso de acidentes. A Resolução CONAMA 398/2008 insere as Cartas SAO no conteúdo mínimo dos PEIs para incidentes de poluição por óleo, originados em portos organizados, terminais, dutos e plataformas, bem como suas instalações de apoio. Além disso, determina que a análise de vulnerabilidade e os procedimentos para proteção destas áreas deverão tomar como base as informações disponíveis nas Cartas SAO, elaboradas de acordo com as especificações e normas técnicas aplicáveis (MMA, 2007).

### *1.2. Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo*

As Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (Cartas SAO) constituem um componente essencial e fonte primária de informação para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo. Elas representam uma ferramenta fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificarem aqueles ambientes com prioridade de preservação e as eventuais áreas de sacrifício, permitem o correto direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza (MMA, 2007).

A Carta SAO inclui três tipos de informações principais: a sensibilidade dos ecossistemas costeiros e marinhos, os recursos biológicos e as atividades socioeconômicas presentes no ambiente.

Os recursos biológicos incluem plantas e animais presentes na área que sejam sensíveis ao óleo, assim como as áreas de alimentação, nidificação, reprodução, berçários e rotas de migração. Já as informações socioeconômicas identificam as atividades humanas que possam ser prejudicadas por derramamentos de óleo. Estas atividades incluem áreas de lazer e pesca, aquíferos, sítios históricos e culturais, áreas sob gerenciamento especial (como as unidades de conservação), etc.

A sensibilidade da linha de costa classifica as seções do litoral em habitats, de acordo com suas características geomorfológicas, sensibilidade a derramamentos de óleo, persistência natural de óleo e condições de limpeza/remoção. Esta sensibilidade é classificada de acordo com o Índice de Sensibilidade do Litoral – ISL.

O conjunto das Cartas de uma determinada Bacia Sedimentar Marítima deve ser organizado em um Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo que apresenta, além das cartas, informações adicionais, como descrição dos habitats costeiros ocorrentes na região, listagem dos recursos biológicos existentes e informações complementares sobre as atividades socioeconômicas da região (MMA, 2007).



As Cartas SAO possuem um enorme potencial para emprego no planejamento ambiental da zona costeira e marinha, reforçando os instrumentos políticos e administrativos de ordenamento territorial. Dentre as nove bacias sedimentares marítimas, três já possuem o mapeamento concluído: Ceará-Potiguar; Santos e Espírito Santo e duas estão em fase de conclusão: Sergipe-Alagoas/Pernambuco-Paraíba e Sul da Bahia. As demais bacias (Amazonas, Maranhão-Barreirinhas, Campos e Pelotas) estão em fase de construção.

A Universidade Federal do Rio Grande (FURG) é a responsável pelo mapeamento da bacia de Pelotas. O atlas da Bacia de Pelotas está em andamento e tem previsão de finalização em 2014. Cabe ressaltar que os dados obtidos na presente monografia estão inseridos neste projeto<sup>1</sup>.

### 1.3. Índice de Sensibilidade do Litoral

Uma vez derramado no mar, o óleo imediatamente sofre alterações em sua composição original, devido a uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos chamados conjuntamente de intemperismo (CETESB, 2007). A figura 2 mostra os principais processos de intemperismo do óleo.

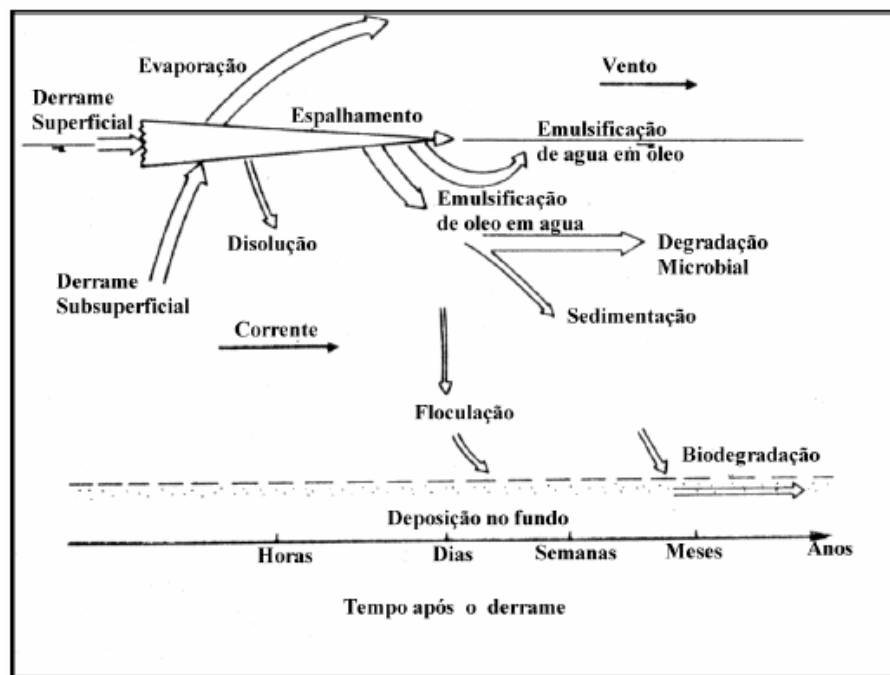


Figura 2: Comportamento do Óleo no ambiente. Fonte: Szewczyk, 2006

Para entender o comportamento do óleo em cada ecossistema tornou-se necessário o conhecimento das informações meteorológicas e oceanográficas, assim como dos aspectos geológicos, geomorfológicos e biológicos, a fim de avaliar em quais ambientes o óleo teria impactos ambientais mais severos.

<sup>1</sup> [www.saopelotas.furg.br](http://www.saopelotas.furg.br)

Após a constatação das mudanças de comportamento do óleo de acordo com o ambiente atingido, surgiu-se a necessidade de obter informações mais detalhadas sobre as características dos diferentes segmentos da zona costeira, com o objetivo de um melhor direcionamento de recursos humanos e materiais, garantindo a eficácia no combate à emergência.

Gundlach & Hayes (1978) foram os responsáveis por uma das primeiras classificações de ambientes costeiros em relação à sensibilidade ao óleo. A sistematização utilizada por estes autores, que classificaram a zona costeira em uma escala de 10 diferentes níveis de sensibilidade, que vai de 1 a 10, é utilizada até hoje nos mapas de sensibilidade. Com base nesta metodologia, a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) criou um manual de elaboração de mapas de sensibilidade para o território norte-americano, com o objetivo de padronizar os mapas que estavam sendo elaborados. Ao longo das últimas décadas, outras propostas foram apresentadas com base nesta metodologia inicial (Matos & Lima-Guimarães, 2011).

No Brasil, a metodologia da NOAA foi adaptada por Araújo *et. al.* (2000) a fim de melhor representar os habitats e feições costeiras brasileiras. Esta adaptação foi utilizada pelo MMA para a criação das “Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamento de óleo” com o objetivo de padronizar os índices e permitir a comparação de Cartas SAO de áreas distintas. Dentro destas especificações está contido o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), que deve ser aplicado a todo o litoral.

O ISL é um índice que hierarquiza os ambientes costeiros em relação à sensibilidade relativa a derrames de óleos, potencial de prejuízo ecológico e facilidade de limpeza, em uma escala de 1 a 10, em ordem crescente de sensibilidade. Esta classificação é baseada nas características geomorfológicas do litoral, segundo o grau de exposição da costa à energia de ondas e marés, declividade do litoral e tipo de substrato (MMA, 2007).

O grau de exposição da costa à energia de ondas e marés irá determinar o tempo de permanência do óleo no ambiente. Quanto menor a energia (característica de ambientes abrigados), maior é o tempo de permanência do óleo e, conseqüentemente, maiores são os danos. Já áreas expostas a mar aberto possuem elevada energia o que diminui o tempo de permanência pela remoção natural do poluente.

A declividade do litoral determina a extensão da zona intermarés. Costas de baixa declividade possuem níveis baixos de energia (que aumentam o tempo de permanência) e amplas superfícies de maré (propícias à instalação de comunidades biológicas). Já litorais muito inclinados levam ao rompimento abrupto e reflexão das ondas com elevadas velocidades, promovendo a limpeza natural.

O tipo de substrato vai determinar ou afetar alguns parâmetros, como permeabilidade, mobilidade do sedimento e permanência do óleo. A permeabilidade do substrato está ligada diretamente à infiltração: quanto maior o diâmetro do grão, maior a infiltração, e, conseqüentemente, maior o tempo de permanência do óleo no ambiente (MMA, 2007).

De acordo com essas três informações, os ecossistemas costeiros foram divididos conforme ilustra a tabela 2.

Tabela 2: Índice de Sensibilidade do Litoral. Fonte: Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, MMA 2007

COR	ÍNDICE	CÓDIGO			TIPOS DE COSTA
		R	G	B	
	ISL 1	119	38	105	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos</li> <li>■ Falésias em rochas sedimentares, expostas</li> <li>■ Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas</li> </ul>
	ISL 2	174	153	191	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos</li> <li>■ Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)</li> </ul>
	ISL 3	0	151	212	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Praias dissipativas de areia média a fina, expostas</li> <li>■ Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo "long beach")</li> <li>■ Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos</li> <li>■ Campos de dunas expostas</li> </ul>
	ISL 4	146	209	241	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Praias de areia grossa</li> <li>■ Praias intermediárias de areia fina a média, expostas</li> <li>■ Praias de areia fina a média, abrigadas</li> </ul>
	ISL 5	152	206	201	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais</li> <li>■ Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação</li> <li>■ Recifes areníticos em franja</li> </ul>
	ISL 6	0	149	32	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Praias de cascalho (seixos e calhaus)</li> <li>■ Costa de detritos calcários</li> <li>■ Depósito de talus</li> <li>■ Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente, quebra-mar) expostos</li> <li>■ Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)</li> </ul>
	ISL 7	214	186	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Planície de maré arenosa exposta</li> <li>■ Terraço de baixa-mar</li> </ul>
	ISL 8	225	232	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Escarpa / encosta de rocha lisa, abrigada</li> <li>■ Escarpa / encosta de rocha não lisa, abrigada</li> <li>■ Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados</li> <li>■ Enrocamentos ("rip-rap" e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados</li> </ul>
	ISL 9	248	163	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas</li> <li>■ Terraço de baixa-mar lamoso abrigado</li> <li>■ Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais</li> </ul>
	ISL 10	214	0	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Deltas e barras de rio vegetadas</li> <li>■ Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas</li> <li>■ Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicum</li> <li>■ Marismas</li> <li>■ Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)</li> </ul>

Entretanto, alguns autores como Marinho (2012) e Martins (2013), entre outros, discutem a eficácia do ISL, pois, de acordo com a metodologia padrão do MMA, todos os ambientes costeiros devem ser enquadrados dentre deste índice e, como ele é restrito a algumas características, ele pode falhar na sua principal função (a definição de áreas prioritárias) ao classificar grandes áreas com a mesma sensibilidade, como acontece com a região costeira do RS. Além disso, por considerar apenas aspectos geomorfológicos, o índice pode mascarar a real sensibilidade de um ambiente ao desconsiderar a riqueza biológica e as atividades socioeconômicas que podem intensificar a sensibilidade de uma área. Devido a estas falhas, diversos são os esforços para aprimorar o ISL.

Um exemplo de adaptação do Índice de Sensibilidade foi realizado pela Petrobrás para a Região Amazônica. Como esta região apresenta peculiaridades em relação ao restante do país, a hierarquização dos ambientes foi realizada dando-se um enfoque nas feições fluviais (que sofrem alagamento durante períodos de intensa pluviosidade). O ISL Amazônico, proposto pela Petrobrás pode ser visualizado na tabela 3.

Tabela 3: Índice de Sensibilidade Fluvial da Região Amazônica a Derrames de Óleo. Fonte: Petrobrás, 2007.

Index		Feição
1		Estruturas artificiais
2		Laje ou afloramento rochoso
3		Corredeira/cachoeira
4		Escarpa/barranco
5		Praia ou banco de areia/seixo exposta
6		Praia ou banco de areia/ seixo abrigada
7		Praia ou banco de lama exposto
8		Praia ou banco de lama abrigado
9		Zona de confluência de rios e lagos
10 a		Banco de macrófitas aquáticas
10b		Vegetação alagada (igapós, várzea, chavascal, campo, etc.)

Outros exemplos incluem adaptações propostas por Pereira (2005), que verificou a influência da permeabilidade da praia e da densidade de sangradouros na vulnerabilidade costeira no âmbito dos planos de contingência; S. Castanedo et al. (2009) que propuseram a integração dos aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos em um único Índice de Vulnerabilidade ao óleo para a costa de Cantábria na Espanha; Marinho (2012), que propôs a inserção de variáveis biológicas na composição do ISL e Martins (2013), que definiu uma metodologia para classificar margens lagunares quanto à exposição a energia de ondas e marés.

Como dito anteriormente, a costa do RS é classificada, em quase toda a sua extensão, com o mesmo ISL (3, que é dado para as praias dissipativas de areia média a fina expostas). Esta classificação pode ser visualizada em mapeamentos de sensibilidade realizados por Oliveira (2006) e Freire (2006). Porém, se o ISL considerasse os sangradouros, que são feições muito comuns no estado e que podem aumentar a sensibilidade ao óleo de uma área, o índice poderia ser aprimorado e a definição de áreas prioritárias seria mais realística.

#### 1.4. Sangradouros

Sangradouros (figura 3) são cursos d'água que fazem parte da drenagem da planície costeira, dando escoamento às águas pluviais coletadas nas depressões e banhados localizados atrás das dunas frontais (Pereira da Silva, 1998).



Figura 3: Sangradouro. Fonte: [www.praia.log.furg.br](http://www.praia.log.furg.br)

Os sangradouros são típicos de praias arenosas, possuem profundidades rasas e desenvolvem-se preferencialmente em praias de características intermediárias e dissipativas, geralmente dominadas por ondas e ventos, cuja morfologia da região de pós-dunas apresenta tendência a acumular e reter mananciais hídricos. São ambientes de nível energético relativamente baixo uma vez que estão protegidos da ação direta das ondas. Sua conexão permanente ou temporária com o mar faz-se através de um canal de ligação ou escoamento das águas acumuladas na região protegida pelas dunas frontais. Tais canais de ligação rompem a barreira e o cordão de dunas frontais, exercendo papel na troca de material entre o mar e a zona costeira, o que lhes diferencia sob o ponto de vista geomorfológico e ambiental de pequenos corpos d'água costeiros (Serpa, 2008).

Estes canais interrompem as dunas frontais, retirando a barreira natural e tornando os ambientes posicionados atrás do cordão de dunas expostos à energia do mar nos casos de maré meteorológica, já que a elevação do nível na costa provoca a reversão do fluxo do sangradouro provocando inundação em áreas continentais. Em um cenário acidental com óleo, portanto, os sangradouros podem ser considerados um acesso do óleo derramado para dentro do continente, dificultando a remoção, contaminando outros ambientes e, conseqüentemente, potencializando os impactos ambientais.

Estudos relacionados aos sangradouros para a costa do RS são recentes. Pereira da Silva, 1998, verificou a ocorrência, distribuição e características morfodinâmicas dos sangradouros para o trecho entre Rio Grande e Chuí. Figueiredo (2002), por sua vez, mapeou a distribuição espaço temporal dos sangradouros para o trecho entre São José do Norte e Mostardas.

Figueiredo & Calliari (2005) mapearam os sangradouros quanto à distribuição espacial, a variação sazonal e os padrões morfológicos para a costa do RS a partir da desembocadura norte da Lagoa dos Patos.

Pereira (2005) criou mapas de sensibilidade ambiental considerando a densidade de sangradouros na costa do RS para dois cenários: um no qual os sangradouros auxiliariam a remoção de sedimentos contaminados e outro no qual esses cursos d'água disponibilizariam o óleo para outros ecossistemas através de sua drenagem.

Figueiredo *et. al* (2007) descreveram e distinguiram as diferentes escalas de fluxos sub-aéreos costeiros intermitentes da retobarreira em direção ao mar, focando nos aspectos morfológicos e nas implicações destes para outros processos costeiros subsequentes.

Serpa (2008) estudou o comportamento de um sangradouro intermitente na Praia do Cassino no RS. Este autor verificou a influência dos fatores climáticos, hidrológicos e morfológicos, assim como da impermeabilização dos solos, no ciclo de vida de um sangradouro.

Calliari *et al.* (2010) verificaram os perigos e riscos associados aos sangradouros, mas não quanto à influência do óleo.

Maia (2011) quantificou a elevação do nível do mar para o balneário Hermenegildo, no RS, em diferentes situações de maré meteorológica. Este autor encontrou os maiores valores de inundação (chegando a cinco quadras) para áreas sujeitas a sangradouros.

Entretanto, o potencial transporte de óleo pelos sangradouros para dentro do continente ainda não foi abordado.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. *Objetivo Geral*

Determinar a influência dos sangradouros na sensibilidade ao óleo de praias arenosas do RS gerando subsídios para a inserção desta variável no ISL.

### 2.2. *Objetivos Específicos:*

- Obter o mapeamento georreferenciado dos sangradouros para o trecho entre Tramandaí e Mostardas, bem como dos sub-ambientes adjacentes;
- Avaliar o comportamento do sangradouro em situações de maré meteorológica, determinado as condições propícias à elevação do nível do mar e inundações para a costa do Rio Grande do Sul;
- Dimensionar o papel dos sangradouros no caso de acidentes com óleo, principalmente em situações de marés meteorológicas;
- Contribuir para o aprimoramento do ISL e das Cartas SAO do RS através da inserção da análise de sangradouros como uma variável morfodinâmica local

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A costa do Rio Grande do Sul é uma longa (640 km) e contínua barreira arenosa dominada por ondas (Calliari *et al.*, 1998) com orientação uniforme NE-SW. A plataforma continental é larga, com 150 a 200 km de extensão, apresentando profundidades máximas variando entre 100 e 140 m e suave declividade da ordem de 0,5 a 1,5 m/km (Martins & Corrêa, 1996).

A área de estudo compreende um trecho de aproximadamente 160 km, localizado entre Tramandaí e Mostardas no RS, posicionado entre as coordenadas 31°12'48.60"S, 50°52'06.44"O e 29°58'36.36"S, 50°07'10.94"O, conforme pode ser visualizado na figura 4.

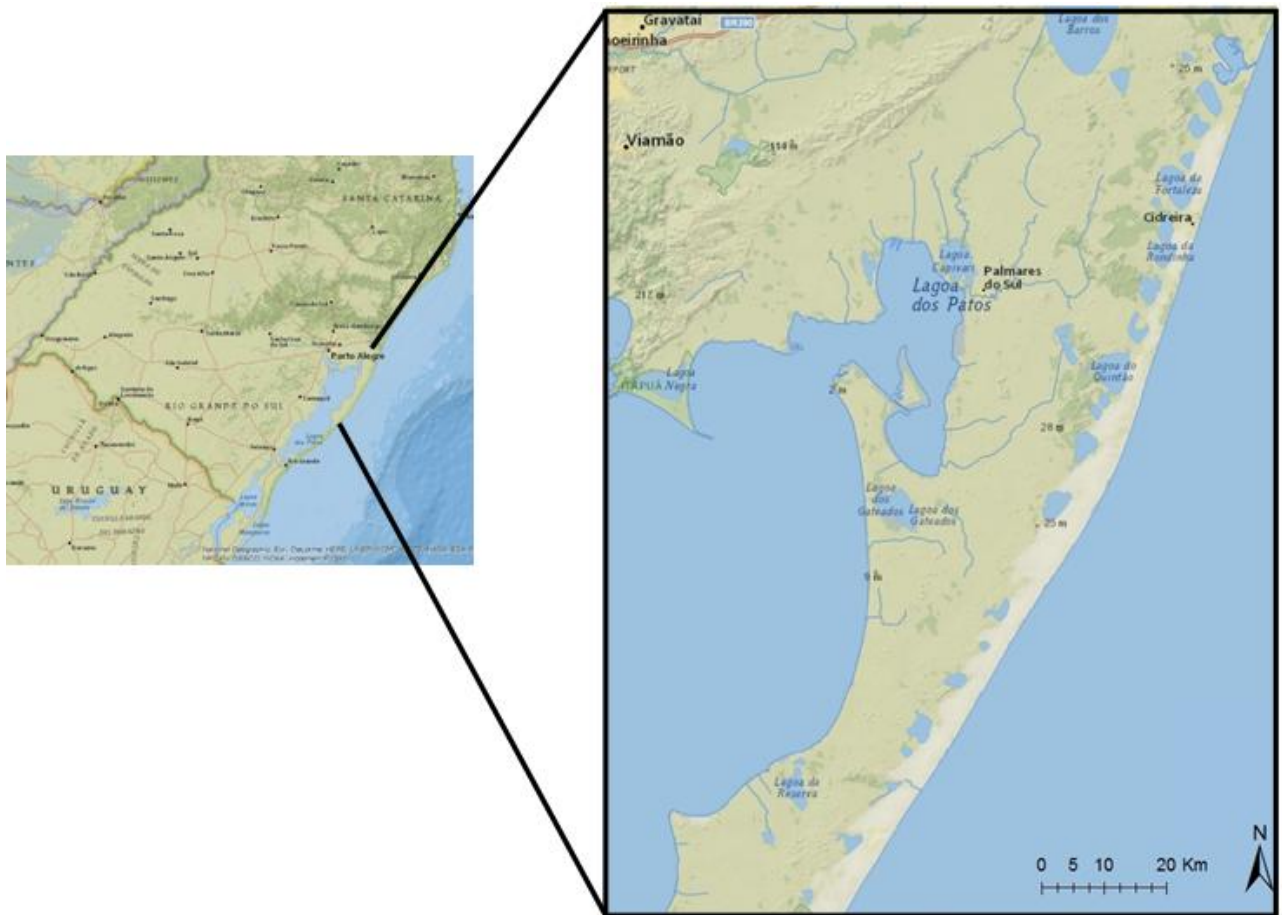


Figura 4: Área de estudo – localizada entre Tramandaí e Mostardas no Rio Grande do Sul.

Segundo Tomazelli & Villwock (1992) as praias do RS são compostas por areia fina, quatzosa, bem selecionada e com assimetria levemente negativa.

Calliari & Klein (1993) e Toldo Jr *et al.* (1993) classificaram as praias do RS como intermediárias a dissipativas de acordo com as sequências morfodinâmicas descritas por Wrigth & Short (1984). Superimposto nesse padrão de comportamento morfodinâmico, é observado a existência de uma diferenciação bisazonal, com o predomínio de um perfil de acreção entre os meses de novembro a março, caracterizado por um maior estoque de sedimentos na porção subaérea da praia e um perfil de erosão entre abril e outubro, caracterizado por um maior estoque de sedimentos na porção subaquosa da praia, sendo essa bisazonalidade função da variabilidade do regime ondulatório.



A topografia da antepraia ao longo do litoral médio consiste de uma larga área com superfície de fundo plana e declividade suave, da ordem de 1:100. Essa uniformidade morfológica é modificada nas proximidades das praias de Mostardas e Dunas Altas, onde a largura da antepraia passa de seus valores médios de 1 km para mais de 3 km. Essas duas praias estão localizadas onde ocorre inflexão da linha de costa, ou seja, mudança do alinhamento da praia entre 10° e 12° (Toldo Jr *et al.*, 2010).

As mudanças na largura da antepraia e do campo de dunas costeiras ocorrem do mesmo modo ao longo do litoral médio: a região com maior largura da antepraia também está associada com a região onde ocorre a maior largura do campo de dunas. A largura média do campo de dunas muda de menos de 1 km para mais de 6 km ao longo das praias de Mostardas e Dunas Altas, respectivamente (Toldo *et al.*, 2006a, 2006b). Calliari *et al.* (2005) quantificaram a altura das dunas frontais para o litoral norte e médio do Rio Grande do Sul. Os autores verificaram que as dunas localizadas entre Cidreira e o Balneário de Dunas Altas, em Palmares do Sul, possuem as maiores alturas, variando entre 6 e 8 metros. Ao sul de Dunas Altas existe uma redução considerável na altura das dunas frontais, as quais decaem para 1 m em um intervalo de 30 km. Nas proximidades do Farol de Mostardas não existe formação de dunas frontais, mas apenas de planícies arenosas.

Devido ao grande volume de sedimentos transportados pela deriva litorânea, com direção resultante para NE, e ao engarrafamento de parte desse volume junto às inflexões da linha de costa em Mostardas e Dunas Altas, a acumulação dessa areia torna-se uma importante fonte de sedimentos para o desenvolvimento da antepraia bem como do campo de dunas costeiras. Em resposta aos fortes e frequentes ventos de NE, o transporte eólico é muito ativo, o que faz as dunas de areia migrar para o interior da planície costeira, na direção SW (Tomazelli *et al.*, 2000), desenvolvendo extensos campos de dunas.

### 3.1. Aspectos geológicos

Carraro *et al.* (1974) propuseram a divisão do estado do RS em quatro províncias geomorfológicas: o Planalto, a Depressão Periférica, o Escudo Sul-Rio-Grandense e a Planície Costeira. A Planície Costeira, com cerca de 630 km, se estende desde Torres, ao norte, até a foz do Arroio Chuí, ao Sul, conforme pode ser visualizado na figura 5.



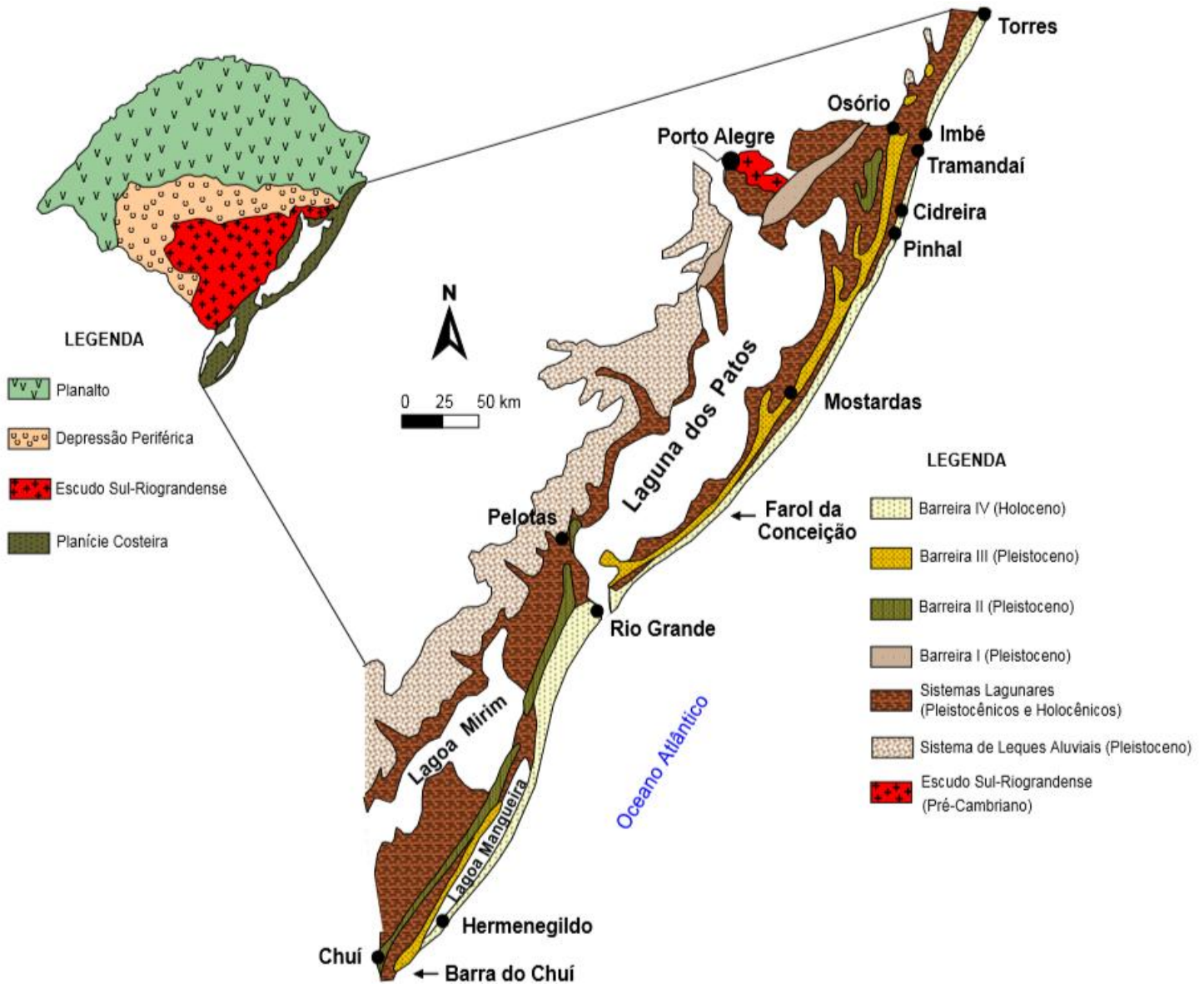


Figura 5: Províncias geomorfológicas do RS e mapa geológico simplificado da Planície Costeira. Fonte: Carraro et al., 1974; Tomazelli & Villwock, 2000.

A geologia e geomorfologia da Planície Costeira do RS foram sintetizadas por Villwock, 1994; Villwock *et al.*, 1986; Villwock & Tomazelli, 1995; Tomazelli & Villwock, 2000. Estes trabalhos mostram que a mesma se desenvolveu durante o Quaternário através do retrabalhamento dos depósitos de leques aluviais acumulados na parte mais interna da planície, junto às terras adjacentes. Estes depósitos foram retrabalhados durante os vários ciclos transgressivos-regressivos glacioeustáticos do Quaternário, levando à geração de pelo menos quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, denominados, do mais antigo ao mais moderno, de sistemas I, II, III e IV (Villwock *et al.*, 1986). Os estudos mostraram que os sistemas I, II e III são de idade pleistocênica, enquanto o sistema IV é de idade holocênica tardia (figura 6). Como a área de estudo se encontra na linha de costa atual, os sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira III e IV serão detalhados.

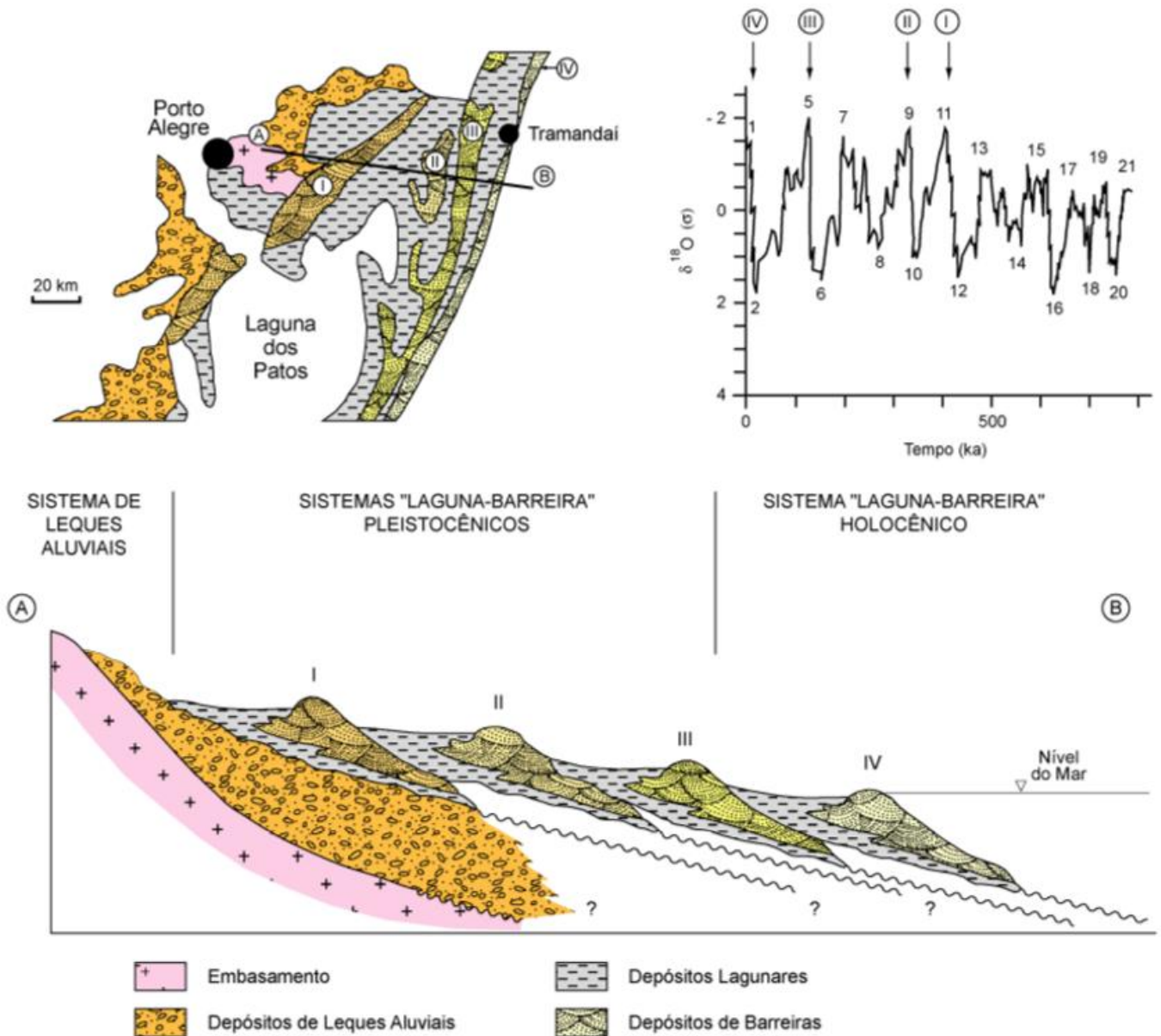


Figura 6: Perfil esquemático transversal dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do RS. As barreiras são correlacionadas aos últimos maiores picos na curva isotópica de oxigênio. Fonte: Tomazelli & Villwock, 1998.

A barreira III possui idade pleistocênica, aproximadamente 125 ka. De acordo com Tomazelli (1985) ela é constituída por uma sucessão vertical de fácies arenosas praias e marinho raso recobertas por depósitos eólicos, indicando claramente uma natureza regressiva. Os sedimentos praias são compostos por areias quartzosas, de cor clara, granulometria fina, bem selecionados e com estratificações bem desenvolvidas. As areias eólicas da cobertura apresentam uma coloração avermelhada e um aspecto maciço.

O sistema Laguna-Barreira IV se estende de forma contínua ao longo de toda a linha de costa. Por ser o sistema mais recente, de idade holocênica, preservou uma maior complexidade de subsistemas deposicionais.

A Barreira IV instalou-se no final da última transgressão pós-glacial, há cerca de 5-6 ka (Villwock & Tomazelli, 1998). Ela é constituída essencialmente por areias praias e eólicas provenientes da erosão da Barreira III e de sedimentos disponíveis na plataforma continental interna. As areias possuem composição quartzosa, granulação fina a muito fina (Martins, 1967;

Villwock, 1972) e, em certos locais, apresentam expressivas concentrações de minerais pesados (Villwock *et al.*, 1979; Munaro, 1994; Dillenburg *et al.*, 2004).

O campo de dunas eólicas da Barreira IV é bem desenvolvido mostrando uma largura variável entre 2 a 8 km e se estendendo praticamente ao longo de toda linha de costa. Em resposta a um regime de ventos de alta energia proveniente de NE, as dunas livres predominantemente do tipo barcanóide migram no sentido SW, transgredindo terrenos mais antigos e avançando para dentro dos corpos lagunares adjacentes (Tomazelli, 1993).

### 3.2. Aspectos climáticos e oceanográficos

A costa gaúcha pode ser classificada como uma costa dominada por ondas (Calliari *et al.*, 1998; Tomazelli & Villwock, 1992), provindas predominantemente de Sudeste e com regimes de micromaré. De acordo com Motta (1969), a ondulação ("swell") e as vagas ("sea") incidentes que entram em águas intermediárias são respectivamente de sudeste e leste-nordeste. A altura significativa de onda é de 1,5 m com períodos de 9 segundos, entretanto, ondas bem maiores acompanham as tempestades e as alturas em águas profundas do quadrante Sul ultrapassam frequentemente os 3,5 m durante os meses de inverno. A altura de onda máxima é de 7 metros e possui período de retorno de 30 anos.

A maré astronômica ao longo da costa do RS é insignificante, sendo a média diária anual de 0,47 m. A maré é predominantemente semi-diurna (Garcia, 1997). Porém, elevações na ordem de 1,5 m acima da maré prevista já foram observadas por Calliari *et al.* (1998) e Saraiva *et al.* (2003) durante eventos de maré meteorológica.

Marés meteorológicas são definidas como uma sobre-elevação do nível do mar além do esperado pela componente astronômica (Pugh, 1987). Estes eventos comumente estão relacionados a sistemas meteorológicos que atingem alta intensidade, transferem energia para o mar e geram grandes ondas, caracterizando situações de tempestades (Tozzi, 1999). Segundo Marone & Camargo (1994) na costa Atlântica do Brasil, o resultado é a sobre-elevação rápida do nível do mar, podendo chegar a 2 m, devido ao empilhamento de água pelos ventos fortes.

Parise *et al.* (2009) monitorando 23 eventos de marés meteorológicas entre junho de 2006 e julho de 2007, encontraram maior frequência de eventos no outono e inverno, com 35% de predominância em cada estação, seguido pela primavera (17%) e verão (13%). Todos os eventos monitorados pelos autores estavam associados com ciclones extratropicais.

Três trajetórias de ciclones geradores de marés meteorológicas foram encontradas por Parise (2007) para o sul do Brasil: ciclogênese ao sul da Argentina afastada da costa com deslocamento para leste e trajetória entre 47,5°S e 57,5°S; ciclonêgese ao sul do Uruguai com deslocamento para leste e trajetória entre 35°S e 42,5°S; ciclogênese ao sul do Uruguai com deslocamento para sudeste e trajetória entre 35°S e 57,5°S.

A penetração de sistemas frontais de latitude média são os principais responsáveis pela maior parte da precipitação ao longo do ano (Nobre *et al.*, 1986). Segundo Reboita (2001), a precipitação não apresenta uma sazonalidade bem definida. A causa desta variação pode estar associada a fenômenos que alteram o clima, tais como, a ocorrência do El Niño, que aumenta a precipitação no sul do Brasil. Por outro lado, a evaporação apresenta uma maior homogeneidade sazonal sendo alta durante os meses de verão e baixa durante o inverno. A precipitação trimestral para o RS pode ser visualizada na figura 7.

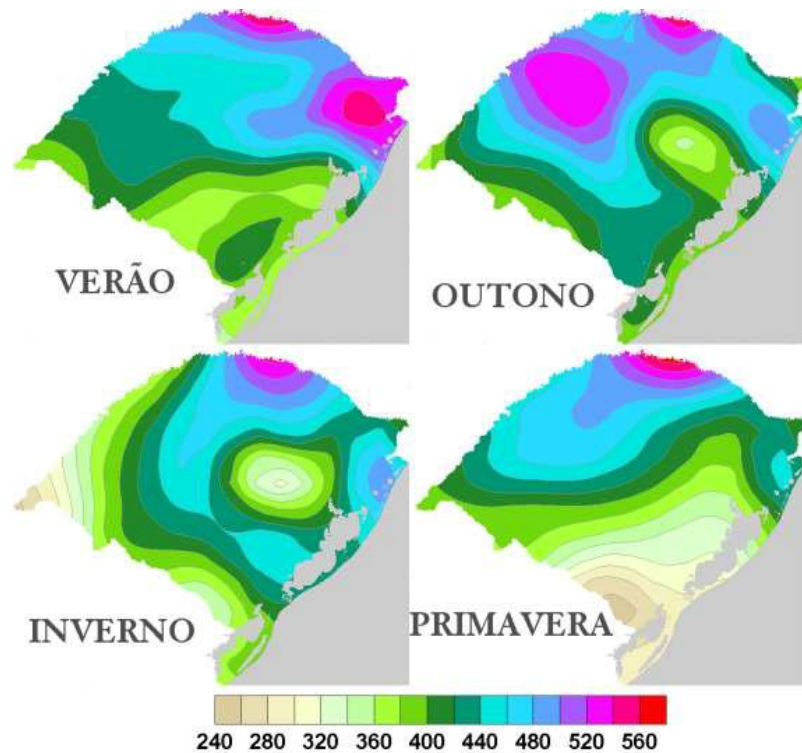


Figura 7: Precipitação Trimestral (mm). Fonte: Atlas Eólico do RS

Os padrões de vento, bem como as trajetórias de massas de ar no sul e sudeste do Brasil estão ligados à posição das altas pressões tropicais e polares. Estas estão associadas com o semifixo Anticiclone Tropical do Atlântico Sul e com o Anticiclone Polar Migratório (Cavalcanti *et al.*, 1986; Fonzar, 1994).

Os sistemas frontais são as perturbações atmosféricas de maior importância para o clima do sul do Brasil. Originados das ondas baroclínicas de médias latitudes, com uma escala espacial de 3 km, eles propagam, usualmente, depois de cruzar os Andes, de sudoeste para nordeste ao longo da costa leste da América do Sul, podendo chegar a latitudes tropicais (Cavalcanti *et al.*, 1986).

O número de frentes frias que chegam à América do Sul entre 35° e 25°S, são, em média, seis por mês, variando entre primavera e verão (Oliveira, 1986).

Os ventos predominantes são de nordeste, mas variações de 180° na direção ocorrem durante e imediatamente após a passagem de sistemas frontais (Calliari *et al.*, 1998). Os ventos dos três setores de norte-nordeste, nordeste e leste-nordeste são mais frequentes e intensos de setembro a abril e mais raros e fracos de maio a agosto. Por sua vez, os ventos de sul e oeste são atuantes, sobretudo, de maio a outubro sendo raros de novembro a abril (Motta, 1969).



### 3.3. Sangradouros

Figueiredo & Calliari (2005), através de levantamentos realizados durante oito anos, verificaram que a distribuição dos sangradouros ao longo da costa não é homogênea.

Quanto aos padrões morfológicos, os autores verificaram que próximo ao Farol de Mostardas, os sangradouros apresentam maior porte, sendo constituídos na grande maioria por cursos intermitentes, com maiores extensão e profundidade. A alta densidade de sangradouros nesta região deve-se a combinação da existência de áreas alagadiças potenciais na retaguarda das dunas frontais e a orientação do campo de dunas transversais mais interiorizadas. Através da figura 8 pode-se visualizar que a morfologia e orientação das dunas facilitam o percurso do sangradouro até a praia.



Figura 8: Áreas alagadas e orientação do campo de dunas transversais nas proximidades do Farol de Mostardas. Fonte: Figueiredo & Calliari (2005).

De acordo com os mesmos autores, a brusca diminuição da densidade de sangradouros em Tramandaí está relacionada à presença da Laguna de Tramandaí, que faz com que a drenagem seja dirigida para o interior do corpo lagunar e daí para a embocadura.

Quanto à variação sazonal, o número médio de sangradouros nos meses de verão é de 3/10 km, e nos meses referentes ao inverno são verificados 9/10 km. Valores de 7 e 8 a cada 10 km foram verificados durante os meses de primavera e outono, conforme visto na figura 9.

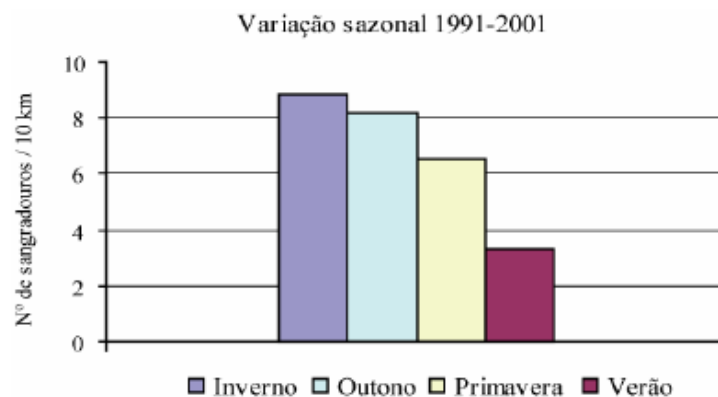


Figura 9: Variação Sazonal da densidade de sangradouros. Fonte: Figueiredo & Calliari (2005).

Durante períodos de alta pluviosidade na porção norte da barreira nas proximidades de São Simão algumas lagoas de bolso localizadas muito próximas à praia transbordam contribuindo para o aumento no número de sangradouros cujas dimensões chegam a alcançar 300 m de largura. Sangradouros originados das lagoas de bolso atingem grandes larguras e profundidades devido a sua grande potência hidráulica. Neste local encontra-se o setor com as dunas frontais mais desenvolvidas da costa do RS sendo a sua descontinuidade quebrada pela presença desses corpos d'água (Figueiredo & Calliari, 2006).

Figueiredo (2002) observou que nas praias do litoral norte do estado, sobretudo nas proximidades de Cidreira, ocorre uma grande concentração de sangradouros, reflexo da urbanização.

Segundo Calliari *et al.* (2010), na porção urbanizada os processos de urbanização associados à redução da área de infiltração e compactação do solo, ambos relacionados a edificações e pavimentação de ruas, visivelmente aumentam a concentração desses cursos d'água. Na maioria dos balneários ao longo da costa do RS, esse fato leva a enchentes relâmpagos nas áreas mais baixas, desencadeando sérias consequências no saneamento básico e na qualidade da água na zona de arrebenção.

Maia (2011) verificou uma maior intrusão da água do mar em situações de marés meteorológicas para as áreas junto às desembocaduras dos sangradouros, uma vez que estas áreas possuem cotas altimétricas menores que as adjacentes e assim são mais susceptíveis à inundação.

Inundação em terras baixas costeiras por água oceânica é gerada, principalmente, pela ação de tempestade que faz o nível do mar elevar acima do nível de maré normal. Esta elevação do nível é conhecida como maré de tempestade ("storm surge") e consiste de dois componentes principais: ventos fortes soprando sobre a superfície do oceano em direção ao continente empilhando água nas zonas costeiras (setup do vento), enquanto baixa pressão atmosférica tende a elevar a superfície do oceano em um efeito de barômetro inverso (setup barométrico). Além disso, um terceiro fator simultâneo é o aumento da altura de quebra de onda, resultando em um aumento do nível da água na zona de surfe ("wave setup"), atingindo áreas mais para o interior do que ondas normais (Benavente *et.al.*, 2006).

A presença de dunas frontais bem desenvolvidas pode ser suficiente para a proteção efetiva contra a elevação do mar durante marés meteorológicas. Porém, a inundação pode ser intensificada em áreas onde as dunas frontais foram seriamente danificadas pela migração lateral dos canais de maré ou pela formação de sangradouros (Benavente *et.al.*, 2006).

Serpa *et al.* (2011) verificaram que, sangradouros de grande porte localizados na praia do Cassino, no RS, os quais são responsáveis pela drenagem do excesso de água pluvial acumulado atrás das dunas frontais, não tem seus campos de dunas adjacentes restaurados durante a estação seca. Por causa disso, estes cursos d'água podem criar uma área susceptível à inundação.

## 4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização do trabalho encontra-se resumida no organograma abaixo:

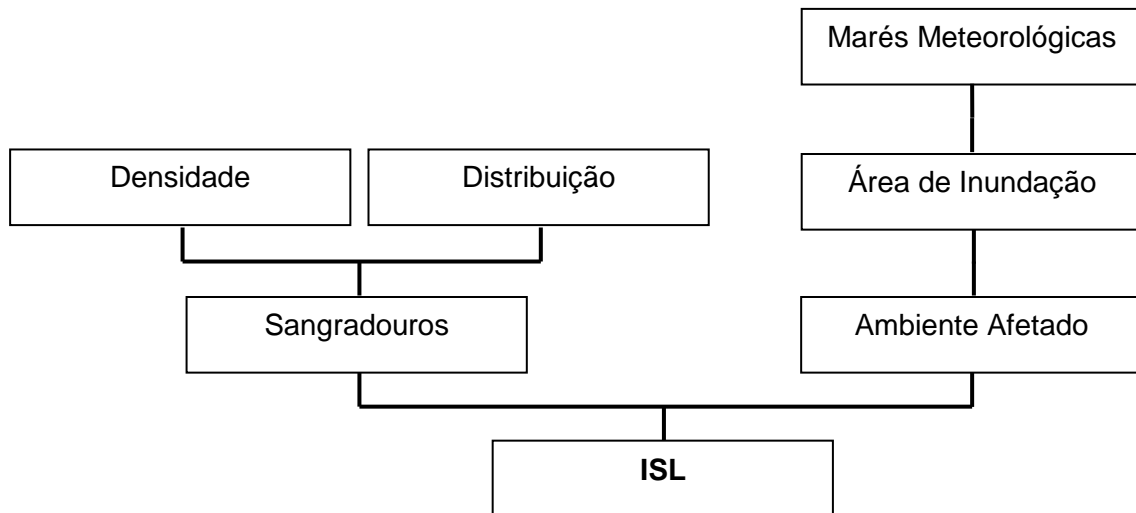


Figura 10: Organograma da metodologia

### 4.1. Distribuição e Densidade dos Sangradouros

Os sangradouros da área de estudo foram digitalizados através do aplicativo ArcMap, do software ArcGis, utilizando-se imagens do banco Bings Map Aerials do programa. O sistema de coordenadas escolhido foi o WGS 84. A digitalização foi realizada em escala 1:3.000. Esta digitalização permitiu verificar a distribuição espacial e a densidade de sangradouros por trechos de 10 km.

A posição e densidade destas feições foram confirmadas através de levantamento bibliográfico e saída de campo. A saída de campo (figura 11) foi realizada entre os dias 09 e 12 de abril de 2013 e teve como objetivo validar a posição dos dados digitalizados e contabilizar a densidade de sangradouros.



Figura 11: Sangradouro fotografado durante saída de campo

## *4.2. Marés Meteorológicas*

Informações quanto ao histórico de elevações do nível do mar e as condições propícias para ocorrência de sobre-elevação foram retiradas da bibliografia. A média de elevação foi calculada a partir do histórico de elevação do nível do mar obtido e sobreposta ao modelo digital de superfície para criação do mapa de inundação.

### *4.2.1. Mapa de Inundação*

Os arquivos XYZ (projetados em UTM, referenciados ao sistema SIRGAS 2000 com altitudes elipsoidais) foram disponibilizados por Vianna (2013). Os dados brutos foram obtidos a partir de um levantamento com sistema LIDAR efetuado em julho de 2010 no litoral norte do Rio Grande do Sul. O recobrimento LIDAR foi executado pela empresa LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento), sendo que os dados foram cedidos para pesquisa pela Secretaria do Patrimônio da União do Rio Grande do Sul (SPU-RS).

O recobrimento LIDAR ocorreu a partir de uma altura de voo de 1000 m, com um ângulo de abertura de 20° e densidade de 2 pontos por m<sup>2</sup> (Vianna, 2013).

Os arquivos XYZ foram utilizados para criação de um Modelo Digital de Superfície (MDS) através de software de geoprocessamento. O software foi utilizado para gerar uma malha regular de pontos através de interpolação, sendo que o método krigagem foi o escolhido.

Os valores de elevação do nível do mar oriundos da bibliografia foram comparados com as cotas altimétricas do MDS, indicando as áreas de potenciais inundações costeiras. Benavente et al. (2006) obtiveram resultados satisfatórios para identificação de áreas vulneráveis à



inundação sobrepondo cotas de elevação do nível do mar ao modelo digital de terreno em Valdelagrana spit, na Espanha.

#### *4.3. Mapeamento dos ambientes afetados*

A área de inundação obtida através de levantamento bibliográfico forneceu o limite de alcance do óleo, ou seja, a área susceptível a impactos. Dentro desta área foram mapeados os seguintes ambientes: microlagoas, dunas, áreas vegetadas e áreas povoadas, que poderiam ser afetados durante um acidente.

A metodologia para mapeamento dos ambientes foi semelhante à dos sangradouros (figura 12). Posteriormente, o sistema de coordenadas geográficas de ambos os mapeamentos (ambientes e sangradouros) foram convertidos para SIRGAS 2000.



Figura 12: Saída de Campo - validação da posição de microlagoa

#### *4.4. Hierarquização da Sensibilidade (ISL)*

A fim de verificar quais trechos são mais sensíveis, foram sobrepostos, no ArcGis, os sangradouros, os ambientes e o mapa de inundação. Foram, então, identificados os trechos com maior densidade de sangradouros conectados a ambientes sensíveis distantes até 300 metros da costa (dentro da área de inundação). Nos trechos urbanizados foram identificadas as áreas com o cordão de dunas ausente (por causa da ocupação urbana em cima das dunas frontais) com alta densidade de sangradouros.

Estes trechos foram considerados de alta sensibilidade e mapeados com um ISL diferente dos outros locais. A diferenciação foi realizada de duas formas: a primeira através da digitalização com uma cor diferente dos trechos considerados de sensibilidade normal, e a segunda pela disposição de um ícone representando sangradouros nos trechos mais sensíveis.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Sangradouros

A distribuição espacial dos sangradouros para a área entre Tramandaí e Mostardas no RS pode ser visualizada na figura 13.



Figura 13: Distribuição dos sangradouros para a área de estudo

A densidade de sangradouros, conforme pode ser visualizado no gráfico 5, não é homogênea ao longo da área de estudo.

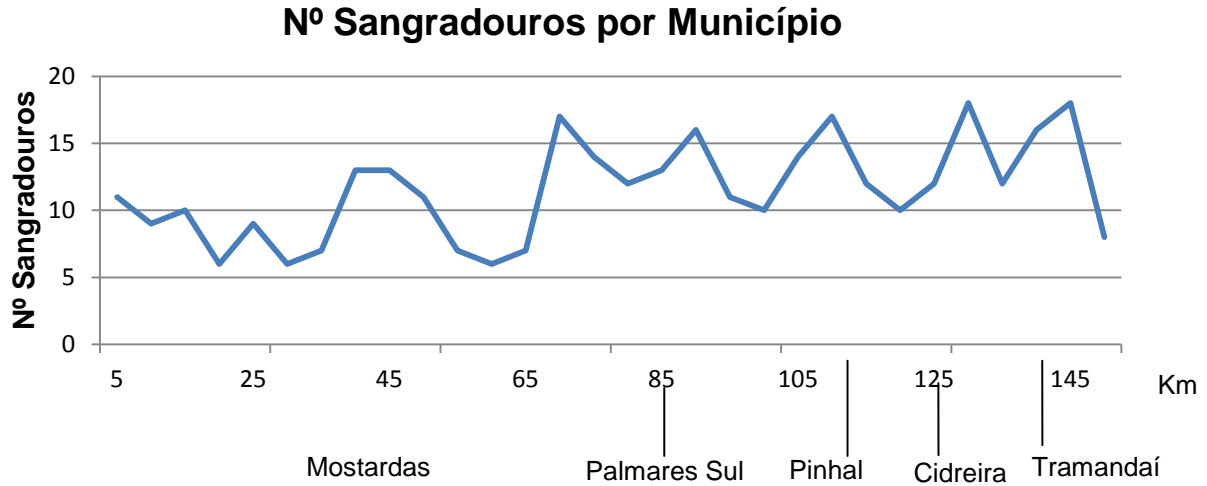


Gráfico 5: Densidade de sangradouros/ 5 km

Locais com maior número de sangradouros estão relacionados às áreas urbanizadas entre Tramandaí e Palmares do Sul. Já os trechos com menor densidade estão localizados na praia de Mostardas.

O alto número de sangradouros em áreas urbanizadas está associado à pavimentação das ruas, que diminui a área de infiltração e causa a impermeabilização dos solos. O excesso de água acumulado é, então, drenado superficialmente até a praia, erodindo a duna frontal e criando um sangradouro ao final de cada quadra, conforme pode ser visualizado na figura 14.

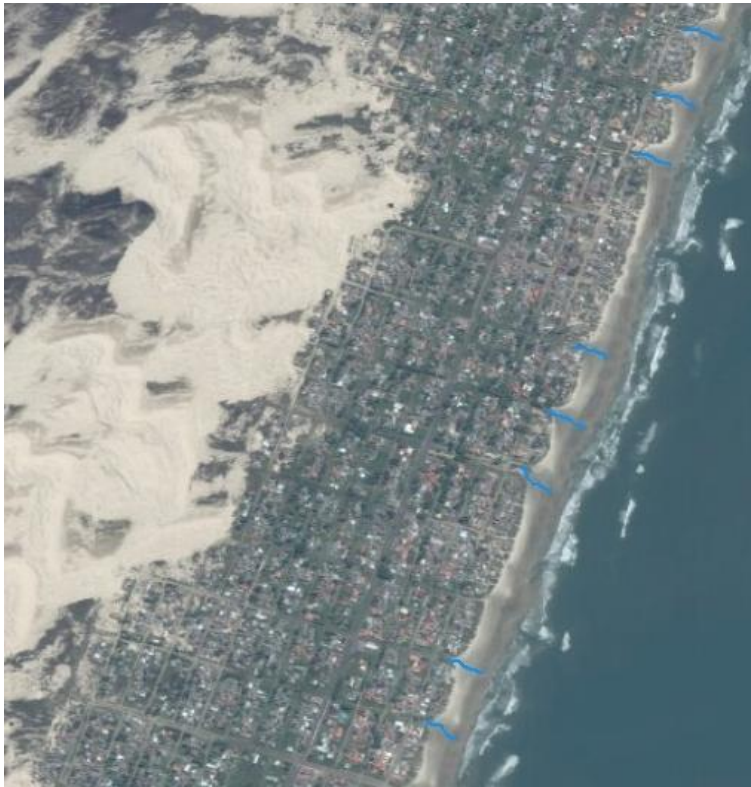


Figura 14: Sangradouros artificiais formados pela drenagem das ruas em Cidreira, RS



Durante o levantamento de campo, mais de 300 sangradouros foram contabilizados ao longo da área de estudo. Destes, aproximadamente 40% estavam distribuídos em áreas povoadas. Considerando-se que os municípios abrangem um terço do total da área de estudo, podemos confirmar os efeitos da pavimentação das ruas na drenagem pluvial.

A partir de Palmares do Sul, no entanto, as áreas povoadas diminuem e a existência de sangradouros passa a estar relacionada à drenagem natural do excesso de água acumulado nas planícies de deflação durante os períodos de alta pluviosidade (figura 15).

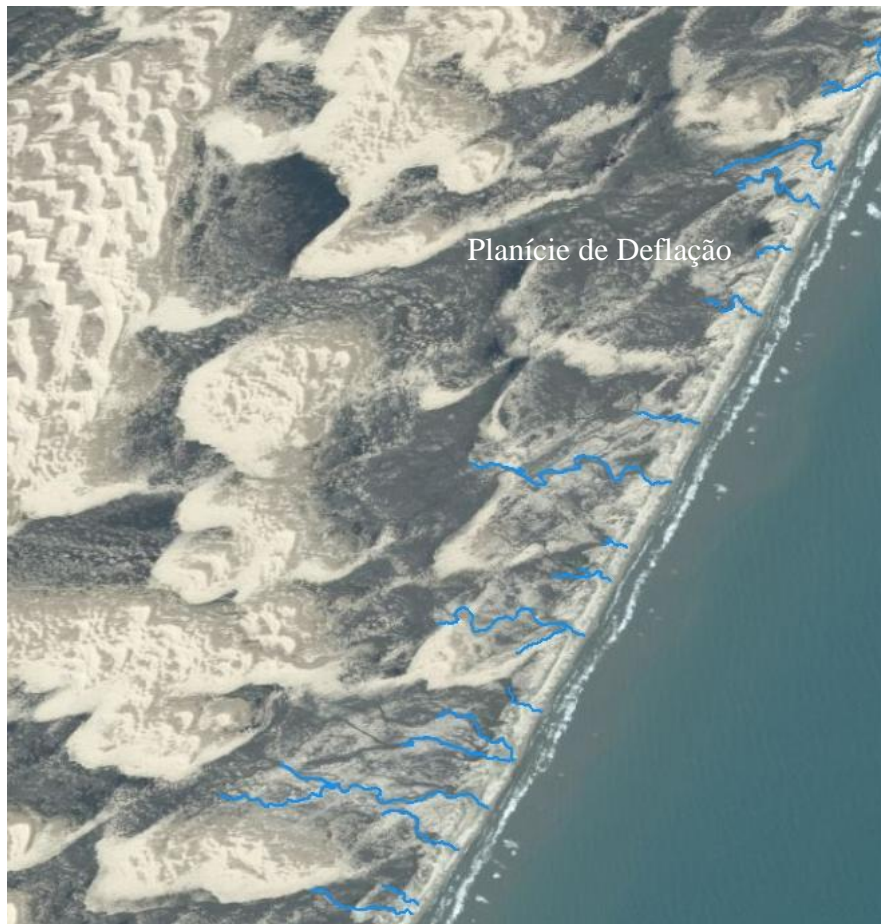


Figura 15: Sangradouros em Dunas Altas - Palmares do Sul/RS.

As planícies de deflação são superfícies planas, horizontais, ou ligeiramente inclinadas, que se estendem desde o limite de maré alta até a base dos campos de dunas, formadas pela deflação do vento, que vai retirando as areias mais finas, até atingir o nível freático, ou uma camada de areias de granulometria mais grossa e resistente, ou então pelo avanço do campo de dunas progressivas, rumo ao continente, deixando para trás uma superfície plana horizontalizada (Aguiar & Cestaro, 2012). Durante períodos de alta pluviosidade, estas superfícies acumulam água, que é, então, drenada para a praia através dos sangradouros.

Os sangradouros também se diferem morfológicamente entre as áreas povoadas e as não. Nas cidades, os sangradouros são curtos, rasos e “canalizados”, ou seja, possuem um curso reto e a posição relativamente fixa. Esta configuração está relacionada ao rápido escoamento da água durante os períodos de elevada pluviosidade. Por sua vez, nas áreas despovoadas, os sangradouros adquirem maiores extensões e profundidades já que a orientação do campo de dunas propicia a formação de longos canais.

Ao longo das áreas despovoadas do litoral norte do RS também é comum a existência de canais rasos e largos, semelhantes a sangradouros, formados durante o transbordamento de lagoas de bolso paralelas à costa durante os períodos de alta pluviosidade (figura 16).



Figura 16: Canais rasos e largos conectados a lagoas de bolso

As lagoas de bolso são corpos de água permanentes, que podem possuir até alguns km de diâmetro. A conexão com o oceano é intermitente e ocorre durante períodos chuvosos (onde o excesso de água é drenado por canais até a praia). Estas feições são abundantes no litoral norte do RS, na região denominada rosário de lagoas de bolso (Figueiredo, 2002).

As aberturas das lagoas de bolso representam um modo de descarga de água para o oceano. As principais diferenças entre estas aberturas e os sangradouros estão relacionadas à dimensão (são mais rasos e largos) e à área fonte de água. Enquanto nos sangradouros a água é oriunda dos pântanos e banhados localizados atrás das dunas frontais, nas lagoas de bolso a fonte é o próprio corpo de água da lagoa (Figueiredo *et al*, 2007).

Além da distribuição de sangradouros não ser homogênea ao longo da área de estudo, ela também é variável, sendo que os valores de densidade por trecho estão relacionados à evaporação e à precipitação. A evaporação, conforme Serpa (2013), é o principal mecanismo responsável pela abertura dos sangradouros devido à sua sazonalidade bem definida. Segundo o autor, durante os meses com menores taxas de evaporação, o lençol freático aflora à superfície, criando os sangradouros. A precipitação por sua vez, acumula água nos banhados e planícies de deflação, propiciando a formação de sangradouros.

De acordo com Serpa (2013), a abertura dos sangradouros parece ocorrer durante ou logo após a passagem de tempestades entre os meses de maio e junho. Segundo o autor, o caráter efêmero do sangradouro parece estar diretamente ligado ao binômio carga hidráulica/hidrodinâmica costeira. Quando a carga hidráulica (energia potencial das águas superficiais e do lençol freático) diminui devido a um balanço hídrico positivo, a hidrodinâmica costeira, impulsionada pelas marés meteorológicas, se encarrega de represar o sangradouro até que exista uma condição favorável para sua formação nos meses mais úmidos.

Os efeitos da precipitação nos sangradouros não se restringem apenas à densidade e abertura, mas também às dimensões dos mesmos. Durante períodos de chuvas intensas, os sangradouros adquirem amplos valores de largura e profundidade. Nestas situações, os sangradouros são responsáveis pela erosão do cordão de dunas frontais, conforme pode ser visualizado nas figuras 17 e 18.





Figura 17: Sangradouro erodindo duna frontal



Figura 18: Duna frontal escarpada por sangradouro

Quando a erosão do cordão de dunas frontais é muito intensa, como nos exemplos anteriores, o cordão de dunas da área desse sangradouro não mais se restitui ao longo dos meses mais secos, constituindo assim uma área permanentemente sensível a alagamentos (Serpa, 2013).

## 5.2. Marés Meteorológicas

As marés meteorológicas que ocorrem no sul do Brasil, normalmente, estão associadas à sobre-elevação do nível do mar na costa, podendo atingir valores superiores a 2 metros, devido ao empilhamento da água pelos fortes ventos (Calliari *et al.*; 1998; Barletta & Calliari, 2002, 2003).

Ao longo dos últimos anos vários autores caracterizaram as marés meteorológicas a fim de verificar as condições atmosféricas durante a ocorrência dos eventos e os efeitos dos mesmos na costa. A partir destes trabalhos foi possível criar um pequeno histórico dos valores máximos de elevação do nível do mar associados a marés meteorológicas, conforme pode ser visualizado na tabela 4.

Tabela 4: Histórico de Elevação Máxima do Nível do Mar

Data	Local	Valor Máximo Elevação (m)	Fonte
10/11/1989	Imbé	1,79	Toldo Jr <i>et al.</i> 1993
Fev/93 a Jul/95	Imbé a Arroio do Sal	2,90	Weschenfelder & Ayup, 2002
14/07/1993	Cassino	2,75	Calliari <i>et al.</i> 1998
21/04/1995	Cassino	2,50	Tozzi, 1999
Abril/1996	Tramandaí	1,73	D'Aquino, 2003
19/01/2005	Mostardas	1,85	Absalonsen & Toldo Jr, 2008
09/05/2005	Mostardas	1,71	Absalonsen & Toldo Jr, 2008
04/06/2006	Tramandaí	3,00	Oliveira, 2008
Agosto/2006	Cassino	1,84	Parise <i>et al.</i> 2009
Junho/2007	Cassino	1,90	Parise <i>et al.</i> 2009

Através deste levantamento foi possível perceber que valores altos de elevação estão relacionados a características atmosféricas semelhantes. Estas características foram agrupadas para obtenção das condições propícias à elevação do nível do mar.

A primeira condição chave para a elevação são ventos fortes provindos do quadrante S-SW (Tozzi, 1999; Beldran *et al.* 2000; Parise *et al.* 2009 e Parise, 2007). Estes ventos sopram paralelamente a costa (devido à orientação NE-SW do litoral gaúcho) e causam empilhamento de água no litoral devido ao transporte de Ekman, já que no hemisfério sul a água é transportada à esquerda da direção do vento (Sobral, 2010).

De acordo com Xavier (2003), Saraiva *et al.* (2003) e Parise *et al.* (2007), outra condição é a duração do evento, que deve ter, no mínimo, 12 a 24 horas de ação do vento.

Conforme Tozzi (1999), uma longa pista de vento (fetch) e um gradiente de pressão atmosférica também são necessários.

Calliari *et al.* (2010) citam fatores adicionais para a ocorrência de marés meteorológicas, entre eles: presença (ou não) de ciclones associados, assim como velocidade de deslocamento, trajetória e distância da costa dos mesmos. Apesar da ocorrência de ciclones não ser uma condição obrigatória para ocorrência de marés meteorológicas, eles estão ligados aos maiores valores de elevação do nível do mar.

A média de elevação foi calculada a partir do histórico e apresentou valor igual a 2,2 metros. Este valor foi comparado às cotas de elevação do MDS a fim de obter as áreas susceptíveis à inundação. Estas áreas estão representadas nos mapas de inundação demonstrados a seguir.

### 5.2.1. Área de Inundação

O MDS foi gerado a partir dos dados obtidos com levantamento laser scanner LIDAR a partir de software de geoprocessamento.

O LIDAR consiste em um sensor ativo (possui fonte própria de energia) que produz luz laser em uma frequência específica para medir distâncias, ou seja, o sensor emite um feixe de energia para o alvo e mede a distância a partir do tempo de retorno do feixe, conforme esquema visualizado na figura 19.

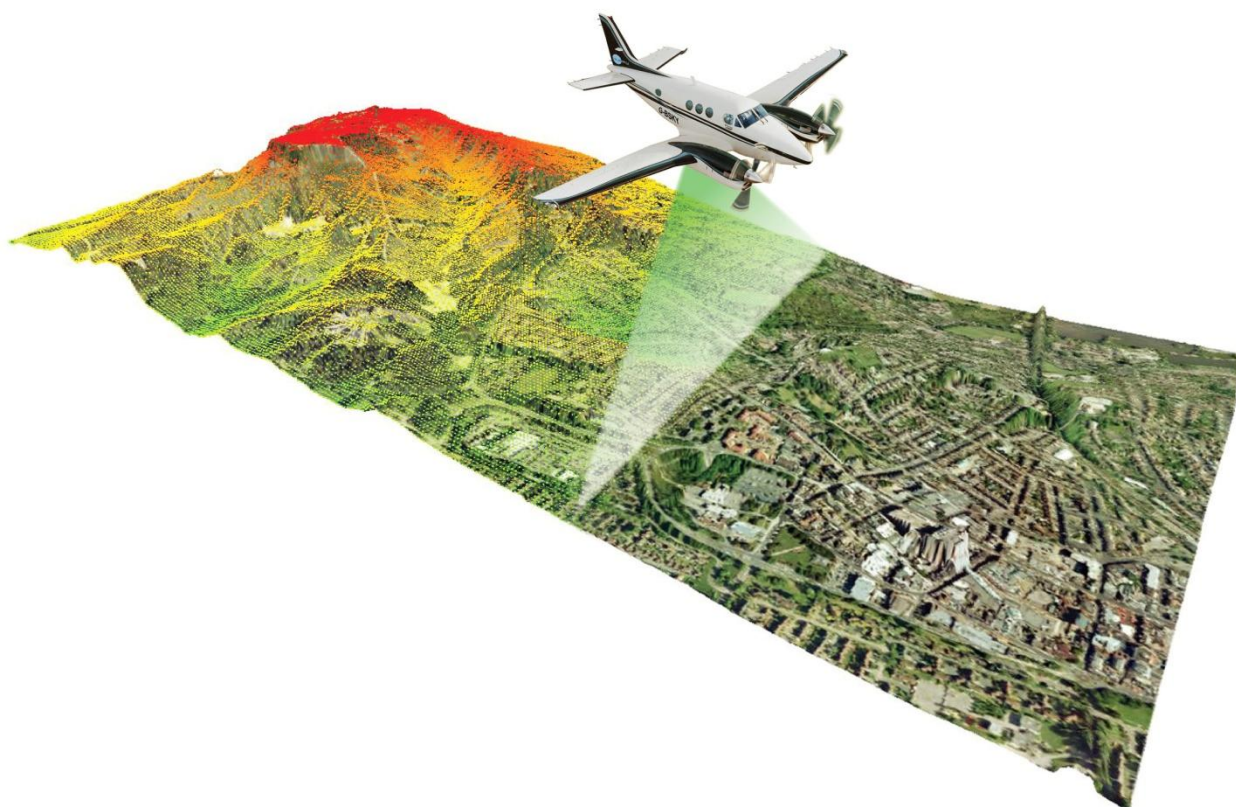


Figura 19: Sensoriamento laser scanner LIDAR.

Fonte: [http://media.directionsmedia.net/directionsmag/channels/pressreleases/Bluesky\\_LiDAR.jpg](http://media.directionsmedia.net/directionsmag/channels/pressreleases/Bluesky_LiDAR.jpg)

Foram selecionados dois municípios para a criação do MDS: Tramandaí e Palmares do Sul. Os dois municípios foram escolhidos para comparar os valores de inundação entre um ambiente



urbanizado e um natural. As cotas altimétricas dos MDS gerados foram, então, comparadas a uma elevação do mar em 2,2 metros, conforme metodologia executada por Benavente *et al.* (2006) e Maia (2011).

O mapa de inundação obtido para a região Quintão (em Palmares do Sul) no RS pode ser visualizado na figura 20 abaixo. A área inundada está representada pela cor azul e se refere a uma elevação de 2,2 metros.

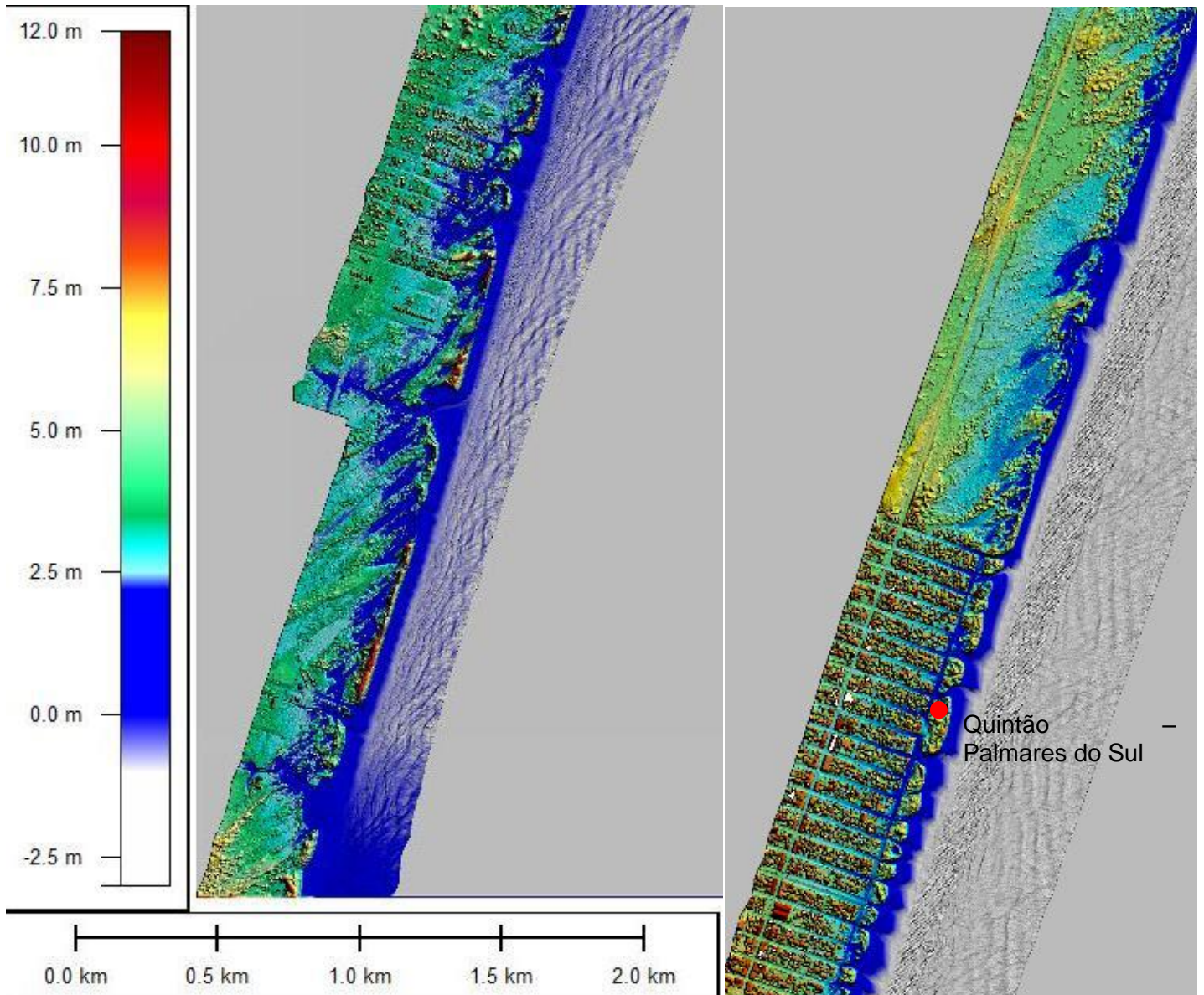


Figura 20: Mapa de Inundação para Quintão/RS.

Uma elevação de 2,2 metros em Quintão causou inundação em áreas distantes até 300 metros da praia. Os trechos com maior intrusão do mar foram identificados como aqueles com presença de sangradouros.

Em Tramandaí, a área de inundação pode ser visualizada na figura 21.

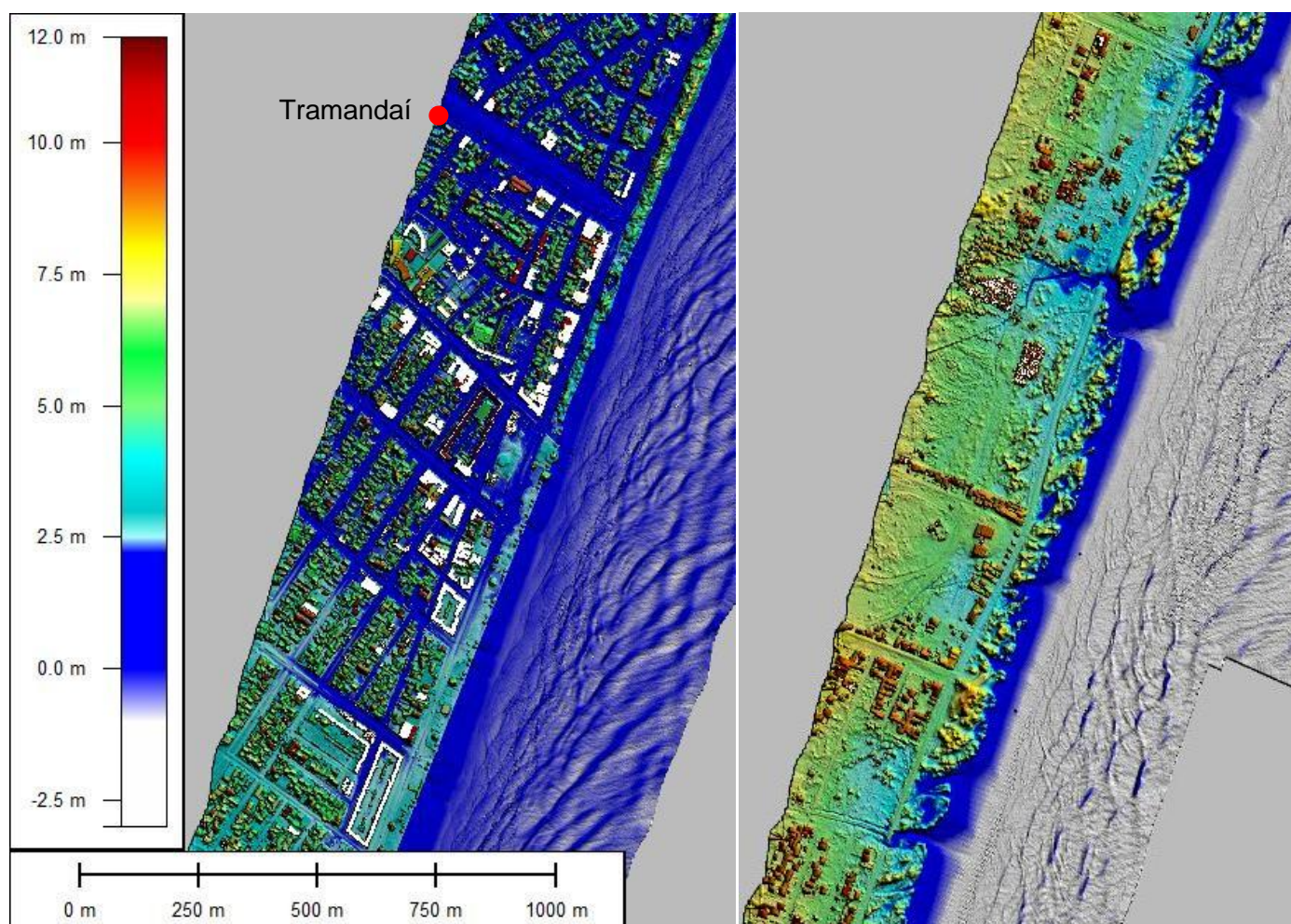


Figura 21: Mapa de Inundação para Tramandaí/RS.

Em Tramandaí, a área inundada apresentou valores próximos a 500 metros em trechos urbanizados onde o cordão de dunas frontais encontrava-se erodido. Nas áreas despovoadas com presença de sangradouros, o mar invadiu o continente em áreas distantes até 250 metros da praia.

Através dos mapas podemos observar que, os trechos com alta densidade de sangradouros constituem áreas sensíveis a alagamentos já que, além de possuírem cotas altimétricas mais baixas (que propiciam a inundação), os mesmos causam a interrupção do cordão de dunas frontais. A descontinuidade do cordão de dunas retira a proteção natural que as mesmas conferem à praia e, conseqüentemente, criam pontos de vulnerabilidade a elevações do mar.

A área inundada apresentou valores semelhantes aos encontrados por Maia (2011) para o Balneário Hermenegildo. O autor, ao avaliar os riscos de inundação costeira associados à passagem de ciclones para o Balneário Hermenegildo, verificou que áreas sujeitas a sangradouros podem ter até cinco quadras inundadas, o equivalente a 500 metros. Os valores obtidos pelo autor para diferentes elevações do mar estão descritos na tabela 5.

Tabela 5: Inundação para diferentes valores de elevação do mar no Balneário Hermenegildo/RS. Fonte: Maia (2011)

<b>Elevação (m)</b>	<b>Inundação</b>
<b>2</b>	Pós-praia submerso
	Inundação das casas situadas à beira mar
<b>2,5</b>	Inundação da segunda linha de casas paralela à praia
<b>3,3</b>	Água na base das dunas frontais
	Inundação das casas da 1ª quadra
<b>3,8</b>	Inundação até a 3ª quadra no trecho urbanizado
	Inundação até a 2ª quadra em áreas com sangradouros
<b>5</b>	Inundação de todo o balneário, até, pelo menos a 2ª quadra
	Trechos com sangradouros: intrusão do mar até a 5ª quadra

Os mapas de inundação obtidos ofereceram uma visão geral das áreas susceptíveis à inundação, pois identificaram áreas mais baixas, que são um acesso para a intrusão da água durante períodos de elevação do nível do mar. Também foi possível verificar que os sangradouros, por possuírem cotas altimétricas menores ao longo do seu curso, favorecem a intrusão do mar até áreas mais interiores.

Os valores obtidos de inundação foram usados de forma qualitativa, a fim de identificar os pontos mais vulneráveis, ou seja, aqueles que possuem maior potencial para entrada da água. A metodologia de comparação das cotas altimétricas com a elevação do mar não é totalmente eficaz para dados quantitativos, já que ela desconsidera qualquer tentativa de proteção, como muros, pedras e sacos de areia colocados pela população, que podem oferecer um obstáculo ao avanço do mar durante marés meteorológicas.

A área de inundação, por fim, foi estipulada como o limite máximo de alcance do óleo durante um acidente. Apesar dos valores desconsiderarem as tentativas de proteção, como dito anteriormente, os mapas de sensibilidade devem considerar sempre o pior cenário possível. Os diferentes ambientes presentes nestas áreas, que poderiam ser afetados pelo óleo, foram mapeados e estão descritos a seguir.

### *5.3. Ambientes*

Os mapas mostram que, em um evento extremo, a área de inundação pode chegar a 300 metros em áreas naturais, sendo que, os maiores valores de intrusão estão relacionados aos sangradouros, já que estas feições possuem cotas altimétricas mais baixas, que propiciam a entrada de água do mar.

Dentro desta área, encontram-se diferentes ambientes como microlagoas (figura 22), áreas vegetadas (figura 23), áreas povoadas (figura 24) e campos de dunas.

As microlagoas (figura 22) se caracterizam como pequenos corpos de água, ou áreas úmidas, com margens vegetadas conectadas (permanente ou intermitentemente) a sangradouros. Por possuírem dimensões pequenas, as microlagoas podem desaparecer durante períodos de secas intensas. Estes corpos de água possuem alta importância ecológica e social já que



servem de hábitat para diversas espécies de aves e são fonte hídrica para pequenas habitações (figura 23).



Figura 22: Microlagoa costeira



Figura 23: Casas localizadas próximo a microlagoa costeira

As áreas povoadas (figura 26) englobam tanto as grandes cidades costeiras, como Tramandaí, Cidreira e Quintão, como também os pequenos balneários ou vilarejos localizados próximos a lagoas de bolso e microlagoas.



Figura 24: Vilarejo localizado em Quintão/RS

As áreas vegetadas (figura 27), por sua vez, representam manchas de vegetação nativa esparsas ou plantações de *Pinus sp.* em alguns trechos ao longo da área de estudo.



Figura 25: Área vegetada

Os campos de dunas transgressivos são formados por dunas móveis não vegetadas (que permitem a migração do sedimento). Estes campos são expressivos na área de estudo devido a uma conjunção de fatores, que incluem a topografia de terras baixas (planície costeira), o regime de ventos apropriados e o grande estoque de areia fina (Martins, 1967; Tomazelli & Villwock, 1992).

Estes campos de dunas, por estarem afastados da linha de costa, não sofrem qualquer tipo de inundação durante situações de elevação do nível do mar, porém, a presença do campo de dunas transgressivo propicia a formação da planície de deflação. A planície de deflação, por sua vez, influencia a morfologia dos sangradouros.

Nas figuras de 26 a 30 podemos visualizar os diferentes ambientes encontrados para cada município.

## Tramandaí

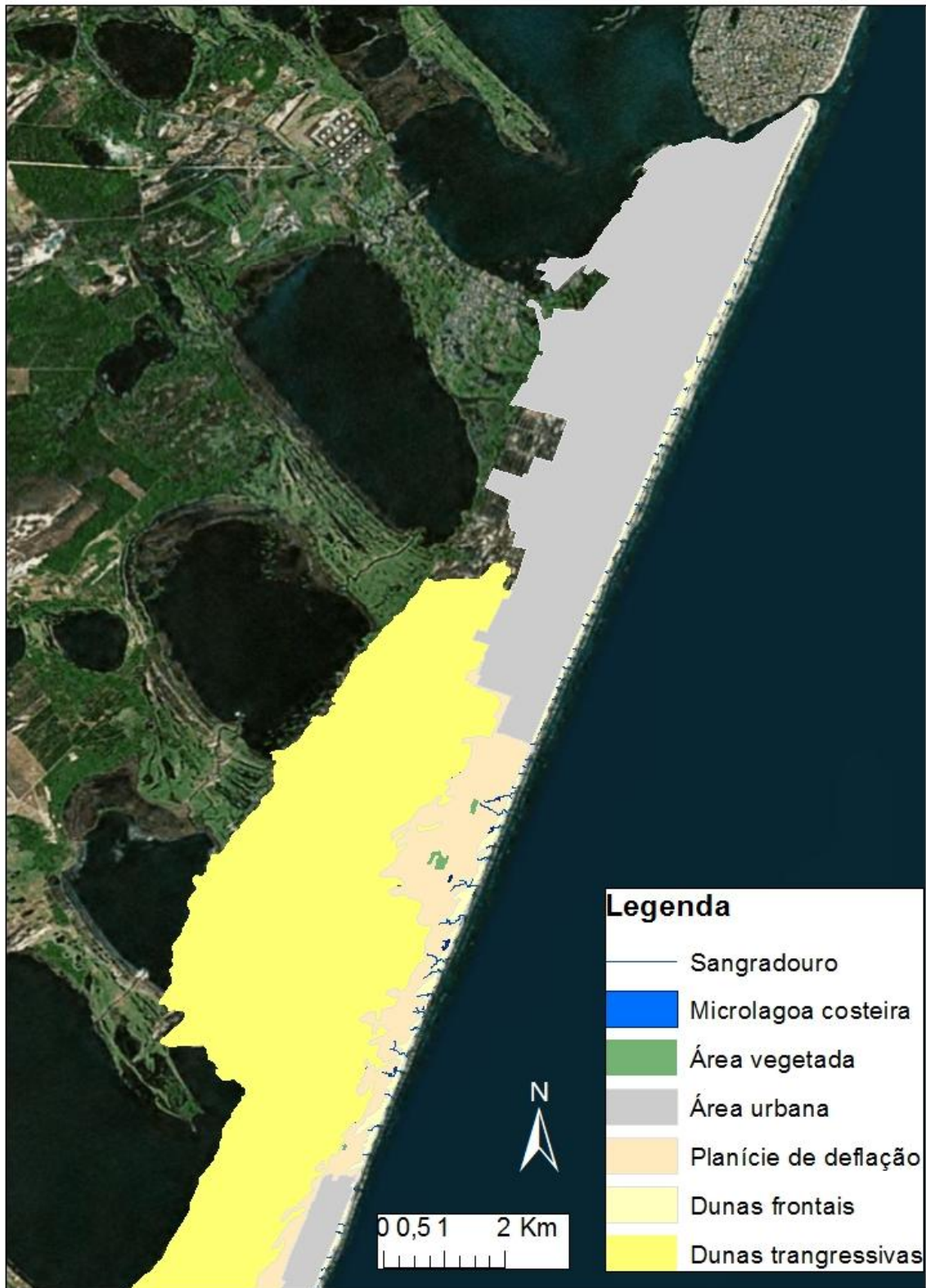


Figura 26: Ambientes do município de Tramandaí



## Cidreira

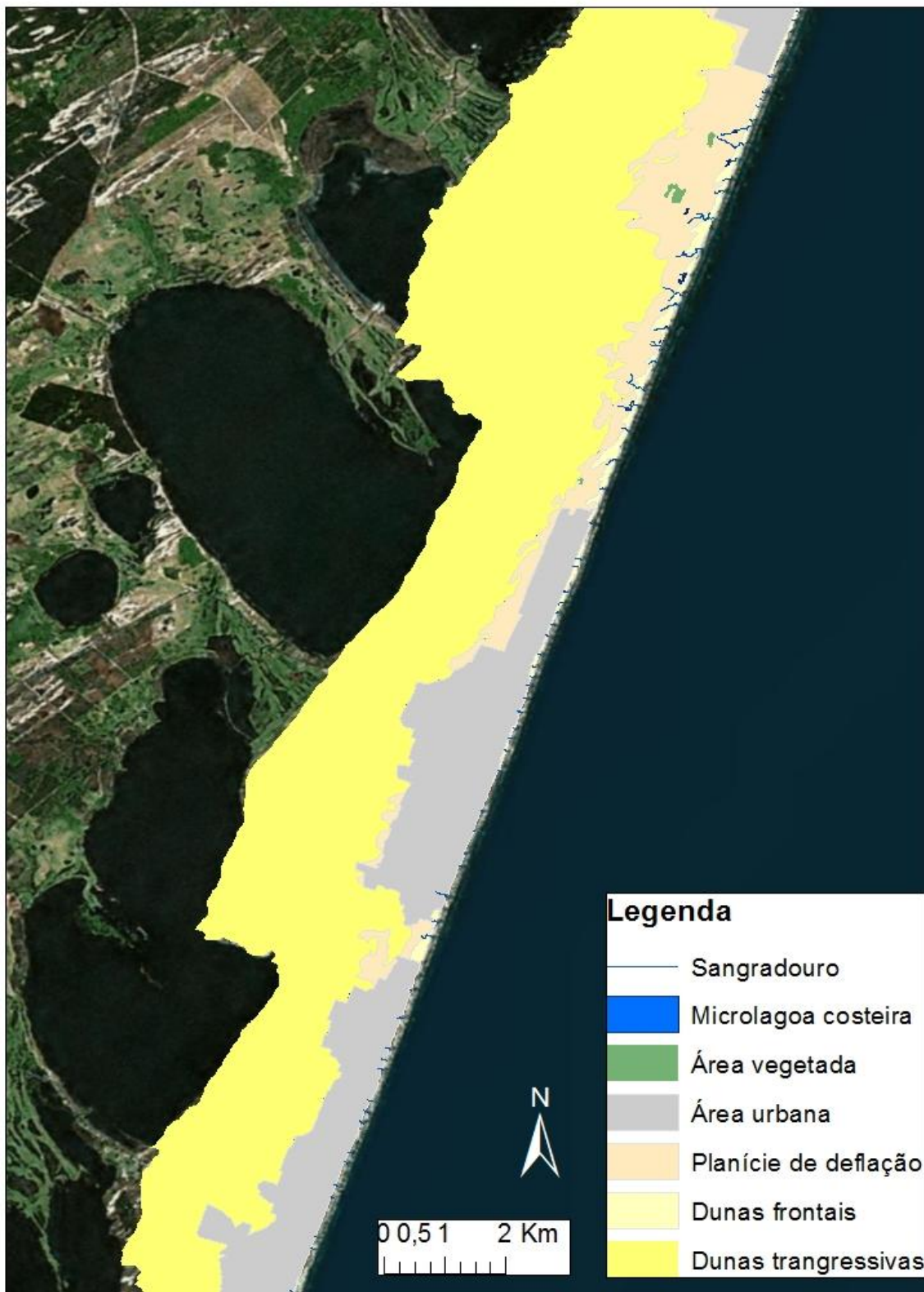


Figura 27: Ambientes do município de Cidreira

## Balneário Pinhal



Figura 28: Ambientes do município de Balneário Pinhal



## Palmares do Sul

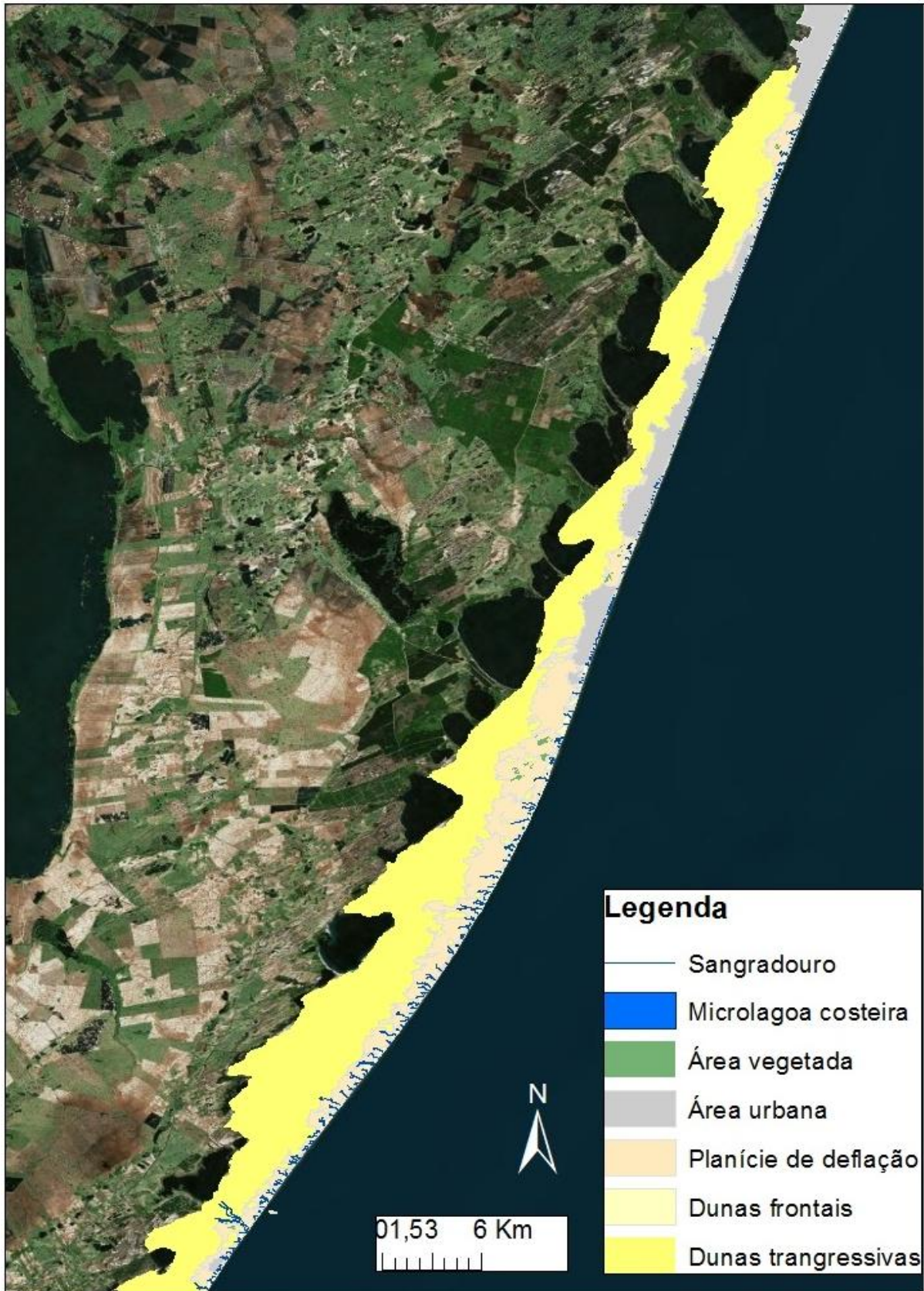


Figura 29: Ambientes do município de Palmares do Sul

## Mostardas

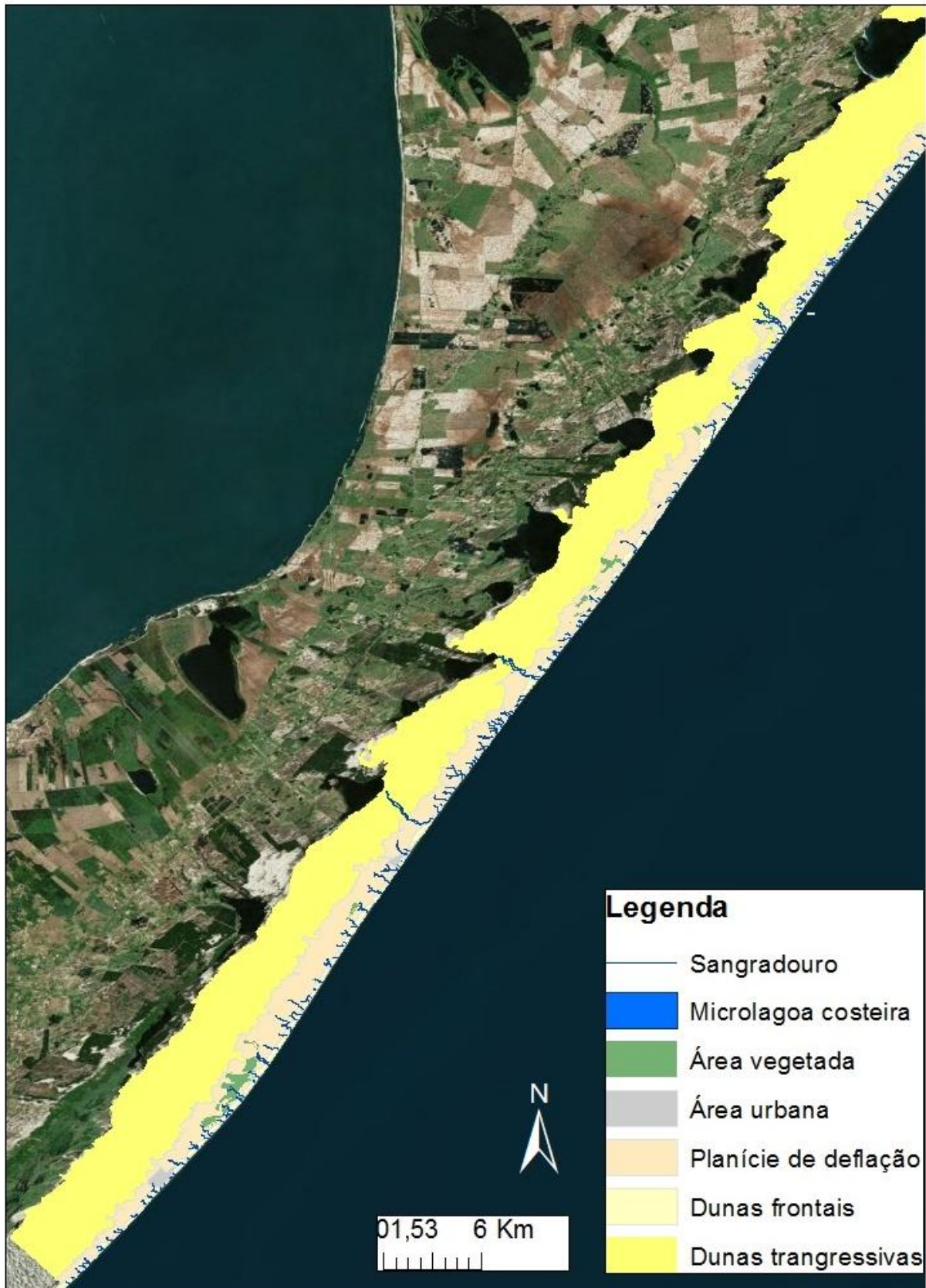


Figura 30: Ambientes do município de Mostardas



## 5.4. ISL

A sobreposição dos sangradouros e ambientes ao mapa de inundação permitiu identificar os trechos mais sensíveis. Nas áreas naturais foram classificados como mais sensíveis os trechos com presença de microlagoas, vegetação e vilarejos próximos à costa e conectados a sangradouros. Nas áreas urbanizadas foram classificados como mais sensíveis os trechos com maior densidade de sangradouros e com o cordão de dunas ausente ou desestabilizado. Estes trechos estão representados pela cor vermelha na figura 31 e no anexo 1. A figura 32 mostra alguns destes trechos em maior detalhe.

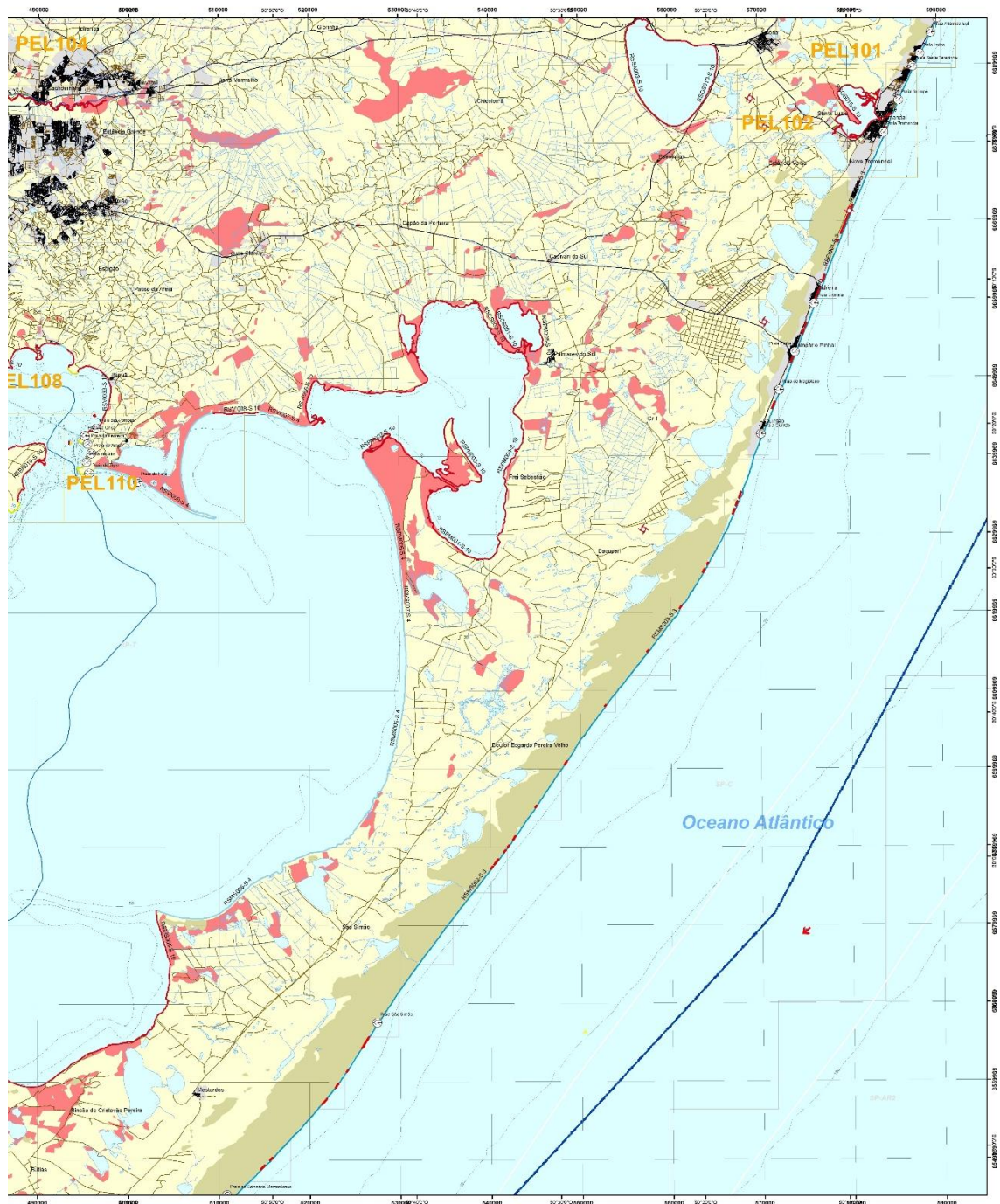


Figura 31: Sensibilidade ao Óleo do litoral. Os trechos em vermelho representam as áreas mais sensíveis.



Figura 32: Sensibilidade ao óleo do litoral. Trechos em vermelho representam áreas mais sensíveis.

Dentro de um cenário acidental com óleo durante uma elevação do nível do mar, os trechos em vermelho sofreriam maior impacto, visto que o óleo não estaria contaminando apenas uma praia, como descrito no ISL, mas também diversos ambientes mais sensíveis como lagoas e casas. Os sangradouros nestes locais estariam, não só contaminando outros ambientes, mas também aumentando a área de contato do óleo e, conseqüentemente, aumentando o tempo de permanência e dificultando a remoção do mesmo.

Comparando ao mapeamento de ISL realizado por Oliveira (2006) e Freire (2006), podemos confirmar que os sangradouros foram eficazes na definição de trechos prioritários para proteção. A comparação entre a sensibilidade proposta e a mapeada anteriormente pode ser visualizada na figura 33 e no anexo 2.



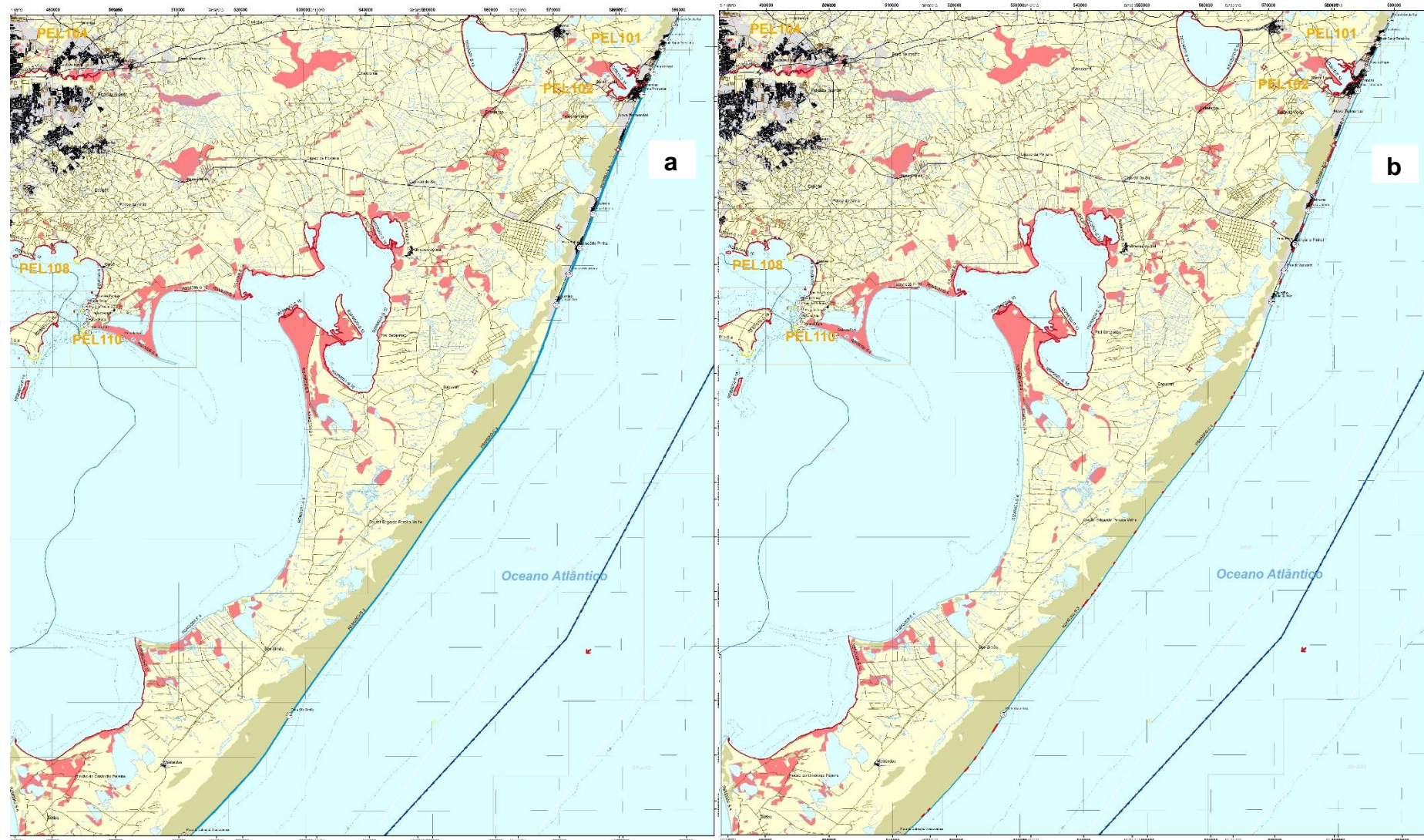


Figura 33: Mapas comparando a sensibilidade ao óleo para a área de estudo. (a) ISL de acordo com a metodologia padrão do MMA. (b) Sensibilidade considerando sangradouros



A definição de áreas prioritárias de proteção é essencial para o direcionamento da capacidade de resposta e, conseqüentemente, diminuição dos impactos ambientais e dos custos de resposta. Os sangradouros cumpriram o papel na definição destas áreas, porém, a sua inclusão dentro da metodologia padrão das Cartas SAO não pode ser realizada a partir da mudança do valor do ISL, que é, obrigatoriamente, o valor dado a praias arenosas, conforme o mapeamento realizado por Oliveira (2006) e Freire (2006). Devido a isto, a integração dos sangradouros foi proposta através da inserção de um símbolo representando os mesmos nos trechos mais sensíveis. O símbolo criado para os sangradouros pode ser visualizado na figura 34.



Figura 34: Ícone representando áreas sensíveis pela presença de sangradouros

A figura 35 mostra o mapa final com o ISL padrão e os ícones de sangradouros em áreas sensíveis. A imagem é melhor representada no anexo 3.

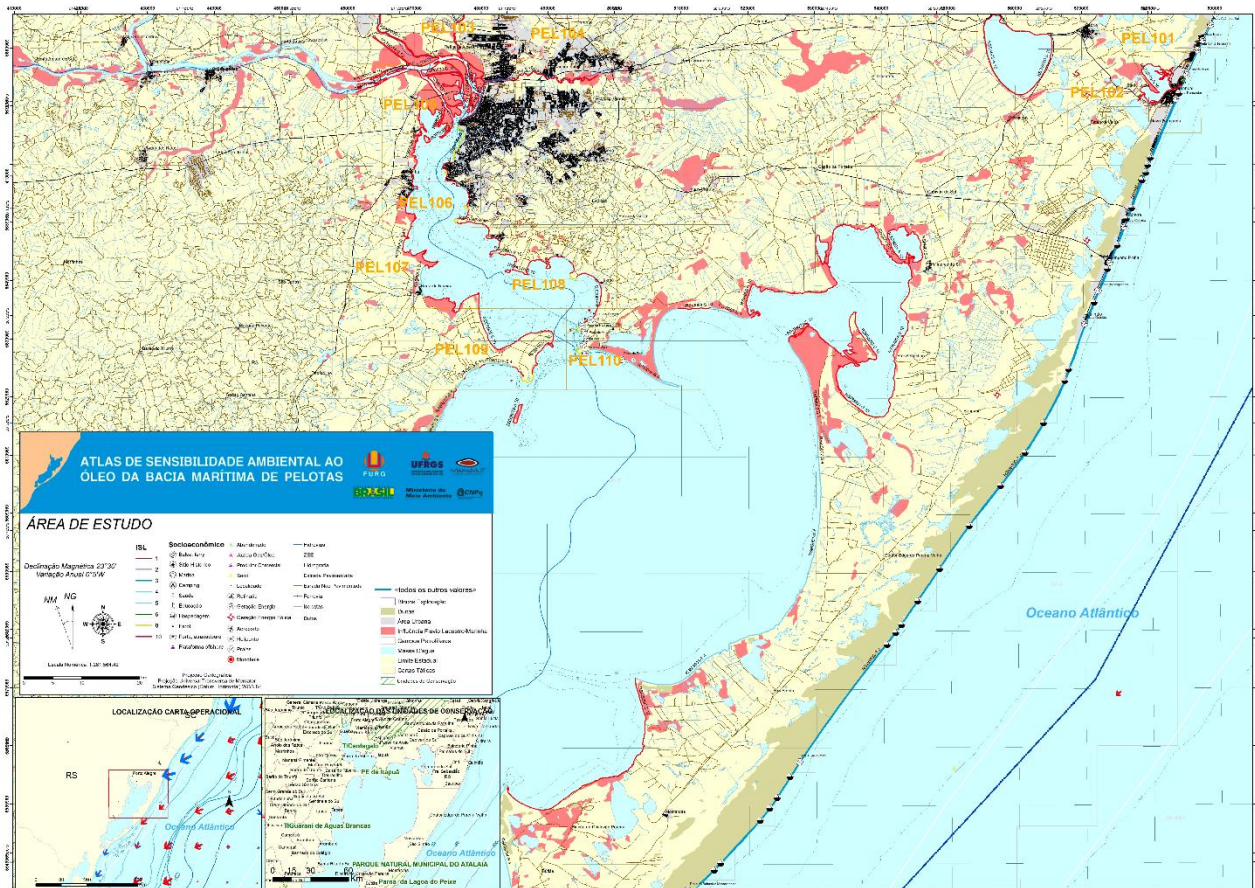


Figura 35: Carta SAO Pelotas com os ícones de sangradouros posicionados nos trechos sensíveis

A figura 36 mostra um destes trechos em detalhe.



Figura 36: Ícones de sangradouro no litoral de Palmares do Sul.

Os mapas priorizando os trechos sensíveis foram realizados em escala 1:260.000 de acordo com as Cartas SAO táticas oficiais da Bacia de Pelotas. Porém, esta metodologia apresentaria melhores resultados em escalas grandes, na ordem de 1:50.000 ou 1:25.000, que correspondem às escalas das Cartas SAO operacionais. As cartas operacionais conseguem eficientemente, detalhar e diferenciar trechos menores, sendo, portanto, recomendáveis para a metodologia aqui aplicada.

## 6. CONCLUSÕES

Os sangradouros demonstraram-se efetivos no refinamento do ISL. Estas feições possuem o potencial para aumentar a sensibilidade ao óleo de uma área, já que, durante marés meteorológicas, principalmente as acompanhadas de ventos fortes do quadrante S-SW, os mesmos causam inundação em áreas continentais.

Um acidente ocorrendo durante uma maré meteorológica, terá seus impactos amplificados nas áreas com alta densidade de sangradouros, já que os mesmos funcionarão como um acesso ao óleo derramado para ambientes mais sensíveis.

A integração dos sangradouros às Cartas SAO é essencial para a Bacia de Pelotas, visto que este recurso ajudará na definição de áreas prioritárias de proteção e, conseqüentemente, no direcionamento da capacidade de resposta, ações que a metodologia oficial (MMA, 2007) não consegue abranger.

Contudo, a potencialidade de aumento da sensibilidade ao óleo pelos sangradouros se restringe aos períodos de elevação do nível mar, já que é durante estes eventos que o fluxo do sangradouro se inverte e a água passa a ser direcionada para o continente. Apesar de a influência ser variante, esta sazonalidade não consegue ser abrangida no mapa, já que a sensibilidade do litoral possui um valor fixo.

A definição de um valor fixo de ISL acaba por engessar a sensibilidade do ambiente, mascarando assim, qualquer variação sazonal e temporal presente. Os sangradouros se mostraram um bom exemplo de variação de sensibilidade na escala temporal, porém, estas feições não são as únicas. Alterações geológicas e morfodinâmicas, como erosão, sazonalidade do perfil (inverno e verão), permeabilidade, continuidade do cordão de dunas frontais, etc. também possuem potencial para modificar a sensibilidade ao óleo de uma praia.

A fim de preencher algumas destas lacunas o governo lançou o Decreto nº 8127, de 22 de outubro de 2013, que institui o Plano Nacional de Contingência e prevê a criação do Sisnóleo (Sistema de Informações sobre Incidentes por Óleo), com o objetivo de consolidar e disseminar, em tempo real, informação geográfica sobre prevenção, preparação e resposta a incidentes de poluição por óleo.

O sucesso do monitoramento em tempo real, por sua vez, depende da compreensão da influência dos processos geológicos e morfodinâmicos na sensibilidade ao óleo do ambiente. Os esforços para compreender estas influências são, portanto, necessários e justificáveis para o êxito do Sisnóleo.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a influência das variações meteorológicas e oceanográficas na sensibilidade ao óleo na escala temporal, gerando suporte para a criação do Sisnóleo;
- Verificar o transporte de óleo pelos sangradouros através de modelagem computacional e/ou experimentos;
- Inclusão das variações temporais da sensibilidade ao óleo em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABSALONSEN, L. & TOLDO JR., E.E. 2007. A influência da inflexão costeira na vulnerabilidade da linha de praia em Mostardas – RS. **Revista Pesquisas em Geociências**. 34(1): 318.
- AGUIAR, L.S. & CESTARO, L.A. 2012. Caracterização da unidade geoambiental litorâneo-eólica de Senador Georgino Avelino/RN. **Revista Geonorte**. Edição especial, V. 3: 703-714.
- ANP, 2012. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo. Rio de Janeiro. p. 250.
- ARAÚJO, S.I., SILVA, G.H., MUEHE, D. 2000. **Minuta do manual básico para elaboração de cartas de sensibilidade no sistema petrobrás**. p. 170.
- BARLETTA, R.C. & CALLIARI, L.J. 2002. Determinação da intensidade de tempestades que atuam no litoral do RS, Brasil. **Revista Pesquisa em Geociências**. 28(2): 117-124.
- BARLETTA, R.C. & CALLIARI, L.J. 2003. An assessment of the atmospheric and wave aspects determining beach morphodynamic characteristics along the central coast of RS state, southern Brazil. **Journal of Coastal Research**. 35: 300-308.
- BELDRAN, C.; SARAIVA, J. & CARNEIRO, C. 2000. Monitoramento de “storm surges” na costa do RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS. **Anais...** Santa Catarina. pag 175-177.
- BENAVENTE, J.; RÍO, L.DEL.; GRACIA, F.J. & MARTÍNEZ-DEL-POZO, J.A. 2006. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). **Continental Shelf Research**, 26: 1061-1076.
- BP, 2012. **BP Statistical Review of World Energy June 2012**. British Petroleum. Londres, UK. p. 48.
- BRASIL, 2000. **Lei Nº 9.966, de 28 de abril de 2000**. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.
- BRASIL, 2003. **Decreto Nº 4.871 de 6 de novembro de 2003**. Dispõe sobre a instituição dos Planos de Áreas para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.
- BRASIL, 2008. **Resolução Nº 398, de 11 de junho de 2008**. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. Publicada no DOU nº 111, de 12 de junho de 2008, Seção 1, p. 101-104.
- CALLIARI, L.J. & KLEIN, A.H.F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesquisas**, 20: 48-56.
- CALLIARI, L.J.; TOZZI, H.A.M & KLEIN, A.H.F. 1998. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in Southern Brazil – Rio Grande to Chuí. **Academia Brasileira de Ciências**: 231 – 247.

CALLIARI, L.J.; PEREIRA, P.S.; OLIVEIRA, A.O. & FIGUEIREDO, S.A. 2005. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Gravel**, 3: 15-30.

CALLIARI, L.J. et al. 2010. Perigos e Riscos associados a processos costeiros no Litoral Sul do Brasil (RS): uma síntese. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**. 14(1), p. 51-63.

CARRARO, C.C. et al. 1974. **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul**. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CAVALCANTI, I.F. A.; NOBRE, C.A., GAN, M.A.; NOBRE, P.; KAYANO, M.T.; RAO, V.B.; BONATTI, J.P.; SATYAMURTY, P.; UVO, C.B.; COHEN, J.; SILVA, J.F.; MARSCHAL, C.; MOURA, A.D. 1986. Aspectos da Climatologia Dinâmica do Brasil. **Climanálise**. São José dos Campos, edição especial. p. 1-125.

CETESB, 2007. **Ambientes Costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza. manual de orientação**. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo. p. 120.

D'AQUINO, C.de A. 2003. Calibração e aplicação do modelo numérico Genesis nas praias de Tramandaí e Imbé – RS. **Dissertação** (Mestrado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. pag 110.

DILLENBURG, S.R; TOMAZELLI, L.J. & BARBOZA, E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru, southern Brazil. **Marine Geology**. 203. p. 43-56.

FIGUEIREDO, S.A. 2002. Distribuição espaço-temporal dos sangradouros da costa gaúcha no trecho São José do Norte - Farol de Mostardas. **Monografia** (Graduação em Oceanologia). Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. p. 44.

FIGUEIREDO, S.A. & CALLIARI, L.J. 2005. Sangradouros: Distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro. **Gravel**, 3: 47-57.

FIGUEIREDO, S.A.; COWELL, P. & SHORT, A. 2007. Intermittent backbeach discharge to the surfzone: modes and geomorphologic implications. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 50. p. 610 – 614.

FONZAR, B.C. 1994. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetórias. **Cadernos de Geociências**, v 11. p. 11-33.

FORTUNATO, I. & FORTUNATO NETO, J. 2012. Risco ambiental à luz dos princípios da precaução e da prevenção. In: GUIMARÃES, S.T.L. et al (Orgs). **Gestão de Áreas de Riscos e Desastres Ambientais**. 1ª edição. IGCE/UNESP/RIO CLARO, Rio Claro. p. 12-31.

FREIRE, I.D.S.O. 2006. Mapeamento de sensibilidade ambiental para derrames de óleo da porção sul da costa do Rio Grande do Sul. **Monografia**(Graduação em Oceanologia). Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. 43 p.

GARCIA, C.A.E. 1997. Environment and biota of the Patos Lagoon estuary, tides and currents. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J.PL. **Subtropical Convergence Environments: the coast and sea in the southwestern Atlantic**. Berlin. Springer-Verlag. p. 18.

GUNDLACH, E. & HAYES, M.O. 1978. Vulnerability of costal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**, v.12, n.4, p. 18-27.

ITOPF, 2012. Data & Statistics. **The International Tanker Owners Pollution Federation Limited**. Disponível em: [www.itopf.com](http://www.itopf.com)

LYRA, M.M. 1997. Dano Ambiental. **Revista de Direito Ambiental**. São Paulo. v.8 p. 49 – 83.

MAIA, N.Z. 2011. Avaliação da elevação do nível do mar e riscos de inundação costeira associados à passagem de ciclones no balneário Hermenegildo, RS. **Dissertação** (Mestrado em Oceanografia Geológica)– Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande/FURG. Rio Grande. 118 p.

MARINHO, C. 2012. Avaliação do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) no âmbito das Cartas SAO: Identificação de lacunas e proposição das variáveis biológicas em sua composição. **Monografia** (Graduação em Oceanologia). Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. p. 82

MARONE, E. & CAMARGO, R. 1994. Marés meteorológicas no litoral do estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. **Revista Nerítica**, Editora da UFPR, 8 (1-2). p. 73 – 85.

MARTINS, K.A. 2013. Definição de ambientes quanto ao grau de exposição à energia hidrodinâmica no Lago Guaíba e Lagoa dos Patos no contexto do Índice de Sensibilidade Ambiental do Litoral (ISL). **Monografia** (Graduação em Oceanologia). Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. p. 59.

MARTINS, L.R., 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da planície costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial**, Escola de Geologia UFRGS, Porto Alegre. v. 13, p. 102

MARTINS, L.R. & CORRÊA, I.C. 1996. **Morphology and sedimentology of southwest Atlantic coastal zone and continental shelf from Cabo frio (Brazil) to Peninsula Valdes (Argentina)**. Porto Alegre, RS. IOCUNESCO/MCT/CPRM Publication, 20 maps and glossary. 74 p.

MATOS, M.P. & LIMA-GUIMARÃES, S.T. 2012. A percepção ambiental em planos de emergência: uma proposta para os estudos de sensibilidade ambiental a derrames de óleo. In: GUIMARÃES, S.T.L. *et al* (Orgs). **Gestão de Áreas de Riscos e Desastres Ambientais**. 1ª edição. IGCE/UNESP/RIO CLARO, Rio Claro. p. 121-150.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA, 2007. **Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Gerência de Qualidade. 107 p.

MOTTA, V. 1969. **Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra de Rio Grande**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre.

MUNARO, P. 1994. Geologia e mineralogia do depósito de minerais pesados de Bojuru, RS. **Dissertação**(Mestrado em Geociências) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 96 p.

NOBRE, L.C.; CAVALCANTI, M.A.G.; NOBRE, P.; KAYANO, M.T.; RAO,V.B; BONATTI, J.P.; SATYAMURTI, P.; UVO, C.B. & COHEN, J.C. 1986. Aspectos da climatologia dinâmica do Brasil. **Climanálise**, número especial.

OLIVEIRA, A.S. 1986. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia. **Dissertação de Mestrado**, INPE. São José dos Campos. p. 246.

- OLIVEIRA, C.R. 2006. Mapa de sensibilidade ambiental para derrame de óleo para a porção norte da costa do Rio Grande do Sul. **Monografia (Graduação em Oceanologia)**. Universidade Federal do Rio Grande/FURG. Rio Grande. p. 205.
- OLIVEIRA, M.P. 2008. Análise dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos de um evento de maré meteorológica ocorrido em Tramandaí – Rio Grande do Sul. **Monografia (Graduação em Geografia)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre. p. 71.
- PARISE, C.K. 2007. Padrões atmosféricos sinóticos geradores de marés meteorológicas intensas e a resposta morfodinâmica da praia do Cassino. **Monografia (Graduação em Oceanologia)**. Universidade Federal do Rio Grande/FURG. Rio Grande. p. 70.
- PARISE, C.K.; CALLIARI, L.J. & COSTI, J. 2007. Influência das marés meteorológicas na variação do pacote subaéreo do sedimento da praia do Cassino, litoral do RS. In: XII CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR (XII COLACMAR). **Resumos...** Florianópolis, SC.
- PARISE, C.K.; CALLIARI, L.J.; KRUSCHE, N. 2009. Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. **Brazilian Journal of Oceanography**. 57(3). p. 175-188.
- PEREIRA DA SILVA, R. 1998. Ocorrência, distribuição e características morfodinâmicas dos sangradouros na zona costeira do Rio Grande do Sul: trecho Rio Grande – Chuí, RS. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 43. Porto Alegre, 1998.
- PEREIRA, P.S. 2005. Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos. **Dissertação (Mestrado em Oceanografia Geológica)** – Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. 161 p.
- PETROBRÁS, 2007. **Mapas de Sensibilidade Ambiental ao derrame de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais**. 2ª edição. Rio de Janeiro. p. 170.
- PUGH, D.T. 1987. **Tides, Surges and Mean Sea-Level**. Chichester, UK John Wiley & Sons Ltda. 472 p.
- REBOITA, M. 2001. Normais climatológicas provisórias de Rio Grande, RS, no período de 1991 a 2000. **Monografia (Graduação em Geografia)**. Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. 121 p.
- S. CASTANEDO, J.A. *et al.* 2009. Oil spill vulnerability assessment integrating physical, biological and socio-economical aspects: Application to the Cantabrian coast (Bay of Biscay, Spain). **Journal of Environmental Management** 91. p.149-159.
- SARAIVA, J.M.B.; BEDRAN, C. & CARNEIRO, C. 2003. Monitoring of storm surges on Cassino Beach. **Journal of Coastal Research**. 35 (SI). p. 323-331.
- SERPA, C.G. 2008. Estudo da influência dos fatores climáticos, hidrológicos e morfológicos no ciclo de vida de um sangradouro intermitente, Praia do Cassino, Brasil. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica)** – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. 95 p.

SERPA, C.G. 2013. Morfodinâmica praial relacionada à presença de corpos de água intermitentes em duas praias da costa do Rio Grande do Sul, Brasil. **Tese** (Doutorado em Oceanografia Geológica) – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. p. 124.

SERPA, C.G.; ROMEU, M.A.R.; FONTOURA, J.A.S.; CALLIARI, L.J.; MELO, E. & ALBUQUERQUE, M.G. 2011. Study of the responsible factors for the closure of an intermittent washout during a storm surge, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, special issue, 64: 2068-2073.

SILVA, P.R. 2004. Transporte marítimo de petróleo e derivados na costa brasileira: estrutura e implicações ambientais. **Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético)**.- Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. p. 160.

SOBRAL, F.N.C. 2010. Estimativa da variação topográfica praial através de vídeo imagens durante eventos de marés meteorológicas. **Monografia** (Graduação em Oceanologia). Universidade Federal do Rio Grande / FURG. Rio Grande. p. 81.

SZEWCZYK, S.B.O. 2006. Processos envolvidos em um derramamento de óleo no mar. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA / SEMENGO. 2ª edição, novembro de 2006. **Anais...** Rio Grande: FURG. p. 19.

TOLDO Jr., E.E.; DILLENBURG, S.R.; ALMEIDA, L.E.S.B.; TABAJARA, L.L.; MARTINS, R.R. & CUNHA, L.O.B.P. 1993. Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, RS. **Pesquisas**, 20 (1); p. 27-32.

TOLDO Jr., E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B.; NICOLODI, J.L.; ABSALONSEN, L. & GRUBER, N.L.S. 2006a. O controle da deriva litorânea no desenvolvimento do campo de dunas e da antepraia no litoral médio do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 33(2): 35-42.

TOLDO Jr., E.E.; NICOLODI, J.L.; ALMEIDA, L.E.S.B.; CORRÊA, I.C.S. & ESTEVES, L.S. 2006b. Coastal dunes and shoreface width as a function on longshore transport. **Journal of Coastal Research**, SI39: 390-394.

TOLDO Jr., E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B.; MARTINS, L.R.S.; GRUBER, N.L.S.; BARROS, C.E.; NICOLODI, J.L.; FARINA, L. & NUNES, J.C. 2010. Hidrodinâmica e sedimentologia das praias oceânicas do Rio Grande do Sul. **Instituto de Geociências: Contribuições**. Porto Alegre, p. 299-316.

TOMAZELLI, L.J. 1985. Contribuição ao conhecimento das fácies de ambiente praial a partir de elementos do Pleistoceno costeiro do Rio Grande do Sul. **Anais do Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia**. Florianópolis, SC. p. 325-338.

TOMAZELLI, L.J., 1993. O regime dos ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, 20 (1). p. 18-26.

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. 1992. **Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil**. Pesquisas em Geociências, 19 (1): 3-12.

TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R. & VILLWOCK, J.A. 2000. Late quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, Southern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 30 (3): 474-476.

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. 2000. O Cenozóico do Rio Grande do Sul: Geologia da planície costeira. p. 375-406. In: Holz, M & DeRos, L.F. eds. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, nº de páginas.

TOZZI, H.A.M. 1999. Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Companhia do Outono e Inverno de 1996. **Dissertação (Mestrado em Geociências)** – Instituto de Geociências, UFRGS. p. 115.

VIANNA, H.D. 2013. Variabilidade do sistema praia-dunas para o litoral norte do Rio Grande do Sul (Palmares do Sul a Torres – Brasil) apoiado em dados laser scanner – LIDAR. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceanica)**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica – Universidade Federal do Rio Grande/FURG. Rio Grande, p. 189.

VILLWOCK, J.A. 1972. Contribuição à geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul. **Dissertação (Mestrado em Geociências)**. Porto Alegre, UFRGS. 113 p.

VILLWOCK, J.A. 1984. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. **Pesquisas**, 16: p.5-49.

VILLWOCK, J.A.; DEHNHARDT, E.A.; LOSS, E.L.; TOMAZELLI, L.J. & HOFMEISTER, T. 1979. Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul, Brasil. Memorias. **Anais do Seminario Sobre Ecologia Bentonica y Sedimentacion de La Plataforma Continental Del Atlântico Sur**. Montevideo, UNESCO. P. 405-414.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; HORN, N.O.; BACHI, FL.A. & DEHNHARDT, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J. ed. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**. A.A. Balkema, Rotterdam. 4: 79-97.

VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, UFRGS. Porto Alegre, 8: 1-45.

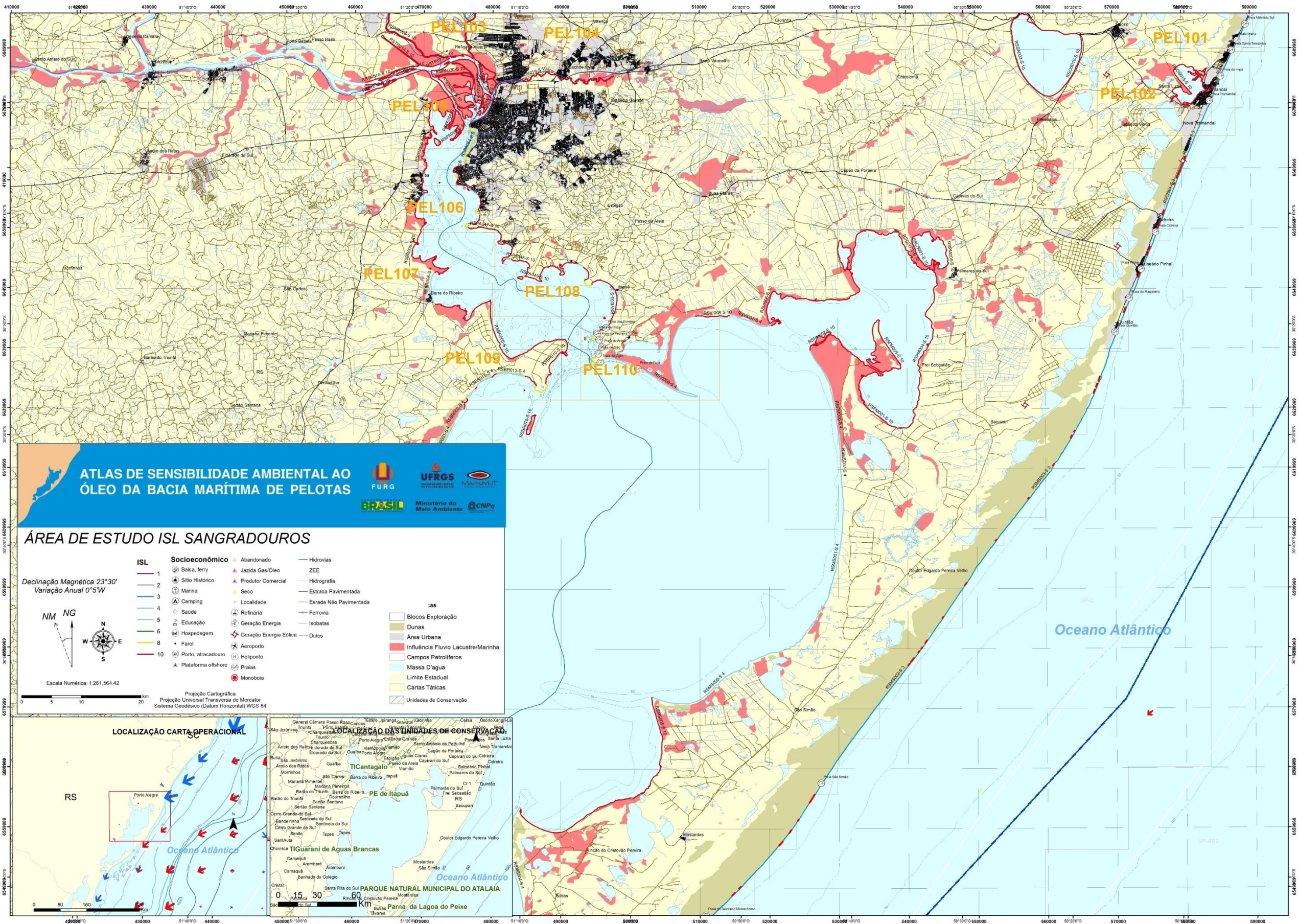
VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1998. Holocene coastal evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 11: 283-296.

WESCHENFELDER, J. & ZOUAIN, R.N.A. 2002. Variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, Brasil. **Revista Pesquisa em Geociências**. 29(1): 3-13.

WRIGHT, L.D. & SHORT, A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zone and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, 56: 93-118.

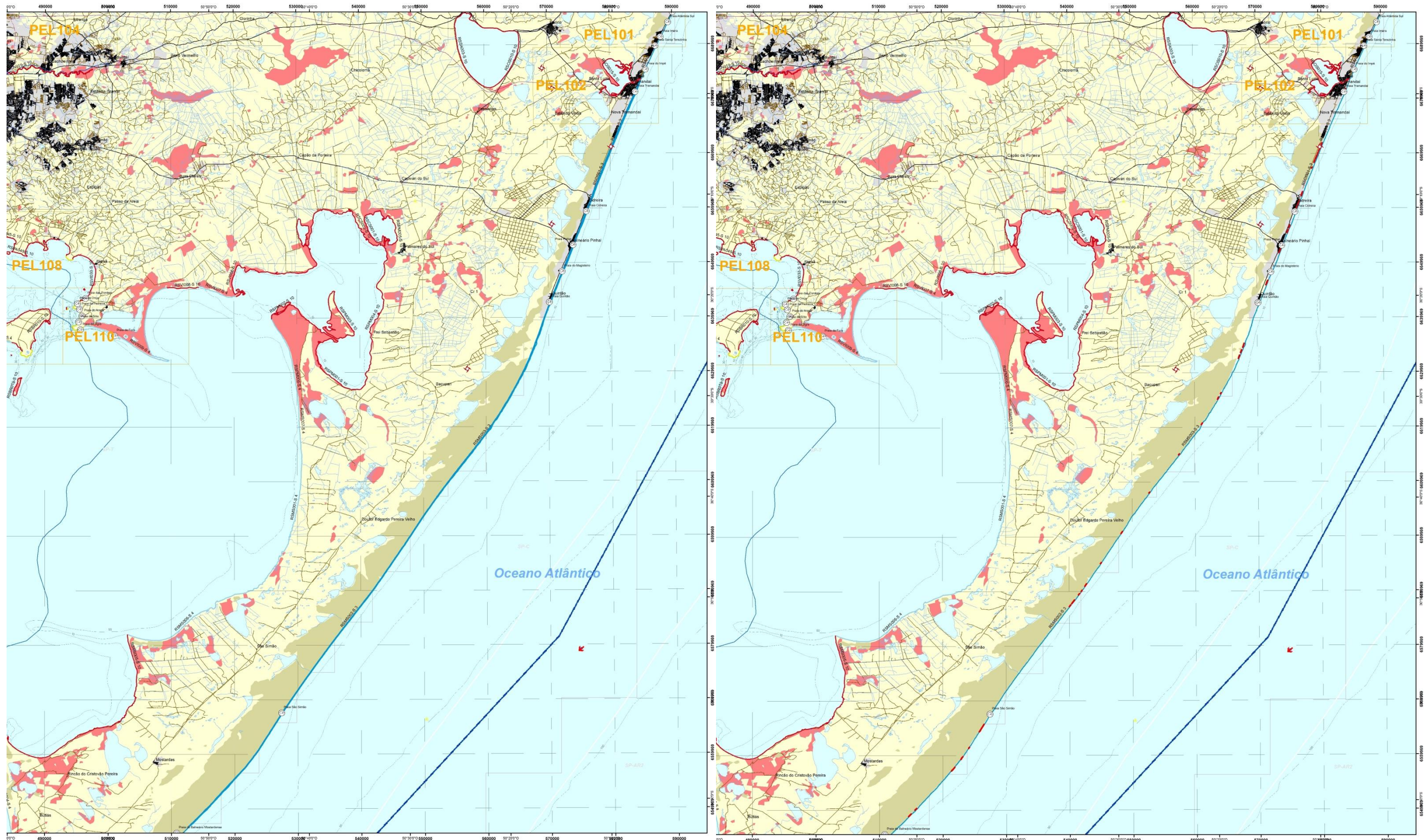


9. Anexo 1





10. Anexo 2





11. Anexo 3

